

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa
adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria**

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

AUTOR

Alex Junior Salazar Silva

ASESOR

Luis Quiroz Quiñones

<https://orcid.org/0000-0001-9193-0307>

Chiclayo, 2025

**Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante
arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La
Victoria**

PRESENTADA POR
Alex Junior Salazar Silva

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Joaquin Hernan Rojas Oblitas
PRESIDENTE

Angel Alberto Lorren Palomino
SECRETARIO

Luis Quiroz Quiñones
VOCAL

Dedicatoria

A **Dios**, por guiar mis pasos y fortalecerme en los momentos de mayor incertidumbre.

A mis padres, **José y Otila**, pilares fundamentales de mi vida, por su amor incondicional, sus constantes sacrificios y la fe inquebrantable que siempre depositaron en mí. Su ejemplo y entrega han sido la motivación más sólida para perseverar y alcanzar este logro.

A mis **abuelos**, por su invaluable legado de vida, sus enseñanzas llenas de sabiduría y los valores que, con paciencia y amor, han sabido transmitirme.

Agradecimiento

Agradezco profundamente a **Dios**, por haberme concedido la fortaleza, la serenidad y la constancia necesarias para culminar esta etapa tan significativa de mi formación profesional

A mis padres, **José y Otila**, por su apoyo incondicional, su infinita paciencia y su amor inagotable, que se convirtieron en el motor principal para perseverar ante cada desafío académico y personal.

A mis **abuelos y familia**, por ser mi refugio emocional y mi mayor fuente de inspiración y aliento constante a lo largo de este proceso.

A mi **asesor de tesis**, por su valiosa orientación, su compromiso y el rigor académico con el que guio cada una de las etapas de este trabajo, contribuyendo de manera decisiva a su desarrollo y culminación.

Y al **profesor del curso**, por sus enseñanzas y su compromiso con nuestra formación académica.

De manera especial, agradezco a **Jazmin Anton**, por su apoyo constante, su comprensión y sus palabras de aliento, que fueron fundamentales para mantener la motivación y la confianza en los momentos más exigentes de este camino.

Finalmente, a mis amigos, por el compañerismo, la colaboración y las experiencias compartidas a lo largo de la vida universitaria.

Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria

INFORME DE ORIGINALIDAD

8 %	7 %	1 %	1 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	3 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2 %
3	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
4	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
6	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
7	Submitted to City University of New York System Trabajo del estudiante	<1 %
8	repositorio.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

Índice

Resumen	9
Abstract	10
Introducción.....	11
Revisión de literatura.....	13
Materiales y métodos	30
Resultados y discusión	46
Conclusiones	63
Recomendaciones	64
Referencias	65
Anexos	68

Lista de tablas

TABLA I DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS MTC E110 [18]	21
TABLA II SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS [18]	23
TABLA III SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN (SUCS) [18]	24
TABLA IV MÉTODO DE ENSAYO DE CBR, LECTURAS DE CARGA PARA LAS SIGUIENTES PENETRACIONES [18].....	25
TABLA V ÍNDICE DE RESISTENCIA DE CBR [18]	25
TABLA VI CATEGORÍAS DE SUBRASANTE [18].....	28
TABLA VII REQUISITOS MÍNIMOS ESTABLECIDOS POR LA CE. 010 DE PAVIMENTOS URBANOS	31
TABLA VIII UBICACIÓN DE CALICATAS DE LA ZONA DE ESTUDIO – FUENTE: PROPIA.....	32
TABLA IX PORCENTAJE DONDE FIBRA DE POLIPROPILENO TUVO MAYOR ÉXITO - FUENTE: PROPIA	33
TABLA X PORCENTAJE DONDE PELETIZADO DE POLIPROPILENO TUVO MAYOR ÉXITO – FUENTE: PROPIA	34
TABLA XI NÚMERO DE MUESTRAS INFINITAS - FUENTE: PROPIA.....	35
TABLA XII OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES - FUENTE: PROPIA.....	35
TABLA XIII SELECCIÓN DE METODOLOGÍA PARA FIBRAS DE POLIPROPILENO – FUENTE PROPIA	36
TABLA XIV SELECCIÓN DE METODOLOGÍA PARA PELETIZADO DE POLIPROPILENO – FUENTE: PROPIA	38
TABLA XV CANTIDAD DE ENSAYOS POR CALICATA - FUENTE: PROPIA	39
TABLA XVI CANTIDAD DE MUESTRA NATURAL PARA ENSAYOS - FUENTE: PROPIA.....	40
TABLA XVII CANTIDAD DE MUESTRA NATURAL PARA ENSAYOS CON FIBRA Y PELETIZADO - FUENTE: PROPIA	40
TABLA XVIII CANTIDADES EN KG DE SUELO Y FIBRA QUE SE UTILIZARÁ - FUENTE: PROPIA	41
TABLA XIX MTC E 108 - FUENTE PROPIA	46
TABLA XX MTC E 107 - FUENTE PROPIA.....	46

TABLA XXI MTC E 100 Y MTC E 111 - FUENTE: PROPIA	47
TABLA XXII MTC E 113 - FUENTE: PROPIA	47
TABLA XXIII SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS - FUENTE: PROPIA	47
TABLA XXIV MTC E 115 - FUENTE: PROPIA	48
TABLA XXV MTC E 115 CALICATA 1.....	48
TABLA XXVI MTC E 115 CALICATA 2	49
TABLA XXVII MTC E 115 CALICATA 3	50
TABLA XXVIII CAPACIDAD DE SOPORTE AL 95% A 0.1" - FUENTE: PROPIA	50
TABLA XXIX MTC E 110 y MTC E111 CON ADICIÓN CALICATA 1 - FUENTE: PROPIA.....	51
TABLA XXX MTC E 110 y MTC E111 CON ADICIÓN CALICATA 2 - FUENTE: PROPIA.....	51
TABLA XXXI MTC E 110 y MTC E111 CON ADICIÓN CALICATA 3 - FUENTE: PROPIA.....	52
TABLA XXXII CAPACIDAD DE SOPORTE AL 95% A 0.1" CALICATA 1	53
TABLA XXXIII CAPACIDAD DE SOPORTE AL 95% A 0.1" CALICATA 2.....	54
TABLA XXXIV CAPACIDAD DE SOPORTE AL 95% A 0.1" CALICATA 3.....	55
TABLA XXXV CIUDAD DE CHICLAYO: TIPOS DE SUELOS PREDOMINANTES POR SECTORES.....	68

Lista de figuras

Fig. 1 Lecturas del anillo de cargas sobre el pistón [18].....	26
Fig. 2 Ubicación de estudio a realizar – Fuente: Propia.....	32
Fig. 3 Fibra de Polipropileno - Fuente: Propia.....	37
Fig. 4 Peletizado de polipropileno - Fuente: Propia.....	39
Fig. 5 Muestra de suelo seco y húmedo - Fuente: Propia	41
Fig. 6 Análisis Granulométrico por Tamizado – Fuente: Propia	42
Fig. 7 Determinación del Límite Líquido del suelo - Fuente: Propia	43
Fig. 8 Ensayo de Limite Plástico - Fuente: Propia.....	43
Fig. 9 Ensayo de Gravedad Especifica - Fuente: Propia	44
Fig. 10 Ensayo de Proctor Modificado - Fuente: Propia.....	44
Fig. 11 Ensayo de C.B.R. - Fuente: Propia	45
Fig. 12 Encuesta para trabajadores - Fuente: Propia.....	69

Resumen

En el Perú, la baja calidad de muchas carreteras responde, entre otros factores, a la debilidad estructural de los suelos arcillosos, especialmente en regiones como Lambayeque, donde este tipo de suelo predomina; al mismo tiempo, la gestión inadecuada de residuos plásticos representa una amenaza ambiental creciente. Frente a esta doble problemática una de carácter técnico y otra ambiental, se propone una solución integradora: donde usar residuos plásticos reciclados, específicamente fibras y peletizado de polipropileno, como aditivo para mejorar las características de la subrasante en un suelo arcilloso.

La investigación se llevó a cabo en el distrito de La Victoria, aplicando un enfoque cuantitativo-experimental. Se realizaron ensayos de laboratorio en especímenes de suelo natural y otras tratadas con dosificaciones de fibras de polipropileno (0.4%, 0.6% y 0.75%) combinados con un 8% de peletizado. Los ensayos se realizaron para clasificar el suelo y para conocer sus propiedades mecánicas con los siguientes ensayos de Proctor modificado y prueba CBR, siguiendo las normas del MTC.

Los resultados revelaron que la incorporación de polipropileno, en sus dos formas, mejora de manera considerable las características del suelo. De modo que se logró reducir la plasticidad, aumentar la densidad seca máxima y optimizar la humedad para la compactación. En este sentido, el valor del CBR mejoró notablemente, permitiendo reclasificar el suelo como apto para subrasante según las exigencias de las normas técnicas nacionales. Entre las dosificaciones, el 0.6% de fibra con 8% de peletizado ofreció un balance óptimo entre resistencia, trabajabilidad y costo.

Más allá de los beneficios técnicos, esta propuesta aporta una solución sustentable al problema del exceso de plásticos, ofreciendo una alternativa viable para su revalorización dentro del sector construcción. Así, se demuestra que es posible transformar residuos en recursos útiles, aportando no solo a la infraestructura vial, sino también a la protección ambiental y a la economía circular.

Palabras claves: Subrasante arcillosa, polipropileno, peletizado, fibras sintéticas, estabilización de suelos

Abstract

In Peru, the low quality of many roads responds, among other factors, to the structural weakness of clay soils, especially in regions such as Lambayeque, where this type of soil predominates; at the same time, the inadequate management of plastic waste represents a growing environmental threat. Faced with this double problem, one technical and the other environmental, an integrative solution is proposed: using recycled plastic waste, specifically polypropylene fibers and pellets, as an additive to improve the characteristics of the subgrade in a clayey soil.

The research was carried out in the district of La Victoria, applying a quantitative-experimental approach. Laboratory tests were carried out on specimens of natural soil and others treated with dosages of polypropylene fibers (0.4%, 0.6% and 0.75%) combined with 8% pelletizing. The tests were performed to classify the soil and to know its mechanical properties with the following tests of modified Proctor and CBR test, following MTC standards.

The results revealed that the incorporation of polypropylene, in its two forms, considerably improved soil characteristics. Thus, it was possible to reduce plasticity, increase maximum dry density and optimize moisture for compaction. In this sense, the CBR value improved significantly, allowing the soil to be reclassified as suitable for subgrade according to the requirements of national technical standards. Among the dosages, 0.6% fiber with 8% pelletizing offered an optimal balance between strength, workability and cost.

Beyond the technical benefits, this proposal provides a sustainable solution to the problem of excess plastics, offering a viable alternative for their revaluation in the construction sector. This demonstrates that it is possible to transform waste into useful resources, contributing not only to road infrastructure, but also to environmental protection and the circular economy.

Keywords: Clay subgrade, polypropylene, pelletized, synthetic fibers, soil stabilization

Introducción

Las vías de transporte de un país son cruciales para el crecimiento del mismo, puesto que estas aseguran un fácil desplazamiento tanto de bienes como de personas. Sin embargo, en diversas regiones del mundo la presencia de una subrasante blanda[1], es lo que ocasiona una falta de resistencia y firmeza en el pavimento para aguantar el peso de los vehículos, lo cual, conduce a un hundimiento irregular de las carreteras y a la inestabilidad [2].

En este sentido, en el Perú, según el ranking realizado por The Global Economy en el año 2006.2019, la calidad de carreteras peruanas fue evaluadas con un total de 3.5 puntos, posicionándose así en el puesto número 111 a nivel mundial, mientras que a nivel latinoamericano obtuvo el puesto 7 entre 19 países[3]. Esto, se debe a que en el Perú cuenta con una diversidad de tipos de suelo, entre los cuales se encuentra la arcilla como uno de los componentes principales [4], siendo esto el principal desafío para la ejecución de obras óptimas, pues la construcción sobre este tipo de suelos, los cuales tienen una capacidad de carga baja por naturaleza, resulta en la incapacidad de cumplir con los estándares necesarios para proyectos de ingeniería civil; por lo contrario, conlleva a un aumento en los costos para intentar estabilizar estos suelos problemáticos mediante diversas soluciones.

Según Montejo [5], la ingeniería de pavimentos enfrenta una problemática significativa con los suelos arcillosos debido a sus características geotécnicas específicas, que afectan negativamente la firmeza y perdurabilidad de las infraestructuras de transporte terrestre; eventualmente, estos suelos experimentan cambios volumétricos pronunciados al absorber y perder humedad, causando levantamientos, grietas y hundimientos que comprometen la integridad del pavimento. Por otra parte, su baja permeabilidad favorece la retención de agua, lo que implica una disminución en la resistencia o soporte del terreno natural y aumentando el riesgo de fallas estructurales.

Por otro lado, el aumento de desechos plásticos y la falta de control de los mismos genera preocupación para el futuro ambiental, pues la población mundial se proyecta a un aumento de casi 2 mil millones en la población durante un lapso de tres décadas, la población global proyectada se incrementará de los actuales 8 mil millones a 9.7 mil millones para el año 2050, con la posibilidad de llegar a aproximadamente 10.4 mil millones a mediados de la década de 2080 a nivel mundial [6], lo que genera una alarma en la cantidad de plásticos que se va a generar.

En la actualidad, se genera un total de más de 200 mil millones de libras de nuevo material plástico en todo el mundo cada año, debido a su gran contribución a la industria, bajo costo y

versatilidad [7]. Tanto que, en el Perú se presenta un promedio de 30 kilogramos de plástico anualmente; sin embargo, este consumo se traduce en la generación de aproximadamente 3 mil millones de plástico anuales, es decir, cerca de 6 mil por minuto [8].

En consecuencia, la producción de plástico plantea desafíos significativos para la gestión de residuos y la salud ambiental, ya que una parte considerable de estos desechos puede terminar en sitios de disposición final o en los mares, lo cual agrava la contaminación y amenaza gravemente la vida marina y el bienestar humano. Recíprocamente, la Victoria uno de los distritos de Chiclayo, uno de los principales generadores de residuos de este material con un (8.88%) del total de tres millones de residuos plásticos que se generan a nivel de Lambayeque [9].

A pesar de, tales problemáticas la combinación de una subrasante arcillosa, caracterizada por su baja capacidad portante, esto supone un reto considerable para la solidez y la vida útil de las infraestructuras de carreteras, mientras que, el uso excesivo de plástico representa un problema ambiental alarmante para la región. Por lo antes mencionado, una de las soluciones innovadoras que se pueden realizar para abordar tal problemática, es sin duda la integración de fibras y peletizado de polipropileno, en la subrasante arcillosa; donde esta técnica no solo permite optimizar la respuesta del suelo, sino que, ofrece una forma de reutilizar el plástico, lo cual, permitirá contribuir a la reducción de los residuos y al desarrollo de mejores infraestructuras, más sostenibles y resistentes.

En este sentido, de acuerdo a la problemática planteada, se obtiene la siguiente pregunta ¿Cuál es la influencia del uso de fibra y peletizado de polipropileno en el mejoramiento de la subrasante arcillosa en el distrito de la Victoria?

Por consiguiente, de acuerdo con las justificaciones se debe considerar, los factores más importantes. En un primer momento, se encuentra, la justificación social, en la que se debe reconocer las características de suelos arcillosos en la región de Lambayeque, en la cual, resulta esencial para elevar el bienestar de la comunidad. Por ende, esta investigación busca concretamente optimizar las condiciones de la subrasante arcillosa; no obstante, se aspira a mitigar las pérdidas económicas derivadas de daños materiales y las constantes reparaciones ocasionadas por los problemas de asentamiento en los suelos.

En un segundo momento, la justificación ambiental, tener en cuenta la creciente inquietud acerca del impacto ambiental derivado de la industria de la construcción, la exploración de alternativas con el fin de optimizar las propiedades de los suelos arcillosos a través de la incorporación de polipropileno reciclado, la cual se posiciona como una solución prometedora y eco amigable. En la cual, la sustitución de los tradicionales compuestos químicos por este

material reciclado aborda de manera directa la necesidad de mitigar la huella ambiental relacionada con los procesos de estabilización del suelo.

En un tercer momento, la justificación económica, la utilización de plástico reciclado ofrece una alternativa más rentable que los compuestos químicos tradicionales empleados en el mejoramiento de suelos arcillosos. Adicionalmente, esto reduce los costos en materiales, ya que el uso de plástico reciclado contribuye a la disminución de los gastos de gestión de residuos al darle un nuevo propósito útil a este material, asimismo, la durabilidad y resistencia del plástico reciclado implican menores gastos de conservación a largo plazo, lo que mejora la rentabilidad de los proyectos de construcción sobre suelos arcillosos.

Finalmente, en cuanto a la justificación tecnológica. Esta innovadora práctica aprovecha los avances en la tecnología de reciclaje para transformar desechos plásticos en un recurso útil en la construcción; la que permite adaptar el plástico reciclado en la mejoría de las propiedades del suelo, tanto en su firmeza y estabilidad, lo cual demuestra el potencial tecnológico de esta solución.

De este modo, al considerar los propósitos establecidos para la presente investigación, se ha visto adecuado designar como objetivo general el Analizar la influencia de adición de fibra y peletizado de polipropileno en la mejora de las propiedades fisicomecánicas de la subrasante arcillosa La Victoria. A continuación, conforme a los propósitos específicos, se han definido los siguientes puntos: Caracterizar y clasificar las muestras naturales de subrasante arcillosa; elaborar ensayos adicionando de manera conjunta distintos porcentajes de fibra y peletizado de polipropileno, donde se cuantificar los cambios, producidos en las propiedades de la subrasante arcillosa; y finalmente, comparar y evaluar las propiedades físico-mecánicas del suelo con fibra y peletizado de polipropileno y suelo natural.

Revisión de literatura

Antecedentes

Boz et al. [10], se centra en añadir fibras, particularmente de basalto y polipropileno, las que pretenden mejorar las características del suelo. En este contexto, se realizó una exploración experimental comparativa en la que se prepararon muestras de suelo arcilloso modificados con diferentes cantidades de fibra (0%, 0.25%, 0.5%, 0.75% y 1%) y longitudes (6 mm, 12 mm y 19 mm), además de una variable adicional de cal (0% y 9%). Los especímenes fueron compactados utilizando el método Standard Proctor y posteriormente curados durante períodos de 1, 7, 28 y 90 días. Los resultados obtenidos reflejaron un incremento significativo en la resistencia de la arcilla tratada únicamente con fibras, sin presencia de cal, evidenciando que

tanto las fibras de basalto como las de polipropileno influyen positivamente en las características del suelo. Sin embargo, al incorporar cal, se observó que las muestras reforzadas con polipropileno superaron en resistencia a las que contenían basalto. La combinación más eficiente resultó ser la de 0.75% de fibra de basalto de 19 mm con 9% de cal después de 90 días de curado. Asimismo, la inclusión de fibra de basalto de 6 mm y polipropileno de 12 mm también mostró efectos beneficiosos, aunque su desempeño varió dependiendo del contenido de cal. Otro hallazgo relevante fue el aumento del módulo secante con la adición de cal, lo que se traduce en una mayor rigidez del material; sin embargo, se advirtió una disminución en la relación entre el módulo secante y la resistencia a la compresión a medida que se incrementaba la cal en presencia de fibras.

Del mismo modo, Chen et al. [11], con el fin de aumentar la capacidad de suelos blandos, especialmente en bases y subbases de pavimentos compactados, una propuesta reciente ha explorado el uso de fibras derivadas de bolsas plásticas como refuerzo. Esta iniciativa innovadora fue sometida a evaluación experimental en laboratorio, empleando arcilla blanda procedente de la región de Shanghái, la cual fue previamente mejorada con cemento. Posteriormente, se reforzó con dos tipos distintos de fibras: monofilamentos de polipropileno y fibras recuperadas de bolsas textiles de polímero, lo que dio origen a mezclas con diferentes proporciones de fibra. Tras un proceso de curado apropiado, las muestras fueron ensayadas en resistencia a la compresión no confinada (UCS), que permitieron observar el comportamiento de las fibras junto al suelo-cemento. Lo cual demuestra que el uso de fibras favorece a los suelos blandos, siendo más efectiva con un contenido óptimo del 0.5% de fibra. No obstante, al superar dicho porcentaje, se evidenció una disminución progresiva en la resistencia, lo que sugiere la existencia de un límite técnico para su aplicación eficiente. Si bien las fibras de polipropileno monofilamento ofrecieron un rendimiento ligeramente superior, ambos tipos de refuerzo resultaron efectivos, brindando beneficios estructurales considerables. Lo más destacable de este estudio es que las fibras provenientes de bolsas textiles de desecho demostraron ser una alternativa viable, no solo por su impacto positivo para suelos blandos, sino que contribuyen a la sostenibilidad ambiental mediante la reutilización de residuos plásticos. En consecuencia, este enfoque presenta un doble valor: fortalece el desempeño de los suelos en proyectos de infraestructura y promueve una solución ecológica al problema de los desechos plásticos.

De manera similar, Wei et al. [12], se orientó a fortalecer las propiedades mecánicas del suelo tratado con cal mediante el refuerzo con diferentes tipos de fibras naturales y sintéticas, tales como paja de trigo, paja de arroz, yute y polipropileno. Con el propósito de identificar la dosificación y longitud más efectivas, se realizaron ensayos de compresión uniaxial y triaxial

en muestras de suelo natural y suelo estabilizado con cal; estos resultados mostraron que las fibras incrementan significativamente la cohesión del suelo, aunque su influencia en el ángulo de fricción interna fue menos notoria. En cuanto a la dosificación, se determinó que un contenido entre 0.2% y 0.25% de fibra, con longitudes equivalentes al 30%-40% del diámetro de la muestra, ofreció los mejores resultados. Entre los refuerzos analizados, el polipropileno sobresalió por su capacidad para mejorar de manera sustancial la resistencia del suelo, incluso en combinación con la cal. Estos hallazgos confirman que la mezcla de cal con fibras, especialmente sintéticas, constituye una técnica eficiente de estabilización, dado que aumenta la cohesión sin afectar significativamente otras propiedades.

De igual importancia, Arrelucé et al. [13], indica que la zona de Palián, en Huancayo, presenta una baja resistencia estructural, lo que compromete su capacidad para soportar cargas significativas. Esta deficiencia está relacionada con su naturaleza cohesiva y la presencia predominante de partículas finas, las cuales limitan tanto la deformación como la compresión del material. Para contrarrestar estas limitaciones, se adoptó una técnica de mejoramiento basada en el refuerzo del suelo con fibras de PP. El estudio analizó diferentes proporciones de fibra (0.1%, 0.2%, 0.3% y 0.4%), todas con una longitud uniforme de 10 mm. A través de diversos ensayos físicos y mecánicos se evidenció un incremento sustancial en las características del suelo. La máxima resistencia obtenida fue de 4.32 kg/cm² con 0.4% de fibras de PP, lo que representa una mejora considerable; estos resultados validan el uso de fibras como técnica de estabilización, al mejorar propiedades del suelo. Esta metodología presenta una alternativa económica y accesible, especialmente en regiones con suelos arcillosos que requieren refuerzo para garantizar un comportamiento adecuado bajo carga.

Por otra parte, Solís et al. [14], indica que las condiciones del suelo arcilloso ubicado en el Jirón Emancipación, San Luis de Shuaro – Chanchamayo, se investigó la adición de fibras de PP en diversas proporciones: 0.2%, 0.4%, 0.6% y 0.8%. El propósito fue optimizar sus propiedades físicas y mecánicas, especialmente en lo relativo a su clasificación como subrasante. A partir de los ensayos realizados, se constató que al aumentar la cantidad de fibras, el suelo experimentó mejoras notables en su comportamiento mecánico. La proporción del 0.6% de fibras de PP fue identificada como la más adecuada, ya que logró transformar la clasificación del suelo de subrasante pobre a una categoría aceptable, con una plasticidad reducida de alta a media. Esto sugiere que el refuerzo con fibras no solo incrementa la capacidad de carga del suelo, sino que también modifica sus características físicas, haciéndolo más apto para aplicaciones en infraestructura. En conclusión, esta técnica resulta efectiva para suelos con propiedades inicialmente deficientes, brindando una alternativa práctica y económica para

mejorar la calidad del terreno en zonas donde predominan materiales arcillosos con limitaciones estructurales significativas.

Palomino et al. [15], señala que para aumentar la capacidad portante de suelos arcillosos utilizados como subrasante en carreteras, se llevó a cabo un estudio experimental en una vía del Perú. La propuesta consistió en adicionar residuos de tereftalato de polietileno (PET) triturado en dosificaciones de 1%, 3%, 4%, 5%, 10% y 15% al suelo natural. Mediante la realización de ensayos CBR, se evidenció que el PET mejora el índice de soporte del suelo, principalmente con porcentajes moderados. En particular, los mejores resultados se registraron con una dosificación de hasta 5%, tras la cual se observó una pérdida en la cohesión y la resistencia del material. Estos resultados sugieren que la inclusión controlada de PET puede ser efectiva para estabilizar suelos arcillosos, siempre que se respete un límite de incorporación. En la cual, se destaca el beneficio ambiental del aprovechamiento de residuos plásticos en soluciones de ingeniería civil. El estudio recomienda seguir investigando los parámetros de dosificación más adecuados en función del tipo de suelo, así como evaluar propiedades como la permeabilidad, con el fin de determinar la viabilidad del PET en la prevención de fisuras, filtraciones y deterioro prematuro en estructuras viales sometidas a condiciones exigentes.

De igual forma, Según Liendo [16], en la región de Cusco, se determinó el comportamiento arcilloso reforzado con fibras de PP de 0.88 mm de diámetro y 5 mm de largo. Las proporciones utilizadas fueron 0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2%, las cuales se sometieron a diferentes ensayos de laboratorio. Los resultados mostraron mejoras notables en la subrasante, la cual pasó de una clasificación insuficiente a regular o buena, conforme a los estándares del MTC y la norma CE.010. Con una proporción del 0.3% de fibras, la resistencia al corte se incrementó en un 34% y 71%, dependiendo del tipo de muestra. Se identificó una reducción en la densidad seca máxima, mientras que el contenido de humedad óptimo aumentó proporcionalmente al contenido de fibra. Estos hallazgos demuestran que el refuerzo con fibras de PP tiene un efecto positivo en la mejora estructural del suelo, haciendo que este sea más adecuado para soportar cargas. Donde, se sugiere seguir investigando la viabilidad de otros materiales similares, que podrían brindar beneficios técnicos comparables, con ventajas económicas y ambientales adicionales para el refuerzo de suelos arcillosos.

Finalmente, Linares et al. [17], señala que, en la ciudad de Chachapoyas, Amazonas, se exploró una alternativa de estabilización de suelos arcillosos mediante la incorporación de bolsas de polietileno fundido. Se mezclaron con el plástico fundido en proporciones del 4%, 8% y 12%. En términos físicos, el tratamiento con 4% redujo el índice plástico (IP) de 13.55% a 8.98%, lo que indica una menor susceptibilidad a la deformación. En cuanto a las propiedades

mecánicas, el tratamiento con 12% de polietileno fundido permitió disminuir la humedad óptima de compactación de 18.23% a 15.46%, aumentar la masa seca máxima de 1.730 g/cm³ a 1.807 g/cm³, y mejorar el índice CBR de 5.6% a 9.9%. Estos resultados evidencian que el uso de polietileno fundido como aditivo puede ser una estrategia efectiva para mejorar la resistencia y estabilidad de suelos arcillosos. Por ende, se representa una opción sostenible, al reutilizar materiales plásticos en desuso, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental en proyectos de ingeniería geotécnica.

Bases técnicas

Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - MTC -2014 [18]

Es una guía técnica de vital importancia y de cumplimiento obligatorio. Este documento establece criterios uniformes y detallados para el diseño de carreteras, poniendo especial énfasis en el estudio e interpretación de las cualidades y comportamiento del suelo. Asimismo, considera aspectos como la geología y la geotecnia, que influyen directamente en la consistencia y el rendimiento de las infraestructuras viales [18].

Pavimentos Urbanos - NTP CE. 010

Este documento establece los lineamientos mínimos que deben cumplirse en el diseño, de pavimentos urbanos. Estos lineamientos tienen como propósito fundamental garantizar la durabilidad, el buen desempeño y el uso eficiente de los recursos durante la vida útil de los pavimentos [19].

Ley general del ambiente - Ley N°28611

Esta ley tiene como objetivo fundamental establecer los principios, normas y mecanismos necesarios para que los ciudadanos puedan cohabitar en un ambiente igualado. En este sentido, la ley promueve la participación activa de la ciudadanía, la preservación de la variedad biológica y el aprovechamiento sostenible del patrimonio natural [20].

Contenido de humedad de un suelo - MTC E 108 [18]

Esta presente táctica reviste gran relevancia, pues posibilita analizar el contenido de humedad del suelo, parámetro crucial para el diseño y la edificación de vías [18].

Equipos Necesarios

- Balanza
- Horno
- Recipientes: Preferentemente metálicos y con tapa hermética.
- Espátula: Para manipular las muestras de suelo.
- Desecador: Para enfriar las muestras después del secado en el horno.

Materiales Requeridos

- Suelo a evaluar: Cantidad suficiente para el ensayo.
- Etiquetas: Para identificar cada muestra y su respectivo recipiente.
- Preparación de la Muestra
- Cantidad de muestra: Aproximadamente 200 g de suelo.
- Homogeneización: Asegúrese de que el suelo esté representado de forma homogénea, libre de materiales extraños como raíces, hojas o piedras.

Procedimiento

- Preparación del Recipiente: Limpie y pese un recipiente vacío con su tapa. Registre su peso como (W1).
- Adición de la Muestra: Coloque aproximadamente 200 g de suelo en el recipiente y cierre con la tapa. Pese el conjunto y registre el peso total como (W2).

Secado del espécimen:

- Enfriamiento del espécimen: Retire el recipiente del horno, colóquelo la tapa y deje enfriar en el desecador.
- Peso Final: Pese el recipiente con el espécimen seco y la tapa, y registre el peso final como (W3).

Contenido de humedad (%)

$$= \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

Interpretación de los resultados:

La cantidad de humedad presente en el suelo se categoriza según su consistencia:

- Suelo seco: < 20%
- Suelo húmedo: 20% y 35%
- Suelo saturado: > 35%

Análisis granulométrico por tamizado - MTC E 107 [18]

Esta prueba permite clasificar el suelo en conforme a su granulometría, un factor clave para el diseño y la ejecución de carreteras, pavimentos, edificaciones y otras infraestructuras [18].

Procedimiento:

- Después de la obtención la muestra debe ser triturada y tamizada para eliminar piedras y agregados gruesos. Luego, se debe secar a temperatura ambiente hasta obtener un peso constante.

- Se escoge un grupo de cribas con aberturas de dimensiones normalizadas, siguiendo la serie ASTM. La serie de tamices utilizada dependerá del tipo de suelo y del correspondiente al espectro de granulometría que se busca examinar.
- Tamizado: La muestra seca se dispone sobre el tamiz de mayor abertura y se agita manualmente o con un equipo mecánico hasta que las partículas hayan pasado por el tamiz. Luego, se repite el proceso con los tamices de menor abertura, recogiendo las partículas retenidas en cada tamiz.
- Pesado de las fracciones: Se pesa cada fracción de partículas retenidas en los tamices con una balanza de precisión hasta obtener un valor con aproximación al 0.1%.
- Se determina el porcentaje de partículas que atraviesan cada tamiz, incluido el N°200, mediante la siguiente operación:

$$(\%) \text{ pasa } 0.074 = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso retenido en el tamiz de } 0.074}{\text{Peso total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje retenido por el tamiz N°200:

$$(\%) \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} \times 100$$

- El porcentaje más fino se calcula restando del 100%.

$$(\%) \text{ pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

- El porcentaje de humedad de la muestra secada en horno se determina así:

(%) *Humedad higroscópica*

$$= \frac{\text{Peso de suelo secado al aire} - \text{Peso de suelo secado al horno}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Límite líquido - MTC E 110 [18]

Este método se fundamenta en la técnica de la cazuela de Casagrande, en la cual se realizan surcos en una masa de suelo moldeada a diferentes contenidos de humedad y se registra la cantidad de golpes requeridos para cerrar las ranuras [18].

Equipos:

- Cazoleta de Casagrande: Es una cazuela de bronce de dimensiones específicas, con un surco en forma de V en su base.
- Espátula: Se utiliza para preparar la masa de suelo y realizar los surcos.
- Acanalador: Es una herramienta con forma de cuchilla que se utiliza para realizar los surcos en la masa de suelo.
- Calibrador: Se utiliza para verificar las dimensiones del surco en la cazuela de Casagrande.

- Gradilla: Se utiliza para sostener la cazuela de Casagrande durante el ensayo.
- Copa: Se utiliza para contener el agua que se agrega al suelo.
- Balanza

Materiales:

- Muestra de suelo: El espécimen de suelo debe ser específico del material que se desea analizar y tener un tamaño adecuado para el ensayo. La cantidad de suelo requerida dependerá de la plasticidad del material.
- Agua destilada: Se utiliza para humedecer el espécimen de suelo.

Procedimiento:

- Preparación: La muestra se calienta a una temperatura controlada de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, se tamiza a través de un tamiz N° 40 (0.420 mm) para eliminar las partículas gruesas.
- Mezclado con Agua: Se incorpora agua destilada a la muestra de suelo y se mezcla a mano hasta conseguir una pasta uniforme.
- Llenado de la Cazuela: El espécimen de suelo se coloca en la cazuela de Casagrande y se compacta con dos golpes de espátula. La superficie de la masa se nivela y se crea un surco en forma de V utilizando un acanalador.
- Cierre del Surco: La cazuela se deja caer sobre una gradilla de altura de 10 cm. Se anota la cantidad de golpes necesarios.
- Se pesa el espécimen de suelo en la cazuela y se determina el contenido de humedad. Este procedimiento se reitera con distintas cantidades de humedad hasta lograr al menos cuatro puntos que definan la curva de flujo plástico.
- Cálculo del Límite Líquido: Se grafica la curva de flujo plástico, con el contenido de humedad en el eje Y y el número de golpes en el eje X. El punto de intersección de esta curva con una línea horizontal que representa dos golpes determina el límite líquido, el cual corresponde al contenido de humedad en ese punto.

Calculo:

- El límite líquido se establece mediante la ecuación mostrada a continuación:

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

Donde:

N = Cantidad de golpes para cerrar la r

W^n = Contenido de humedad del suelo

K = factor dado en la tabla

TABLA 1 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS MTC E110 [18]

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

Límite plástico - MTC E 111 [18]

Procedimiento estandarizado establece un procedimiento estandarizado para establecer el límite plástico y el índice de plasticidad en suelos, esta técnica consiste en enrollar pequeñas porciones de tierra con distintas humedades hasta que se desmoronen [18].

- Se cierne una porción de suelo y se amasa con agua hasta obtener una consistencia plástica.
- Se forma una barrita de suelo con un diámetro de 3,2 mm y se rueda sobre una superficie lisa hasta que se rompa.
- El límite plástico (LP) se determina midiendo la humedad de la barrita rota.
- El índice de plasticidad (IP) se calcula restando el LL y LP.

Cálculo:

- Calcular el límite plástico

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

Cálculo del índice de plasticidad:

- El índice de Plasticidad se puede expresar como la diferencia entre su LL y su LP.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido

L.P. = Límite Plástico

Gravedad específica - MTC E 113 [18]

Explica cómo usar un picnómetro de agua basado en el principio de Arquímedes para cuantificar la gravedad específica de los sólidos presentes en el suelo y proporciona una herramienta útil para hacerlo de manera precisa, confiable y eficiente [18].

Método A (húmedo):

- Se extrae una porción de suelo húmedo y se registra su peso.
- Se carga un picnómetro con agua y se pesa.
- Se agrega la muestra húmeda al picnómetro, se elimina el aire y se pesa de nuevo.
- Se seca el espécimen de suelo y se pesa.
- Se calcula la Gs usando fórmulas específicas del MTC E 113.

Método B (seco):

- Se pesa el suelo seco.
- Se llena un picnómetro con agua y se pesa.
- Se agrega la muestra seca al picnómetro, se elimina el aire y se pesa de nuevo.

Cálculo de la gravedad específica:

- Se calcula la gravedad específica de los sólidos de suelo utilizando la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{\text{Peso del picnómetro con suelo y agua} - \text{Peso del picnómetro con agua}}{\text{Peso del picnómetro con agua} - \text{Peso del picnómetro vacío}}$$

Sistemas de clasificación de los suelos

Tanto el (SUCS) como el (AASHTO) son herramientas fundamentales para la clasificación de suelos, basándose en sus peculiaridades físicas y mecánicas. Sin embargo, cada sistema emplea un enfoque distintivo para agrupar y caracterizar los diferentes tipos de suelo [18].

Sistema AASHTO

Se utiliza principalmente para clasificar materiales destinados a la construcción de carreteras y pavimentos. Organizándose en grupos (A-1 a A-8) en función de su tamaño de partícula, plasticidad y características de compactación [18].

Grupos A-1 a A-3:

Suelos de partículas gruesas bien gradados y no plásticos, como gravas y arenas. Son materiales ideales para la construcción de subbases y bases de carreteras [18].

Grupos A-4 a A-7:

Suelos de partículas finas con distintos niveles de plasticidad, como limos y arcillas. Algunos de estos suelos pueden ser adecuados para la construcción de subbases y bases, pero requieren una evaluación cuidadosa de sus propiedades [18].

Grupos A-8:

Suelos orgánicos o tierras con elevada proporción de arcilla expansiva. No son recomendables para la edificación de carreteras debido a su mínima capacidad de soporte [18].

TABLA II SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS [18]

Clasificación General	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos Finos ($> 35\%$ Bajo 0,08 mm)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				36			
W_L				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A-7-5: $IP \leq (W_L - 30)$						** A-7-6: $IP > (W_L - 30)$				
	Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$										

Sistema (SUCS)

Este sistema categoriza en dos divisiones principales: las tierras de grano grueso y las tierras de grano fino, y luego los subdivide en conjuntos secundarios y terciarios en resultado de su tamaño de partícula, plasticidad y características de compactación [18].

Suelos de grano grueso (G)

Los suelos de grano grueso están compuestos por partículas cuyo diámetro excede los 0.075 mm, como gravas, arenas y limos gruesos. Se subdividen en:

- Gravas (G): Suelos con más del 50% de partículas mayores de 2 mm de diámetro
- Arenas (S): Suelos con más del 50% de partículas entre 0.075 mm y 2 mm de diámetro [18].

Suelos de grano fino (M, C, O, Pt)

Los suelos de grano fino están compuestos por partículas menores de 0.075 mm de diámetro, como limos finos, arcillas y suelos orgánicos. Se subdividen en:

- Limos (M): Suelos con más del 50% de partículas entre 0.075 mm y 0.002 mm de diámetro, y con un límite plástico (LP) menor al 50%. Se subdividen en ML (limos no plásticos o de baja plasticidad), MH (limos de alta plasticidad).
- Arcillas (C): Suelos con más del 50% de partículas menores a 0.002 mm de diámetro, y con un LP mayor al 50%. Se subdividen en CL (arcillas con mezcla de limo), CH (arcillas de alta plasticidad).
- Suelos orgánicos (O): Suelos con un contenido de materia orgánica mayor al 16%. Se subdividen en OH (arcillas orgánicas), OL (limos orgánicos), OP (turberas orgánicas).
- Turbas (Pt): Suelos orgánicos con un contenido de materia orgánica fibrosa mayor al 75%.

TABLA III SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN (SUCS) [18]

DIVISION MAYOR	GRUPO SIMBOLOS	DESCRIPCION	CRITERIO DE CLASIFICACION DEL LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO Mas de la mitad de material es mayor que el tamiz N° 200	GRAVAS (Mas de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4) GRAVA LIMPIA (poco o ningún fino) GRAVA CON FINAS (cantidad de finos)	GW	Grava bien graduado o mezcla de arena y grava. Poco o ningunos finos.	$C_u = \frac{D_{60} \text{ mayor que } 4}{D_{10}}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ entre } 1 \text{ y } 3$ No reúne los requisitos de granulometría para GW Límites de Atterberg bajo la línea "A" o I.P. menor de 4 Límites de Atterberg sobre la línea "A" o I.P. mayor 7 $C_u = \frac{D_{60} \text{ mayor que } 6}{D_{10}}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ entre } 1 \text{ y } 3$ No reúne los requisitos de granulometría para SW Límites de Atterberg sobre la línea "A" o I.P. menor de 4 Límites de Atterberg sobre la línea "A" o I.P. mayor de 7
		GP	Grava mal graduado o mezcla de grava y arena. Poco o ningunos finos.	
		GM	Grava con finos, grava mal graduado muy limoso. Mezcla grava, arena y arcilla.	
		GC	Mezcla bien graduado de grava, arena y arcilla. Excelente aglutinante.	
	ARENAS (Mas de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 40) ARENA LIMPIA (poco o ningún fino) ARENA CON FINOS (Aprox. 50% de finos)	SW	Arena bien graduada y arena gravillosa. Poco o ningunos finos.	
		SP	Arena mal graduado. Arena gravillosa. Poco o ningunos finos.	
		SM	Arena con finos. Area muy limoso. Mal graduado mezcla arena y arcilla.	
		SC	Mezcla bien graduado arena y arcilla. Excelente aglutinante.	
		ML	Limos inorgánico y arena muy fina. Polvo roca. Arena fino con poca plasticidad.	
		CL	Arcilla inorgánica de baja o medias plasticidad. Arcilla arenosa. Arcilla gravillosa. Arcilla limosa. Arcilla fina.	
SUELOS DE GRANO FINE Mas de la mitad del material es menor que el tamiz N° 40 LIMO Y ARCILLA Límite de plasticidad mayor de 50 Suelos altamente orgánico	OL	Limos. Orgánico. Limos – arcilla orgánico de baja plasticidad.		
	MH	Limos inorgánicos, arena fina micáceo o diamatáceo o suelo limoso, suelo elástico.		
	CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad. Arcillas grasas.		
	OH	Arcilla orgánica de media o alta plasticidad.		
	PL	Turba (pect) y otros materiales altamente orgánicos.		

Proctor modificado - MTC E 115 [18]

Procedimiento fundamental en la ingeniería civil para establecer la relación entre el peso unitario y el contenido de humedad seco de un suelo compactado; en la cual, la información es fundamental para la planificación de pavimentos y otras construcciones que requieren suelos con propiedades mecánicas adecuadas [18].

Del mismo modo, el equipo necesario para efectuar la prueba de compactación, se requiere un molde cilíndrico con collar de extensión y de 4" o 6" de diámetro interno, un pisón o martillo, un horno de secado con temperatura constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, una balanza GP5 con precisión de aproximadamente 1 g.

También se necesita una regla niveladora, recipiente para almacenamiento, herramientas para mezclar, y un tamiz N°40.

Por lo tanto, el método incluye seleccionar el molde adecuado, tomar muestras de cada punto de ensayo, se deben mezclar las muestras con cada porcentaje de agua, dividir la muestra en 5 partes para las 5 capas compactadas del ensayo, tomar muestras de las 5 capas y compactar cada una con 56 golpes, nivelar el suelo al borde del molde, limpiar el molde y pesarlo [18].

CBR de suelos – MTC E 132 [18]

Procedimiento fundamental en la ingeniería civil para evaluar la resistencia al corte y la deformabilidad de un suelo compactado. Esta información resulta esencial para el diseño de subrasantes, bases de pavimentos y otras obras de infraestructura que requieren suelos con propiedades mecánicas adecuadas para soportar cargas [18].

- Se toma una muestra de suelo y se prepara según las especificaciones del MTC E 132 (humedad, compactación).
- La muestra compactada se introduce en un molde cilíndrico.

- Se ejerce una carga vertical sobre la muestra a una velocidad regulada.
- Se ejerce una carga vertical sobre la muestra a una rapidez regulada.
- Se calcula el CBR como la relación entre la carga a una penetración específica (2.5 mm o 5.1 mm) y la carga estándar de referencia para un suelo de buena calidad. Se aplica a fuerza aplicada sobre el pistón de penetración, a una velocidad constante de 1.27mm por minuto, se va registrando progresivamente junto con las lecturas correspondientes a las distintas profundidades de penetración.

TABLA IV MÉTODO DE ENSAYO DE CBR, LECTURAS DE CARGA PARA LAS SIGUIENTES PENETRACIONES [18]

Milímetros	Pulgadas
0,63	0,025
1,27	0,050
1,90	0,075
2,54	0,100
3,17	0,125
3,81	0,150
5,08	0,200
7,62	0,300
10,16	0,400
12,70	0,500

- Finalmente, se procede al desmontaje del molde y, desde la sección superior, se extrae una porción del material con el propósito de determinar su contenido de humedad.
- Se calcula el índice resistente de CBR:

TABLA V ÍNDICE DE RESISTENCIA DE CBR [18]

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Se elabora un gráfico que vincula las presiones aplicadas con las profundidades de penetración del penetrómetro. El propósito es identificar si la curva muestra un punto de inflexión, el cual señala una modificación en el comportamiento del suelo.

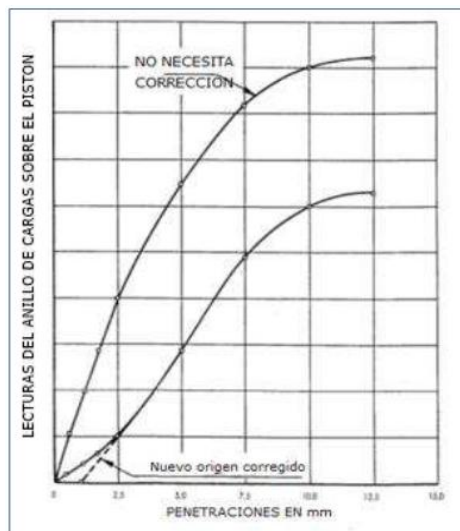


Fig. 1 Lecturas del anillo de cargas sobre el pistón [18]

Bases teóricas

Suelos arcillosos

De acuerdo con el Manual de Carreteras del MTC, se caracterizan por su elevada plasticidad, baja permeabilidad, susceptibilidad al hinchamiento y contracción, baja resistencia al corte. Se clasifican según su Índice de Plasticidad (IP) en poco arcillosos, arcillosos y muy arcillosos teniendo que un suelo arcilloso tiene un Índice de Plasticidad $7 < x < 20$ [21].

Grupos de arcillas

a. Arcillas caoliníticas

Conocidas como caolines no permiten la impregnación de agua. Presentan baja plasticidad, alta refractariedad, inercia química y buena capacidad de absorción [22].

b. Arcillas montmoriloníticas

Destacan por su estructura laminar fina y alta capacidad de intercambio catiónico, permitiéndoles absorber y liberar distintos iones. Son muy plásticas y expandibles, pero poco permeables [22].

c. Arcillas ilíticas

Se distinguen por su estructura laminar delgada, donde dos capas de tetraedros de silicio se unen a una capa de octaedros de aluminio o magnesio. Son moderadamente plásticas, poco expandibles y de permeabilidad variable [22].

Propiedades físicas

a. Peso volumétrico

También conocido como densidad seca o corresponde a la proporción existente entre el peso del suelo completamente seco y el volumen total que este ocupa. Se expresa en unidades de kg/m^3 [22].

Valores habituales del peso volumétrico de las arcillas:

- Suelos arcillosos sueltos: 1.2 - 1.4 g/cm³
- Suelos arcillosos compactos: 1.6 - 1.8 g/cm³
- Suelos arcillosos con alto contenido de materia orgánica: 0.8 - 1.2 g/cm³

b. Densidad

La densidad del suelo arcilloso, también conocida como densidad real, hace referencia a la densidad propia de las partículas sólidas que conforman el suelo, excluyendo los vacíos entre ellas, y se expresa en g/cm³; por lo tanto, en el caso de suelos finos, el material debe ser previamente tamizado a través de la malla N°40 [22].

c. Granulometría

Los suelos arcillosos se distinguen por presentar una elevada proporción de componentes finos según especificaciones del MTC E 107, es decir, partículas con un diámetro menor a 0.005 mm [22].

d. Plasticidad

Esta cualidad inherente representa una característica física esencial de los terrenos de tipo arcilloso, que define como la capacidad de un suelo para deformarse permanentemente sin romperse cuando está húmedo, y de conservar su forma después de que se seque [22].

Con el propósito de determinar la plasticidad de los suelos arcillosos, se emplean dos índices:

- Límite líquido (LL): Contenido de agua máximo que un suelo puede tener sin perder su capacidad de soportar una carga.
- Límite plástico (LP): Se refiere a la humedad mínima que un terreno es capaz de poseer sin romperse al ser moldeado en una forma cilíndrica.
- Índice de plasticidad (IP): Representa la disparidad ($IP = LL - LP$). Un índice de plasticidad alto indica un suelo más plástico.

Propiedades mecánicas

a. Estabilidad volumétrica

Las arcillas son propensas a dilatarse al entrar en contacto con el agua y contraerse cuando la pierden. Esta variación volumétrica puede generar problemas de estabilidad en estructuras construidas sobre este tipo de suelo, causando agrietamientos y deformaciones. La expansión y contracción dependen de la estructura mineralógica del suelo, contenido de materia orgánica, densidad y condiciones de humedad [5].

b. Resistencia

Los suelos arcillosos presentan una baja resistencia al corte porque exhiben una gran cohesión entre sus partículas y una mínima fricción interna. Esto los hace susceptibles a la

deformación bajo cargas; en donde, la resistencia al corte está condicionado por la cantidad, el tipo de arcilla, la disposición estructural del suelo y la proporción de agua presente [5].

c. Permeabilidad

Los suelos arcillosos tienen una baja permeabilidad debido al pequeño tamaño de sus poros. Esto significa que el agua fluye lentamente a través de ellos, lo que puede generar problemas de drenaje y encharcamiento. La permeabilidad depende del contenido de arcilla, tipo de arcilla, estructura del suelo y contenido de agua [5].

d. Compresibilidad

Los suelos arcillosos son altamente compresibles, lo que implica que se deforman significativamente bajo cargas relativamente pequeñas. Esta particularidad resulta crucial en la edificación de cimentaciones, las cuales pueden provocar hundimientos o asentamientos del terreno. La compresibilidad está condicionada por la cantidad y el tipo de arcilla, la estructura del suelo y su contenido de agua [5].

e. Durabilidad

Los suelos arcillosos tienen una buena durabilidad frente a la erosión hídrica debido a la alta cohesión entre las partículas. Sin embargo, son vulnerables a la erosión debido a su escasa densidad. La durabilidad depende del contenido de arcilla, tipo de arcilla, estructura del suelo, cobertura vegetal y prácticas de manejo del suelo [5].

Subrasante de suelos arcillosos

La capa subrasante es fundamental para determinar el espesor apropiado del pavimento, ya sea flexible o rígido, se determina considerando su resistencia a la deformación causada por el esfuerzo cortante bajo las cargas del tráfico un parámetro clave de evaluación. La sensibilidad del suelo a la humedad, incluyendo su resistencia y cambios de volumen, es crucial para evitar daños estructurales, aquellos suelos con un CBR inferior al 6%, se deberá realizar una estabilización de suelos [5].

Categorías de la subrasante

TABLA VI CATEGORÍAS DE SUBRASANTE [18]

Clasificación de subrasante	Resistencia (CBR)
Aceptable	$5\% \leq \text{CBR} \leq 10\%$
Media	$10\% \leq \text{CBR} \leq 10\%$
Buena	$\text{CBR} \geq 15\%$

Estabilización de suelos

Proceso que permite aprovechar al máximo las características del suelo y adaptarlo a las exigencias de diversas obras, garantizando la estabilidad, durabilidad y seguridad de las estructuras [5].

Tipos de estabilización de suelos

a. Estabilización mecánica

Método para mejorar un suelo sin alterar su composición química. Se basa en principios físicos como compactación, junto con la combinación o mezcla de distintos tipos de suelos para aumentar su resistencia, disminuir su compresibilidad y controlar su permeabilidad [5].

b. Estabilización física

Método para mejorar un suelo mezclándolo con otros suelos o reemplazándolo por un material de mejor calidad. Este método se fundamenta en el principio de que las propiedades de una mezcla de suelos son el resultado de las propiedades individuales de los componentes y de las proporciones en que se mezclan [5].

c. Estabilización química

Método para mejorar un suelo natural mediante la adición de aditivos químicos. Estos aditivos reaccionan con las partículas del suelo o entre sí para modificar su comportamiento y aumentar su resistencia, disminuir su compresibilidad, controlar su permeabilidad y mejorar su durabilidad [5].

d. Estabilización biológica

Método para mejorar un suelo utilizando organismos vivos y sus procesos biológicos. Se basa en la interacción entre las plantas, los microorganismos y el suelo para aumentar la resistencia, mejorar la estructura de tal, aumentando la fertilidad del suelo [5].

Polipropileno

El polipropileno, comúnmente conocido como PP, es un polímero ampliamente empleado en diversas aplicaciones. Desde prendas textiles y empaques, hasta instrumentos médicos, elementos de laboratorio y piezas o componentes diversos automotrices, el polipropileno se destaca por su versatilidad. Este material se produce mediante la polimerización del propileno, un termoplástico fundamental en su composición [23].

Peletizado de polipropileno

El peletizado plástico reciclado es un material que proviene del reciclaje de plásticos desechados, transformados en pequeños gránulos listos para ser reutilizados en la fabricación de nuevos productos. Estos pellets, que son básicamente pequeñas bolitas de plástico, se

emplean en diversas máquinas industriales como las de película soplada, inyección y moldeo plástico, entre otras [24].

Fibra de polipropileno

Corresponde a una clase de material sintético fabricado a partir de polímeros derivados del propileno; el cual, es un tipo de fibra flexible, que utiliza su alta ductilidad para minimizar el agrietamiento, aunque es una microfibra con bajo módulo elástico, tiene alta resistencia a la tracción y excelente resistencia al agrietamiento. En esencia, al ser ligera y flexible, puede adaptarse a formas complejas sin perder su integridad estructural, lo cual, hace que sea muy útil en la fabricación de productos que deben soportar tensiones o movimientos repetidos sin deteriorarse rápidamente [25].

Interacción suelo fibra

Por lo tanto, la adición de fibras al suelo conlleva a un aumento en su resistencia al corte y a una mayor ductilidad, al activar su resistencia intrínseca a la tracción cuando es sometido a una tensión externa; este aumento de la resistencia se logra mediante la interacción entre las fibras y el suelo implica un proceso en el que la fricción y el anclaje superficial desempeñan un rol crucial en la transferencia de las tensiones normales del suelo hacia las fibras, las cuales, están encerradas en partículas de tierra entrelazadas, lo que ayuda a repartir la resistencia y aumenta la fricción entre ambos elementos [26].

Materiales y métodos

Tipo de investigación:

La clasificación de la investigación se puede determinar según sus objetivos, el tipo de datos que se analizarán y la metodología utilizada para demostrar la hipótesis [27]. En este caso, esta investigación se clasifica como:

Según el fin:

Investigación aplicada, ya que se centra en teorías existentes de la ingeniería, de tal manera que se pueda mejorar las propiedades del suelo arcilloso.

Según datos analizados:

Investigación cuantitativa, debido a que en este trabajo de investigación se llevan a cabo análisis fundamentados en hipótesis que se sustentarán a través de pruebas en el laboratorio y recopilando datos de las variaciones en las propiedades del suelo arcilloso.

Según metodología para demostrar la hipótesis:

Estudio de experimentación, dado que el objetivo es determinar hasta qué punto la inclusión de fibra PP impacta en las características del suelo arcilloso, demostrando la hipótesis según los resultados obtenidos.

Diseño de investigación

Se trata de una investigación de carácter experimental, ya que involucra la observación de variables en una muestra de estudio que permanecerá sin intervención, mientras que otras muestras serán manipuladas para permitir la comparación de su comportamiento [27].

Oc	<input type="checkbox"/>	-X	→	M:	Grupo de referencia
Oe	<input type="checkbox"/>	X	→	M:	Grupo sometido a experimentar

Donde:

- O: Suelo arcilloso antes y después
- M: Propiedades antes y después
- -X: Espécimen sin fibra y peletizado de PP
- X: Espécimen con fibra y peletizado de PP

Población, muestra y muestreo de estudio

Población

El presente estudio considera como población a las subrasantes arcillosas en el distrito de la Victoria.

Muestra

Con el fin de desarrollar el estudio, resulta imprescindible determinar la cantidad de ubicaciones necesarias para analizar la base del terreno. La exploración se realizará mediante excavaciones a profundidad, tomando en cuenta las exigencias básicas establecidos por la CE. 010 de Pavimentos Urbanos [19].

TABLA VII REQUISITOS MÍNIMOS ESTABLECIDOS POR LA CE. 010 DE PAVIMENTOS URBANOS

TIPO DE VÍA	NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	ÁREA (m ²)
Expresas	1 cada	1000
Arteriales	1 cada	1200
Colectoras	1 cada	1500
Locales	1 cada	1800

Muestreo de estudio

La muestra escogida se determinó de manera no aleatoria dado que las calles seleccionadas se eligieron por razones de conveniencia, debido a la limitada capacidad de carga del suelo y a las deficiencias de la base del terreno que se necesitan para este estudio.

Criterios de selección

Se necesitan 3 puntos de investigación para las vías locales sin pavimentar del área 3619 m² de estudio, a pesar de que el cálculo inicial arrojó 1.02 puntos. Esto se debe a que la norma exige un mínimo de 3 puntos para garantizar la calidad de los datos [19], se trabajará con este número de puntos.



Fig. 2 Ubicación de estudio a realizar – Fuente: Propia

Los puntos a elegir para las calicatas serán a conveniencia y de esta manera se pueda obtener una muestra del área de estudio.

TABLA VIII UBICACIÓN DE CALICATAS DE LA ZONA DE ESTUDIO – FUENTE: PROPIA

CALICATA	UBICACION
C-01	DEMETRIO ACOSTA
C-02	RAUL JIMENEZ
C-03	ANTONIO RAYMONDI

Cálculo de muestra estadísticamente

Para calcular el número de muestras, se sigue la metodología presentada en el libro "*Orientaciones para la selección y cálculo del tamaño de la muestra en investigación*". A continuación, se mencionan algunas consideraciones que deben tomarse en cuenta [28].

$$n = \frac{Z^2 pq}{e^2}$$

- p: Proporción poblacional que presenta una probabilidad de éxito. *Suelos tratados con fibra y peletizado.*
- q: Proporción poblacional que presenta probabilidad de fracaso. *Suelos tratados con fibra y peletizado.*
- e: Máximo error de estimación de p. En búsquedas de un mínimo error, sin tendencias

a una cantidad de muestras no calculables, se considera $e=5\%$

- z: Valor relacionado al nivel de confianza. Calculado en base a la distribución normal estándar (Programa: Excel) $z=1.96$.

TABLA IX PORCENTAJE DONDE FIBRA DE POLIPROPILENO TUVO MAYOR ÉXITO - FUENTE: PROPIA

FIBRA DE POLIPROPILENO					
Nº	Título	Autor (es)	Tipo de Documento	Resultados	Dosificación
[16]	Evaluación en laboratorio de las características de un suelo arcilloso de baja compresibilidad reforzado con inclusiones de fibras de polipropileno	Liendo Luque, Carol Estefani	Tesis de pregrado	La subrasante mejorada con 0.3% y 0.6% pasó de insuficiente a subrasante regular la densidad seca máxima del suelo reforzado con 0.6% de fibras de PP alcanzaron un 59% de mejora	0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2%
[13]	Incorporación de fibras de polipropileno como método de reforzamiento de suelos arcillosos en Palian - Huancayo	Arrelucé Montenegro, Sebastian; Solís Larrauri, Grecia Luciana	Tesis de pregrado	0.4% de fibras de polipropileno disminuye su densidad seca de 1.82 a 1.72 gr/cm ³ La resistencia del suelo natural de 3.05kg/cm ² con la adición de 0.4% de fibra aumentó a 4.32 kg/cm ²	0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%
[29]	Aplicación de fibras de polipropileno para la mejora de la trocha carrozable, La Mora-Caserío Melgas, Sayapullo, Gran Chimú, 2023	Chiclayo Guevara, Diego Vladimir	Tesis de pregrado	El 3% máximo de fibra otorgó un Cbr de 22.38%	0%, 1%, 2%, 3% y 4%
[10]	Mechanical properties of lime-treated clay reinforced with different types of randomly distributed fibers	Boz, et al.	Artículo de revista académico	La mayor mejora se obtuvo mediante el uso de 0,75% de fibra	0%, 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%
[12]	Mechanical properties of soil reinforced with both lime and four kinds of fiber	Li Wei, et al.	Artículo de revista académico	El contenido óptimo de fibra es del 0,2% o 0,25%	0,05%, 0,15% y 0,25%
[30]	Análisis del comportamiento mecánico del suelo arcilloso reforzado con fibras de polipropileno en la Merced - Junín 2021	Solis, et al.	Tesis de pregrado	La proporción de 0.6% de fibras de polipropileno resultó ser la mezcla ideal Las propiedades físicas como mecánicas del suelo mejoran significativamente	0.2%, 0.4%, 0.6% y 0.8%

TABLA X PORCENTAJE DONDE PELETIZADO DE POLIPROPILENO TUVO MAYOR ÉXITO – FUENTE: PROPIA

PELETIZADO DE POLIPROPILENO					
Nº	Título	Autor (es)	Tipo de Documento	Resultados	Dosificación
[17]	Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido, Chachapoyas, 2018	Linares Chavez, Roiser Rene	Tesis de pregrado	Porcentaje optimo 8%	4%, 8% y 12%
[31]	Diseño de subrasante incorporando bolsas de polietileno fundido, para mejorar la estabilidad del suelo, trocha Los Peches – Paredones, Mochumí - Lambayeque	Paico Espinoza, Jacqueline del Pilar Siapo Tejada, Roger Ivan	Tesis de pregrado	La dosificación óptima es de 12% influyendo significativamente Valores de CBR de 4.04% a 7.92% y en la C9 el CBR es de 4.40 a 7.96%	3%, 5%, 10% y 12%
[32]	Mejoramiento de la resistencia del suelo a nivel de subrasante aplicando bolsas de polietileno fundido, sector II Villa Hermosa, Lambayeque	Guerrero Saavedra, Ronald Valladolid Carrasco, Carlos Enrique	Tesis de pregrado	5% en relación al peso seco del suelo, se tuvo una mejora del CBR de 3.4% a 7.8%, La dosificación optima el 7%	3%, 5% y 7%

Para obtener los valores de p y q, relacionamos con los porcentajes en donde los plásticos tuvieron mayor probabilidad de éxito, de esta manera, de acuerdo a los antecedentes hay una taza mayor de éxito cuando se trabajaba con cantidades pequeñas para el uso de fibras y para el peletizado había un porcentaje donde era ideal, de acuerdo a esto se utiliza un porcentaje de confiabilidad del 95% que nos da un $Z= 1.96$, el error máximo estimado es de $e=0.05$, y las probabilidades de que ocurra o no el evento es $p=0.9$ y $q=0.1$ [28].

TABLA XI NÚMERO DE MUESTRAS INFINITAS - FUENTE: PROPIA

n	Numero de muestras	138
Z	Valor relacionado al nivel de confianza	1.96
p	Proporción poblacional que presenta cierta característica	90.00%
q	Proporción poblacional que no presenta cierta característica	10.00%
e	Máximo error de estimación	5.00%

De acuerdo a esto podemos hallar el número de muestras para una población infinita, de la cual tenemos el siguiente resultado “**n**” es igual a **138 muestras** [28].

Formulación de Hipótesis

Añadir fibra y peletizado de polipropileno mejoraran las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante arcillosa proveniente del distrito de la Victoria.

Operacionalización de variables

Variable independiente

Incorporación de fibra y peletizado de polipropileno

Variable dependiente

Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante arcillosa

TABLA XII OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES - FUENTE: PROPIA

Variables	Dimensiones	Indicadores	Und. Medida	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
Variable Independiente: Incorporación de fibra y peletizado de polipropileno	Fibra de polipropileno	Cantidad de fibra de polipropileno	% en peso	Balanza
	Peletizado de polipropileno	Cantidad de peletizado	% en peso	Balanza
		Granulometría	%	MTC E107
		Limite Líquido	%	MTC E110
		Limite Plástico	%	MTC E111
Variable Dependiente: Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante arcillosa	Propiedades físicas	Índice de Plasticidad	%	MTC E111
		Óptimo contenido de humedad	%	MTC E108
		Máxima densidad Seca	g/cm ³	MTC E115
	Propiedades mecánicas	Capacidad de soporte CBR	%	MTC E132

Selección de metodología para fibras de polipropileno (FPP)

TABLA XIII SELECCIÓN DE METODOLOGÍA PARA FIBRAS DE POLIPROPILENO – FUENTE PROPIA

FIBRA DE POLIPROPILENO					
Nº	Título	Autor (es)	Tipo de Documento	Resultados	Dosificación
[16]	Evaluación en laboratorio de las características de un suelo arcilloso de baja compresibilidad reforzado con inclusiones de fibras de polipropileno	Liendo Luque, Carol Estefani	Tesis de pregrado	La subrasante mejorada con 0.3% y 0.6% pasó de insuficiente a subrasante regular la densidad seca máxima del suelo reforzado con 0.6% de fibras de PP alcanzaron un 59% de mejora	0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2%
[13]	Incorporación de fibras de polipropileno como método de reforzamiento de suelos arcillosos en Palian - Huancayo	Arrelucé Montenegro, Sebastian; Solís Larrauri, Grecia Luciana	Tesis de pregrado	0.4% de fibras de polipropileno disminuye su densidad seca de 1.82 a 1.72 gr/cm ³ La resistencia del suelo natural de 3.05kg/cm ² con la adición de 0.4% de fibra aumentó a 4.32 kg/cm ²	0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%
[29]	Aplicación de fibras de polipropileno para la mejora de la trocha camozable, La Moracaserio Melgas, Sayapullo, Gran Chimú, 2023	Chiclayo Guevara, Diego Vladimir	Tesis de pregrado	El 3% máximo de fibra otorgó un Cbr de 22.38%	0%, 1%, 2%, 3% y 4%
[10]	Mechanical properties of lime-treated clay reinforced with different types of randomly distributed fibers	Boz, et al.	Artículo de revista académico	La mayor mejora se obtuvo mediante el uso de 0,75% de fibra	0%, 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%
[12]	Mechanical properties of soil reinforced with both lime and four kinds of fiber	Li Wei, et al.	Artículo de revista académico	El contenido óptimo de fibra es del 0,2% o 0,25%	0.05%, 0.15% y 0.25%
[30]	Análisis del comportamiento mecánico del suelo arcilloso reforzado con fibras de polipropileno en la Merced - Junín 2021	Solis, et al.	Tesis de pregrado	La proporción de 0.6% de fibras de polipropileno resultó ser la mezcla ideal Las propiedades físicas como mecánicas del suelo mejoran significativamente	0.2%, 0.4%, 0.6% y 0.8%

De acuerdo a los antecedentes los porcentajes con mejores resultados fueron de 0.40% y 0.60% de fibra de polipropileno, sin embargo, se busca un porcentaje desfavorable de tal

manera que sirva para limitar los porcentajes óptimos, de acuerdo a los estudios no había mejoras a partir de 0.75% de fibra.

Debido a esto, se seleccionó para la presente investigación porcentajes de 0.40%, 0.60% y 0.75% de fibra de polipropileno, estas se unirán junto al peletizado de polipropileno para El propósito es llevar a cabo pruebas que permitan determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

Para el proceso de selección del material se dio de acuerdo a antecedentes, en los que se consideró el tamaño y diámetro de la fibra de polipropileno.

Proceso de obtención de fibra de polipropileno

El proceso de obtener fibra de PP se inicia con la recolección de estas fibras en empresas dedicadas a la fabricación de sacos de polipropileno, ubicadas en La Victoria, específicamente en la calle Los Quipus. Estas fibras representan un desperdicio generado durante el proceso de producción, ya que no son utilizadas por las empresas.



Fig. 3 Fibra de Polipropileno - Fuente: Propia

Selección de metodología para peletizado de polipropileno (PPP)

TABLA XIV SELECCIÓN DE METODOLOGÍA PARA PELETIZADO DE POLIPROPILENO – FUENTE: PROPIA

PELETIZADO DE POLIPROPILENO					
Nº	Título	Autor (es)	Tipo de Documento	Resultados	Dosificación
[17]	Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido, Chachapoyas, 2018	Linarez Chavez, Roiser Rene	Tesis de pregrado	Porcentaje optimo 8%	4%, 8% y 12%
[31]	Diseño de subrasante incorporando bolsas de polietileno fundido, para mejorar la estabilidad del suelo, trocha Los Peches – Paredones, Mochumi - Lambayeque	Paico Espinoza, Jacqueline del Pilar Siapo Tejada, Roger Ivan	Tesis de pregrado	La dosificación óptima es de 12% influyendo significativamente Valores de CBR de 4.04% a 7.92% y en la C9 el CBR es de 4.40 a 7.96%	3%, 5%, 10% y 12%
[32]	Mejoramiento de la resistencia del suelo a nivel de subrasante aplicando bolsas de polietileno fundido, sector II Villa Hemosa, Lambayeque	Guerrero Saavedra, Ronald Valladolid Carrasco, Carlos Enrique	Tesis de pregrado	5% en relación al peso seco del suelo, se tuvo una mejora del CBR de 3.4% a 7.8%, La dosificación optima el 7%	3%, 5% y 7%

De acuerdo a los antecedentes el porcentaje con mejores resultados fue de 8% de peletizado de polipropileno. Debido a esto, se seleccionó para la presente investigación porcentaje de 8% de peletizado de polipropileno, estos se unirán junto a la fibra de polipropileno para desarrollar ensayos que permitan evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

Proceso de obtención de peletizado de polipropileno

El proceso de obtención de peletizado de polipropileno se realiza mediante la compra del material en empresas peletizadoras de polipropileno ubicadas en Lima. Este peletizado es un subproducto considerado como desperdicio, generado durante los procesos de transformación, pero que es reutilizado debido a sus propiedades para diversas aplicaciones industriales. Su adquisición permite aprovechar este material de manera eficiente y sostenible.

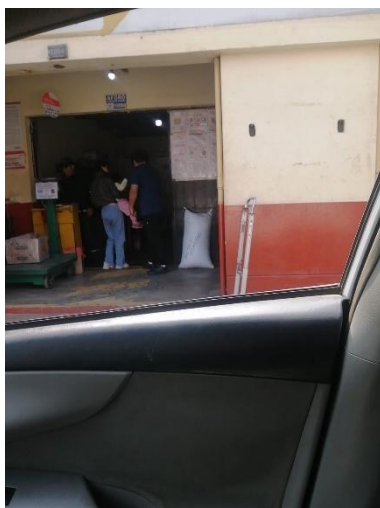


Fig. 4 Peletizado de polipropileno - Fuente: Propia

TABLA XV CANTIDAD DE ENSAYOS POR CALICATA - FUENTE: PROPIA

ENSAYO	Cantidad de Ensayos por Calicata			
	0%	0.4%FPP + 8%PPP	0.6%FPP + 8%PPP	0.75%FPP + 8%PPP
Contenido de Humedad	3	-	-	-
Granulometría por Tamizado	3	-	-	-
Limite Liquido	3	3	3	3
Limite Plástico	3	3	3	3
Gravedad Especifica	1	1	1	1
Proctor Modificado	1	1	1	1
CBR	10	10	10	10
Total, de Muestras	24	18	18	18
Total, por Calicatas			78	

Las dosificaciones que podemos hallar son las siguientes 0% para muestra natural, 0.4% FPP + 8% PPP, 0.6% FPP + 8% PPP, 0.75% FPP + 8% PPP para muestras con adición de fibra y peletizado de polipropileno.

Cantidad de muestras a investigar por cada subrasante arcillosa

TABLA XVI CANTIDAD DE MUESTRA NATURAL PARA ENSAYOS - FUENTE: PROPIA

Ensayos para muestra natural	
Ensayos	Muestra (gr.)
Contenido de Humedad	1000
Granulometría por Tamizado	500
Limite Líquido	250
Limite Plástico	100
Gravedad Específica	50
Proctor	12000
CBR	20000
TOTAL (gr.)	33900

TABLA XVII CANTIDAD DE MUESTRA NATURAL PARA ENSAYOS CON FIBRA Y PELETIZADO - FUENTE: PROPIA

Ensayos para muestra con agregado	
Ensayos	Muestra (gr)
Limite Líquido	250
Limite Plástico	100
Proctor	12000
CBR	20000
TOTAL (gr.)	32350
TOTAL (kg.)	32.35

El material que se necesita para poder realizar los ensayos y poder demostrar la hipótesis es de 32.35 kg, de esta manera podemos calcular la cantidad en (kg) de fibra que se utilizará.

TABLA XVIII CANTIDADES EN KG DE SUELO Y FIBRA QUE SE UTILIZARÁ - FUENTE: PROPIA

Muestra	Suelo Natural (gr.)	Fibra de Polipropileno (gr.)	Peletizado de Polipropileno (gr.)	Total (gr.)
100% S.N + 0% G.G	33900.00	33900.00	33900.00	101700.00
91.6%SN+0.4%FPP+8%PPP	29632.60	129.40	2588.00	32350
91.4%SN+0.6%FPP+8%PPP	29567.90	194.10	2588.00	32350
91.25%SN+0.75%FPP+8%PP P	29519.38	242.63	2588.00	32350
Total (gr.)	122619.88	566.13	7764.00	198750.00
Total (kg.)	122.62	0.57	7.76	198.75

Con los cálculos realizados se puede determinar la cantidad de fibra que es de 0.57 kg, 7.76kg de peletizado y de suelo natural 122.62 kg que se necesitará para poder realizar la investigación.

Procedimiento

Ensayos

Las muestras recolectadas fueron trasladadas al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, con el propósito de efectuar los ensayos de clasificación y demás pruebas requeridas para el desarrollo de la presente investigación.

MTC E 108

De acuerdo al manual de ensayos de materiales, se llevaron a cabo las siguientes acciones en las tres calicatas:

Inicialmente se registró el peso del recipiente, luego se seleccionó la porción representativa del espécimen de suelo, la cual se colocó en dicho recipiente para obtener su peso en estado húmedo; posteriormente, la cual fue secada durante 24 horas en un horno, y una vez transcurrido este periodo, se retiró de tal y se dejó enfriar hasta poder manipularla con seguridad, para finalmente pesarla en estado seco y proceder al procesamiento de los resultados.



Fig. 5 Muestra de suelo seco y húmedo - Fuente: Propia

MTC E 107

En primer lugar, se lavó cuidadosamente la porción seleccionada de suelo sobre el tamiz N°200 con abundante agua, evitando la pérdida de partículas retenidas, utilizando masas de 300 g para C1 y C2, y 500 g para C3; luego, el material que fue retenido se recogió en un molde y secado en horno a $110 \pm ^\circ\text{C}$ para cada calicata; una vez seca, se retiró de tal, se pesó y luego se llevó al tamizado en seco utilizando la serie de tamices N°(4; 10; 20; 40; 50; 100; 200); finalmente, se anotó los pesos retenidos en cada tamiz.



Fig. 6 Análisis Granulométrico por Tamizado – Fuente: Propia

MTC E 110

Se comienza con 24 horas antes del ensayo, mediante trituración, tamizado a través de una malla N°40; a igual que el humedecimiento del agua previamente destilada (150 g por espécimen). Pasado el tiempo se asigna un espécimen de suelo a la copa de Casagrande, llegando a compactarla hasta lograr un espesor de 10 mm. Luego, se utilizó el escalando para partir el suelo en dos, trazando una ranura desde la zona más elevada hasta la más bajo de la copa. A continuación, se dejó caer la copa girando el manubrio, hasta que las medidas del suelo se unieron en una longitud de 13 mm, garantizando que no quedaran residuos debajo.

Seguidamente se registró el número de golpes requerido y se extrajo una muestra del suelo, la cual se sacó en un recipiente previamente pesado en un horno a $110 \pm ^\circ\text{C}$ durante 24 horas, mientras que el resto de la muestra fue devuelto al plato de mezclado para repetir el proceso, realizándose pruebas con diferentes rangos de golpes (de 25 a 35, de 20 y 30, y de 15 a 25) tanto para las calicatas como para las muestras con adición, finalizando con el pesaje del material seco luego de 24 horas.



Fig. 7 Determinación del Límite Líquido del suelo - Fuente: Propia

MTC E 111

Iniciando con la toma de aproximadamente 2 g del material preparado para el ensayo de L.L., el cual fue moldeado en forma elipsoidal y luego rodado manualmente en una superficie aplicando la presión necesaria hasta formar cilindros, que se fragmentaran al alcanzar dicho tamaño; seguidamente, se pesó el recipiente vacío y con el espécimen húmedo, para posteriormente secar esta última en el horno, retirar el recipiente y anotar el peso final correspondiente al suelo seco.



Fig. 8 Ensayo de Limite Plástico - Fuente: Propia

MTC E 113

Iniciando con el pesaje del recipiente en una balanza de precisión de 0.01 g, seguido por la medición de su masa una vez lleno con agua destilada hasta la marca de calibración; posteriormente, se tamizó el suelo a través de la malla N°4 para obtener 50 g, los cuales fueron mezclados con aproximadamente 80 ml de agua y vertidos cuidadosamente en el picnómetro con ayuda de un embudo liso, añadiéndose más agua hasta alcanzar entre un tercio y la mitad del volumen del frasco, colocándolo luego en ebullición para dejar sin aire la muestra, una vez finalizado este proceso, se volvió a pesar el picnómetro con el contenido a nivel y se registró la temperatura de la suspensión, concluyendo con el secado completo de la muestra en horno para obtener su masa seca.



Fig. 9 Ensayo de Gravedad Especifica - Fuente: Propia

MTC E 115

Con el objetivo de establecer la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco del suelo para trazar la curva de compactación:

Comenzando con la elección del método A, la selección del molde correspondiente y la medición de sus dimensiones para calcular su volumen; a continuación, se preparó la muestra triturándola y tamizándola con la malla N°4 hasta obtener la cantidad necesaria de suelo para ejecutar cuatro puntos experimentales; se utilizaron 3000 g de muestra natural para cada uno, y en el caso de las mezclas con adición.

Se aplicaron las dosificaciones indicadas en la tabla respectiva; luego se definieron los porcentajes de humedad, asegurando que se encontraran alrededor del contenido óptimo, y se mezclaron cuidadosamente con cada muestra en bandejas amplias para lograr una distribución homogénea; posteriormente, se dividió cada mezcla en cinco porciones iguales, correspondientes a las cinco capas a compactar, se extrajo una muestra del cuarteo para determinar la humedad y, finalmente, se compactaron las capas aplicando 56 golpes por cada una, se niveló el suelo al ras del molde, se limpió y se realizó el pesaje final.



Fig. 10 Ensayo de Proctor Modificado - Fuente: Propia

MTC E 132

En este sentido, en este ensayo se realizó mediante un procedimiento, el cual, comenzó con el uso de los valores previamente establecido o calculados, de humedad óptima y densidad máxima; los cuales se obtuvieron en el ensayo de compactación. Posteriormente, se determinó la humedad actual del suelo mediante secado en estufa; con esta información se añadió agua para alcanzar la humedad necesaria. A continuación, se condiciona en un primer momento el molde, registrando su peso, colocando el collar, el disco espaciado y el papel filtro del mismo diámetro; y se utilizaron 5500 g de suelo para cada uno de los tres puntos con distintas energías de compactación (56, 25 y 12 golpes por capa), con el objetivo de generar curvas que relacionen el peso específico, la humedad y la capacidad de soporte.

Por consiguiente, el procedimiento consistió en varias etapas. En un primer momento, se midió la humedad de la muestra, en un inicio y a luego al final de la inmersión; luego, tras la compactación, se preparó la muestra para la prueba de hinchamiento: se retiró el collar del molde, se enraso el material, se desmonto el molde, se invirtió y colocó un nuevo papel filtro entre el molde y la base, para efectuar el pesaje; seguidamente, se aplicaron anillos metálicos hasta llegar a una sobrecarga inicial, aproximada de 2.27 kg. Seguidamente, se realizó, el registro de la lectura inicial del hinchamiento, para finalmente sumergir la muestra durante un periodo de cuatro días; en donde, es necesario mencionar que hubo un control del hinchamiento cada 24 horas, tras este periodo, se deja por un periodo de 15min, también se pesó y se procedió al ensayo de penetración; donde se aplicó una sobrecarga no menor a 4.54 kg, esto se realizó con la finalidad de evitar el levantamiento del suelo, del mismo modo, se procedió a instalar el dial, para medir la penetración del pistón, por lo tanto, se aplica una carga inicial de 5 kg para su respectivo asentamiento y; posteriormente, se ejerció la carga, con una velocidad de 1.27mm por minuto, con la finalidad de registrar las lecturas correspondientes, a las demás penetraciones. Finalmente, se procedió a, desmontar el molde y proceder, a tomar una muestra, de la parte inferior, con el fin de determinar su contenido y humedad.



Fig. 11 Ensayo de C.B.R. - Fuente: Propia

Resultados y discusión

Resultados

Por consiguiente, tras realizar los ensayos se logró cumplir y alcanzar los objetivos planteados en un primer momento en la investigación; lo cual, a permitido verificar que la incorporación de fibras y el proceso de paletizado de polipropeno ayudan a mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las subrasantes arcillosas de “la Victoria”. Por consiguiente, se presentan los datos y el análisis de los ensayos realizados, organizados de manera que se ajusten al propósito de este estudio.

Por ende, para caracterizar y clasificar las muestras, se procedieron a ensayar para determinar sus propiedades.

1. MTC E 108

Se presentan los resultados efectuados en las tres calicatas.

TABLA XIX MTC E 108 - FUENTE PROPIA

Calicata	Porcentaje
1	18.72%
2	20.06%
3	19.13%

El porcentaje de humedad de un suelo ayuda a evaluar su compactación, estabilidad y propiedades mecánicas para determinar si es necesario añadir o reducir la cantidad de agua.

2. MTC E 107

Se presentan los resultados efectuados en las tres calicatas.

TABLA XX MTC E 107 - FUENTE PROPIA

Calicata	Profundidad (m)	Granulometría	
		% Pasa tamiz N°200	% Retenido
1	1.5	87.4	12.6
2	1.5	87.6	12.4
3	1.5	78.6	21.4

Los resultados obtenidos demuestran que este suelo contiene una alta proporción de material arcilloso, ya que en todas las calicatas se registró más del 65% de partículas que pasan por la malla N°200.

3. MTC E 110 y MTC E111

Se presentan los resultados efectuados en las tres calicatas.

TABLA XXI MTC E 100 Y MTC E 111 - FUENTE: PROPIA

Calicata	Límites de Atterberg		
	L. L (%)	L. P (%)	Índice de Plasticidad
1	53.44	18.47	34.97
2	44.49	21.76	22.74
3	55.07	27.07	27.99

Los muestran una plasticidad alta, conforme a la clasificación basada en el Índice de Plasticidad del manual de carreteras.

4. MTC E 113

Se manifiesta los valores obtenidos del ensayo realizado en las tres calicatas.

TABLA XXII MTC E 113 - FUENTE: PROPIA

Calicata	Peso específico relativo de sólidos (Gs)
1	2.551
2	2.591
3	2.488

5. Sistemas de clasificación de los suelos

El suelo fue clasificado utilizando los sistemas de clasificación AASHTO y SUCS, aplicados a las tres calicatas analizadas en su estado original.

TABLA XXIII SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS - FUENTE: PROPIA

Calicata	Clasificación del Suelo		Descripción
	AASHTO	SUCS	
1	A-7-6 (15)	CH	Arcilla de alta plasticidad
2	A-7-6 (14)	CL	Arcilla de baja plasticidad
3	A-7-6 (18)	CH	Arcilla de alta plasticidad

Los resultados de la clasificación del suelo muestran que las muestras corresponden a arcillas de alta y baja plasticidad. Según el sistema AASHTO, todas las muestras se clasifican como A-7-6, mientras que el sistema SUCS identifica dos como arcillas de alta plasticidad (CH) y una como arcilla de baja plasticidad (CL).

6. MTC E 115

Se exponen los datos encontrados del ensayo, realizado en las tres calicatas.

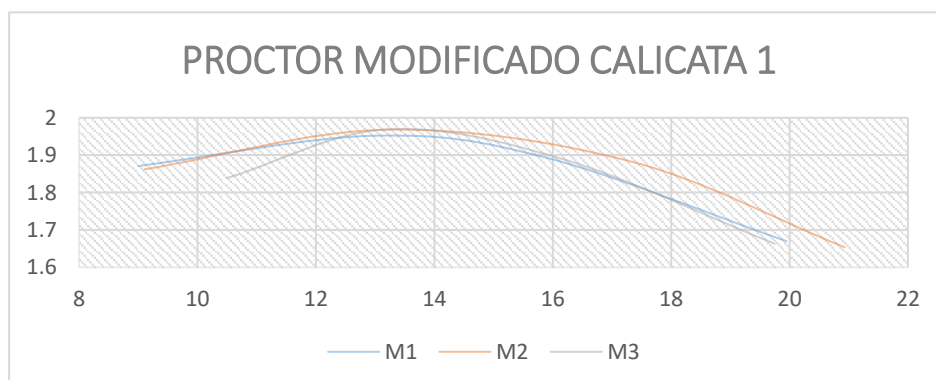
TABLA XXIV MTC E 115 - FUENTE: PROPIA

Calicata	Densidad Máxima Seca	Óptimo Contenido de Humedad
1	1.964	13.36
2	1.946	14.16
3	1.887	14.67

Se observa que la densidad máxima seca varía entre 1.887 y 1.964 g/cm³, mientras que el contenido óptimo de humedad oscila entre 13.36 % y 14.67 %. La Calicata 1 presentó la mayor densidad y el menor contenido de humedad, lo cual indica un mejor comportamiento frente a la compactación. Por el contrario, la Calicata 3 mostró una menor densidad, requiriendo mayor humedad para alcanzar su punto óptimo. Estos resultados permiten evaluar la variabilidad del suelo en el área de estudio.

TABLA XXV MTC E 115 CALICATA 1

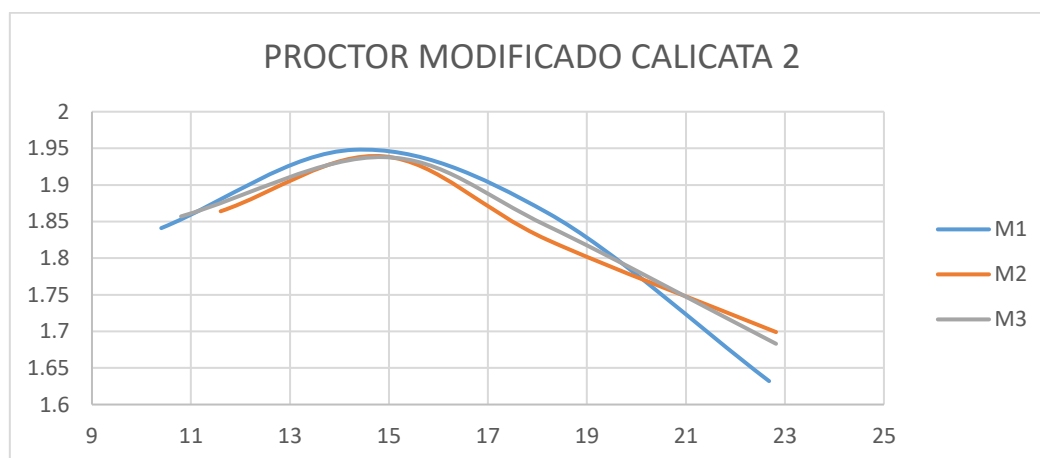
Muestra	Contenido de agua	Peso volumétrico seco
M1	9	1.871
	13	1.952
	15.9	1.893
	19.95	1.67
M2	9.1	1.862
	13.2	1.968
	17.3	1.884
	20.93	1.654
M3	10.5	1.839
	13.2	1.969
	16.2	1.888
	19.75	1.663



En la tabla presentada obtuvimos valores de compactación Proctor Modificado para la primera calicata, desglosados en tres muestras (M1, M2 y M3). Donde se compactó a distintos contenidos de agua, registrando el peso volumétrico seco correspondiente. Se observa que existe un contenido de humedad donde se alcanza la mayor densidad seca, indicando el punto óptimo de compactación. La mayor densidad registrada es de 1.969 g/cm^3 con un contenido de humedad del 13.2 %.

TABLA XXVI MTC E 115 CALICATA 2

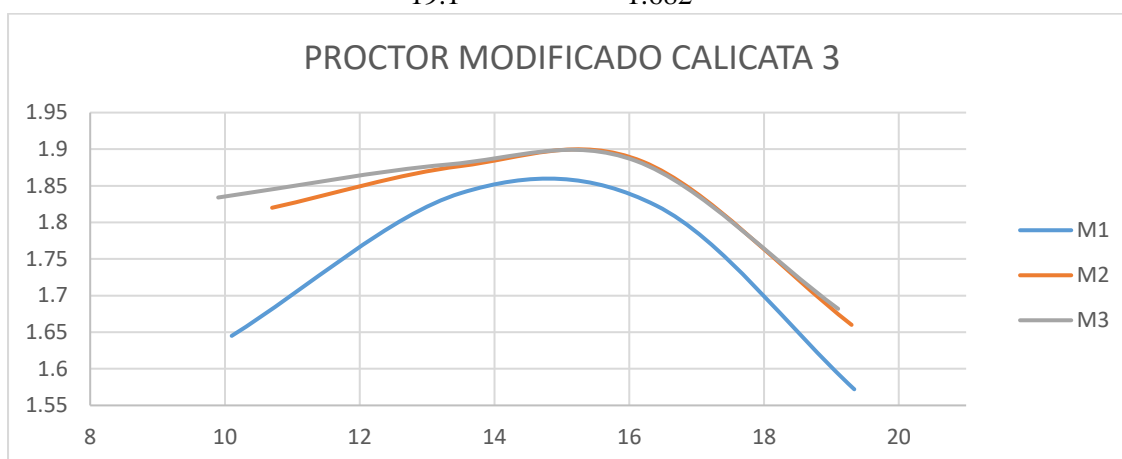
Muestra	Contenido de agua	Peso volumétrico seco
M1	10.4	1.841
	14.3	1.948
	18.2	1.862
	22.68	1.632
M2	11.6	1.864
	14.9	1.939
	18.2	1.825
	22.82	1.699
M3	10.8	1.857
	14.9	1.938
	18.2	1.844
	22.82	1.683



En esta tabla se observa los valores para la segunda calicata, con tres muestras (M1, M2 y M3) evaluadas a distintos contenidos de agua, en los cuales al aumentar humedad incrementa hasta un punto máximo y luego disminuye. El mayor valor registrado fue de 1.948 g/cm^3 con un contenido de humedad de 14.3 % en la muestra M1, indicando el óptimo de compactación.

TABLA XXVII MTC E 115 CALICATA 3

Muestra	Contenido de agua	Peso volumétrico seco
M1	10.1	1.645
	13.5	1.84
	16.4	1.823
	19.34	1.572
M2	9.2	1.846
	12.5	1.893
	15.3	1.897
	18.5	1.672
M3	9.9	1.834
	13.3	1.879
	16.1	1.884
	19.1	1.682



Se presentan los datos de compactación de Proctor modificado para tres muestras (M1, M2 y M3) de la Calicata 3. Se puede observar cómo el peso volumétrico seco varía en función de la cantidad de humedad de las muestras. El mayor valor registrado fue de 1.897 g/cm³ con un contenido de humedad de 15.3 % en la muestra M2, indicando el óptimo de compactación.

7. MTC E 132

Se indican los valores encontrados del ensayo CBR (Relación de Soporte de California), realizado en tres calicatas.

TABLA XXVIII CAPACIDAD DE SOPORTE AL 95% A 0.1" - FUENTE: PROPIA

Calicata	CBR al 95%	
	M.D.S. (0.1")	M.D.S. (0.2")
1	2.6%	2.8%
2	2.9%	3.3%
3	2.5%	2.5%

Las tres calicatas cuentan con baja capacidad de soporte al 95% a 0.1". De manera que, se realizarán ensayos con adiciones de fibra y peletizado de polipropileno, que nos permita medir la cantidad de aguate del suelo.

Para conocer el comportamiento del suelo natural con adición se elaboran ensayos con las proporciones designadas de fibra y peletizado de polipropileno.

1. MTC E 110 y MTC E111

Se presentan los valores obtenidos realizado en las calicatas, añadiendo los porcentajes de designados de fibra y peletizado de polipropileno.

TABLA XXIX MTC E 110 y MTC E111 CON ADICIÓN CALICATA 1 - FUENTE: PROPIA

Adición	Límites de Atterberg		
	L. L. (%)	L. P. (%)	I. Plasticidad
0.4%FPP+8%PPP	33.56	17.31	16.25
0.6%FPP+8%PPP	37.92	17.03	20.9
0.75%FPP+8%PPP	35.49	17.7	17.79

Los resultados indican que los porcentajes de FPP disminuyó los Límites de Atterberg con respecto al del suelo natural.

TABLA XXX MTC E 110 y MTC E111 CON ADICIÓN CALICATA 2 - FUENTE: PROPIA

Adición	Límites de Atterberg		
	L. L. (%)	L. P. (%)	I. Plasticidad
0.4%FPP+8%PPP	35.34	18.38	16.96
0.6%FPP+8%PPP	35.06	18.64	16.42
0.75%FPP+8%PPP	37.12	16.89	20.22

Se observa que el índice de plasticidad varía entre 16.42 % y 20.22 %, alcanzando su valor máximo con 0.75 % de FPP. Esto indica un alza de la plasticidad del suelo con mayores porcentajes de aditivo.

TABLA XXXI MTC E 110 y MTC E111 CON ADICIÓN CALICATA 3 - FUENTE: PROPIA

Adición	Límites de Atterberg		
	L. L. (%)	L. P. (%)	Í. Plasticidad
0.4%FPP+8%PPP	34.36	16.71	17.64
0.6%FPP+8%PPP	35.62	18.31	17.31
0.75%FPP+8%PPP	35.9	17.91	19.98

La tabla muestra cómo varían los Límites de Atterberg al incorporar diferentes porcentajes de fibras de polipropileno (FPP) y polipropileno peletizado (PPP). Se aprecia que el índice de plasticidad se mantiene relativamente estable con las primeras dos dosificaciones, pero aumenta notablemente al aplicar 0.75 % de FPP. Esto sugiere que, a mayor contenido de aditivo, el suelo tiende a incrementar su plasticidad, lo cual puede influir en su comportamiento mecánico.

2. MTC E 115

Se da a conocer el resultado de ensayos de Proctor Modificado, realizado en las calicatas con adición.

TABLA XXXII MTC E 115 FUENTE: PROPIA

Adición	Densidad Máxima Seca	Op Cont. Humedad
0.4%FPP+8%PPP	1.68	13.40
0.6%FPP+8%PPP	1.66	13.50
0.75%FPP+8%PPP	1.67	13.30

Se cuenta valores de máxima de densidad seca que varían entre 1.67 y 1.68 también, porcentajes óptimos de contenido de humedad entre 13.40% y 13.50%.

3. MTC E 132

Se presentan los datos del ensayo CBR (Relación de Soporte de California), realizado en las tres calicatas con diferentes porcentajes de adición.

TABLA XXXII CAPACIDAD DE SOPORTE AL 95% A 0.1" CALICATA 1

CALICATA	ADICION	CBR al 95%	
		M.D.S (0.1")	M.D.S (0.2")
CALICATA 1	0.4%FPP+8%PPP	3.4	3.35
		3.37	3.3
		4.31	4.15
		3.4	3.33
		5.76	5.78
		3.6	4.1
		3.88	3.64
		3.43	3.65
		3.39	3.33
		3.63	4.06
	0.6%FPP+8%PPP	4.99	6.33
		5.94	7.38
		5.27	6.23
		6.2	7.25
		6.48	6.95
		9.34	10.1
		7.4	8.57
		6.1	6.24
	0.75%FPP+8%PPP	7.52	8.67
		7.74	7.7
		9.09	11.66
		10.8	13.21
		9.19	11.83
		10.39	12.43
		10.45	13.38
		10.35	12.32
		10.11	12.64
9.44	10.18		
8.61	10.26		
9.43	10.27		

Los resultados del ensayo CBR al 95 % de la M.D.S. para la Calicata 1 evidencian un incremento progresivo en la resistencia del suelo a medida que aumenta la proporción de fibras de polipropileno (FPP) en combinación con 8 % de polipropileno peletizado (PPP). Con la adición de 0.4 % FPP + 8 % PPP, los valores de CBR se mantienen bajos, entre 3.3 % y 5.78 %. Al aumentar a 0.6 %, los valores se elevan considerablemente, alcanzando hasta 10.1 %. Finalmente, con 0.75 % FPP, se registran los mayores valores, superando incluso el 13 % en penetración de 0.2".

Se puede apreciar una mejora en la capacidad portante del suelo con mayores contenidos de aditivo.

TABLA XXXIII CAPACIDAD DE SOPORTE AL 95% A 0.1" CALICATA 2

CALICATA	ADICION	CBR al 95%	
		M.D.S (0.1")	M.D.S (0.2")
CALICATA 2	0.4%FPP+8%PPP	3.92	4.94
		3.55	4.37
		4.15	4.87
		5.15	5.8
		5.66	6.02
		6.09	6.51
		4.23	4.5
		4.75	4.85
		4.93	5.59
		3.23	3.34
	0.6%FPP+8%PPP	3.84	5.3
		4.45	5.33
		4.27	4.94
		5.82	6.63
		6.07	6.49
		5.04	5.54
		4.35	4.55
		4.34	4.73
		4.6	4.96
	6.22	7.09	
	0.75%FPP+8%PPP	7.12	9.59
		6.1	6.25
		6.39	9.01
		6.07	6.68
		5.56	6.07
		5.35	6.46
		6.29	6.8
8.45		9.83	
8.17	8.78		
5.96	6.84		

Los resultados del CBR al 95 % de la M.D.S. para la Calicata 2 muestran una tendencia creciente en la resistencia cuando se le aumenta el contenido de FPP. Con 0.4 % FPP + 8 % PPP, los valores fluctúan entre 3.23 % y 6.51 %, mientras que con 0.6 %, se incrementan ligeramente, alcanzando hasta 7.09 %. La mayor mejora se observa con 0.75 % FPP, donde los valores superan los 9 %, destacando un notable aumento en la capacidad para soportar carga. Esto evidencia la eficacia de los aditivos en el mejoramiento mecánico del material.

TABLA XXXIV CAPACIDAD DE SOPORTE AL 95% A 0.1" CALICATA 3

CALICATA	ADICION	CBR al 95%	
		M.D.S (0.1")	M.D.S (0.2")
CALICATA 3	0.4%FPP+8%PPP	4.15	4.84
		5.49	6.59
		4.55	4.9
		5.3	7.12
		4.2	4.61
		5.09	5.86
		5.69	5.47
		5.15	5.34
		4.69	5.31
		5.33	5.8
	0.6%FPP+8%PPP	5.71	5.84
		7.35	7.77
		7.83	7.7
		8.5	8.33
		4.62	4.99
		4.48	4.68
		3.93	4.36
		5.91	6.08
		6.8	7.65
		5.42	5.57
	0.75%FPP+8%PPP	8.3	9.91
		10.98	12.66
		9.31	11.34
		9.43	11.41
		10.37	10
		12.37	12.65
		9.99	12.87
		10.38	12.34
		9.64	11.89
		7.95	9.74

En la Calicata 3, los valores de CBR al 95 % de la M.D.S. muestran una mejora progresiva conforme se incrementa la adición de FPP. Con 0.4 % FPP + 8 % PPP, los valores oscilan entre 4.15 % y 7.12 %, evidenciando un comportamiento moderado. Al aumentar a 0.6 %, se observa un crecimiento notable, superando en algunos casos el 8 %. Finalmente, con 0.75 % FPP, los valores alcanzan hasta 12.87 %, lo que refleja una mejora significativa en la resistencia del suelo tratado. Esta tendencia confirma la efectividad de la adición en el fortalecimiento de la subrasante.

Discusión

De acuerdo al objetivo Caracterizar y clasificar las muestras naturales de subrasante arcillosa, obteniéndose de la TABLA XX un resultado superior al 75% de material que pasa por el tamiz N°200 lo que indica una alta proporción de partículas finas. Este comportamiento es característico de suelos de tipo arcilloso y se encuentra en concordancia con los criterios de clasificación establecidos por la norma MTC E 107, un suelo se clasifica como fino cuando más del 50% del material pasa por dicho tamiz, lo que confirma la naturaleza arcillosa del suelo evaluado.

Por otra parte, en los resultados de límites de Atterberg para las tres calicatas, presentados en la Tabla XXI, muestran una clara tendencia hacia una alta plasticidad del suelo. En la calicata 1 se registra un L.L. de 53.44%, un L.P. de 18.47% y un I. plasticidad de 34.97%; en la calicata 2, el índice de plasticidad es 22.74%; y en la calicata 3, 27.99%. Según la norma MTC E 110, estos valores reflejan suelos con comportamiento plástico elevado, lo que influye negativamente en su estabilidad y resistencia como subrasante. Asimismo, conforme a los criterios de clasificación de suelos establecidos en la norma MTC E 111, los índices de plasticidad superiores a 17% corresponden a suelos arcillosos con alta plasticidad. Esta condición justifica la necesidad de estabilización para mejorar su desempeño estructural en aplicaciones viales.

Al mismo tiempo, en la tabla XXII, se presentan los valores del peso específico relativo de sólidos (Gs) para las tres calicatas analizadas. La calicata 1 presenta un Gs de 2.551, la calicata 2 un valor de 2.591, y la calicata 3 de 2.488. De acuerdo con la norma MTC E 113, lo que indica suelos minerales inorgánicos, que generalmente oscila entre 2.60 y 2.75. Sin embargo, los valores ligeramente menores en las calicatas 1 y 3 podrían estar asociados a la presencia de minerales arcillosos o materia orgánica dispersa.

Por otro lado, en la Tabla XXIV, muestran que la calicata 1 alcanzó una densidad máxima seca de 1.964 g/cm³, así mismo, con un contenido de humedad de 13.36%, mientras que la calicata 2 obtuvo una densidad de 1.946 g/cm³ con 14.16% de humedad, y la calicata 3 registró la menor densidad con 1.887 g/cm³ y 14.67% de humedad. Se puede apreciar en la norma MTC E 115, estos valores reflejan el comportamiento típico de suelos finos con alta plasticidad, donde la densidad máxima tiende a ser menor y el contenido óptimo de humedad más elevado debido a la capacidad de retención de agua de las partículas arcillosas.

Al mismo tiempo, en la Tabla XXVIII, se aprecia la capacidad del suelo (CBR) al 95% de compactación para las tres calicatas. La calicata 1 obtuvo un CBR de 2.6% a 0.1" y 2.8% a 0.2", la calicata 2 alcanzó 2.9% y 3.3%, mientras que la calicata 3 registró 2.5% en ambas

penetraciones. Según los criterios establecidos en la norma MTC E 132, estos valores se ubican dentro del rango correspondiente a suelos con muy baja capacidad de soporte, lo cual los hace inadecuados como subrasante sin tratamiento. Esta baja resistencia es típica de suelos arcillosos con alta plasticidad, y confirma la necesidad de aplicar procesos de mejoramiento o estabilización para garantizar el desempeño estructural del pavimento.

Conforme al objetivo elaborar ensayos adicionando de manera conjunta distintos porcentajes de fibra y peletizado de polipropileno, para cuantificar los resultados obtenidos tras la incorporación conjunta de FPP y PPP muestran una mejora notable en la plasticidad del suelo. Con la dosificación de 0.4% FPP + 8% PPP, el índice de plasticidad (IP) se reduce significativamente de 34.97 (valor original) a 16.25, lo cual representa una mejora sustancial en la estabilidad del material. Esta disminución sugiere una menor cohesión entre partículas finas, lo que favorece un mejor comportamiento bajo carga y menor susceptibilidad al agua. No obstante, al incrementar la proporción de FPP a 0.6%, el IP aumenta a 20.9, para luego descender ligeramente a 17.79 con 0.75% FPP. Esta variación sugiere que existe un punto óptimo de dosificación para maximizar la mejora, ya que valores más altos de FPP no garantizan una reducción continua de la plasticidad. En general, los resultados demuestran que la estabilización es efectiva, pero debe aplicarse con control de dosificación para evitar comportamientos no deseados.

Así mismo, en la calicata 2, también se observa una mejora general en la plasticidad del suelo tras la adición de FPP y PPP. Con la mezcla de 0.4% FPP + 8% PPP, el índice de plasticidad (IP) baja de un valor inicial de 22.74 a 16.96, lo que indica una reducción significativa en la cohesión del suelo. Este comportamiento se mantiene estable con 0.6% FPP, donde el IP es de 16.42, el valor más bajo registrado para esta calicata. Sin embargo, al aumentar la dosificación a 0.75%, el IP se eleva a 20.22, acercándose nuevamente al valor original. Esta tendencia confirma que la estabilización es más efectiva con proporciones moderadas de aditivo, y que una dosificación excesiva podría revertir parcialmente los beneficios obtenidos. En este sentido, los resultados indican que la dosificación de 0.6% FPP + 8% PPP representa la mejor opción para esta muestra, logrando una notable reducción en la plasticidad del suelo arcilloso.

También para la calicata 3, los valores iniciales de índice de plasticidad (27.99) se reducen progresivamente con las distintas combinaciones de FPP y PPP. La dosificación de 0.4% FPP + 8% PPP permite bajar el IP a 17.64, una disminución significativa lo que indica una mejora en la estructura del suelo estudiado. A 0.6% FPP, el IP se mantiene en 17.31, muy similar al anterior, lo que indica una estabilización efectiva del comportamiento plástico del suelo.

Finalmente, con 0.75% FPP, el IP sube a 19.98, aunque aún se mantiene por debajo del valor original. Esta evolución sugiere que en la calicata 3 también se logra una mejora sostenida, aunque más sensible a variaciones de dosificación que en otras calicatas. En conjunto, los resultados validan la efectividad de la estabilización mediante FPP y PPP, recomendando dosificaciones moderadas para alcanzar una reducción significativa de la plasticidad sin comprometer otras propiedades del suelo.

Así pues, en la Calicata 1, en relación con el objetivo de evaluar el impacto de la adición conjunta de fibra y polipropileno peletizado (FPP y PPP) en las propiedades mecánicas de la subrasante arcillosa, revelan una clara tendencia de mejora en el suelo a medida que aumenta la proporción de FPP. Inicialmente, con una dosificación de 0.4 % FPP combinado con 8 % PPP, los valores de CBR al 95 % de la máxima densidad seca (M.D.S.) se mantuvieron en un rango bajo, entre 3.3 % y 5.78 %, indicando una capacidad portante aún limitada. Sin embargo, al aumentar la cantidad de FPP a 0.6 %, se observó una mejora significativa, con valores que alcanzaron hasta un 10.1 %. La dosificación máxima ensayada, correspondiente a 0.75 % FPP, arrojó los resultados más altos, superando el 13 % de CBR en la penetración de 0.2 pulgadas, lo que subraya el efecto positivo de la fibra en la resistencia del suelo tratado. Esta progresión concuerda con el estudio de Guerrero Saavedra y Valladolid Carrasco [29], quienes reportaron un aumento del CBR al adicionar entre 5 % y 7 % de aditivos, identificando el 7 % como la dosificación óptima en su investigación. Si bien nuestra investigación emplea una combinación diferente de aditivos, la tendencia de mejora es consistente, lo que sugiere la efectividad de los materiales plásticos en la estabilización de suelos arcillosos. En el contexto de la norma MTC E-132, que establece un umbral de 5 % de CBR para una subrasante adecuada, los valores obtenidos con 0.6 % y 0.75 % de FPP demuestran que el tratamiento conjunto de fibras y polipropileno peletizado puede transformar un suelo de baja calidad en un material estructuralmente apto para aplicaciones viales.

En la Calicata 2, la evaluación del efecto de la adición conjunta de FPP y PPP en la subrasante arcillosa arrojó resultados que refuerzan la observación de una mejora progresiva en la resistencia del suelo. Con una dosificación inicial de 0.4 % FPP más 8 % PPP, el valor del CBR al 95 % de la M.D.S. se situó entre 3.23 % y 6.51 %, mostrando ya una ligera mejora con respecto a un suelo no tratado. Al aumentar la proporción de fibra a 0.6 %, los valores de CBR experimentaron un leve incremento hasta alcanzar un 7.09 %, mientras que la dosificación máxima de 0.75 % de FPP produjo valores superiores al 9 %, evidenciando un aumento considerable en la capacidad portante del material. Esta tendencia ascendente sugiere que la combinación de ambos aditivos ejerce una influencia favorable en el comportamiento mecánico

del suelo, ampliando su potencial de aplicación en condiciones de carga más demandantes. Estos hallazgos se relacionan con los resultados presentados por Paico Espinoza y Siapo Tejada [30], quienes documentaron un incremento en el CBR desde 4.04 % hasta 7.92 % al emplear dosificaciones cercanas al 12 % de un estabilizante. En el presente estudio, a pesar de utilizar porcentajes menores de FPP, la sinergia con el PPP parece potenciar el efecto de estabilización, obteniendo mejoras comparables o incluso superiores. Esto fortalece la hipótesis de que la incorporación de materiales reciclados como refuerzo puede constituir una alternativa técnica y ambientalmente sostenible para la mejora de suelos. Al considerar la clasificación de la norma MTC E-132, que exige la estabilización de suelos con CBR inferiores al 5 % para su uso como subrasante, los resultados obtenidos a partir de la dosificación de 0.6 % de FPP permiten que el suelo supere este límite técnico. Esto demuestra que el tratamiento propuesto no solo es efectivo en mejorar la resistencia del suelo, sino que también cumple con las especificaciones técnicas necesarias para asegurar el adecuado desempeño estructural de las vías.

En la Calicata 3, el objetivo de analizar los efectos de la incorporación conjunta de FPP y PPP se manifestó en una evolución positiva y consistente del CBR al 95 % de la M.D.S. Inicialmente, con una mezcla de 0.4 % FPP y 8 % PPP, los valores de CBR se ubicaron entre 4.15 % y 7.12 %, lo que ya representó una mejora inicial en comparación con las condiciones del suelo natural. Al incrementar la dosificación de FPP a 0.6 %, se observó un crecimiento continuo en los valores de CBR, superando el umbral del 8 %. Finalmente, con la dosificación máxima ensayada de 0.75 % FPP, se alcanzó un valor pico de 12.87 %. Estos resultados proporcionan una evidencia clara de la respuesta favorable y progresiva del suelo tratado ante la adición de los aditivos, confirmando su influencia positiva en la mejora de la resistencia mecánica. Este comportamiento encuentra respaldo en el antecedente investigativo de Arrelucé Montenegro y Solís Larrauri [13], quienes identificaron que la adición de tan solo un 0.4 % de fibra de polipropileno logró aumentar la resistencia del suelo natural de 3.05 kg/cm² a 4.32 kg/cm². Aunque los parámetros de medición difieren, el principio fundamental del reforzamiento efectivo con bajas dosificaciones de fibra coincide con las observaciones de la presente investigación, donde se aprecia una mejora sustancial incluso con porcentajes reducidos de FPP. En el marco de la norma MTC E-132, que establece la necesidad de mejorar los suelos con baja capacidad de soporte para cumplir con los requerimientos estructurales de una subrasante vial, el tratamiento aplicado en la Calicata 3 permite superar ampliamente el límite crítico del 5 % de CBR, alcanzando niveles considerados aceptables para proyectos de pavimentación de tráfico ligero a medio. Esto demuestra la efectividad de la técnica empleada,

sustentada tanto por los resultados experimentales obtenidos como por la normativa técnica vigente en el sector.

De acuerdo al objetivo, comparar y evaluar las propiedades físico-mecánicas del suelo con fibra y peletizado de polipropileno y suelo natural, las propiedades índices de un suelo arcilloso, específicamente en lo concerniente a sus límites de Atterberg, como indicadores directos de su plasticidad. Los resultados obtenidos revelaron que el suelo natural presentaba índices de plasticidad elevados en las tres calicatas analizadas (34.97 %, 22.74 % y 27.99 %), lo que señalaba una plasticidad considerable. Tras la estabilización del suelo con una dosificación de 0.6 % de FPP y 8 % de PPP, se observó una reducción significativa en estos valores, los cuales disminuyeron hasta 16.25 %, 16.42 % y 17.31 %. Este cambio sustancial sugiere una modificación en la interacción entre las partículas finas del suelo, lo que implica una mejora en su comportamiento estructural y una menor susceptibilidad a la influencia del agua. Este comportamiento mejorado se puede observar con la tesis de Torres Lora [31], quien reportó índices de plasticidad en suelos naturales que alcanzaron hasta un 48 %, asociando estos valores elevados con una baja calidad estructural que requería intervención. En contraste, la reducción del índice de plasticidad lograda en la presente investigación, incluso con dosificaciones relativamente bajas de aditivo, superó los resultados reportados en dicho antecedente. La base teórica que sustenta esta discusión radica en la comprensión de que la adición de materiales fibrosos y poliméricos puede alterar la estructura del suelo a nivel micro, disminuyendo la capacidad de las partículas finas para retener agua y, por ende, reduciendo su plasticidad. La incorporación de FPP y PPP actúa como un refuerzo tridimensional que limita la deformación plástica del suelo bajo carga y reduce su sensibilidad a los cambios de humedad, lo cual se manifiesta en la disminución de los límites de Atterberg.

En el marco de la presente investigación, se planteó como objetivo comparar las propiedades físico-mecánicas del suelo natural con aquellas obtenidas tras la incorporación conjunta de fibras de polipropileno (FPP) y polipropileno peletizado (PPP), siendo una de las principales variables analizadas el índice de plasticidad (IP). Al evaluar los resultados de los límites de Atterberg, se observó que el suelo natural presenta índices elevados de plasticidad, superando el 22 % en todas las calicatas, lo que según la clasificación del MTC E-111 corresponde a suelos con alta plasticidad, poco adecuados como subrasante debido a su inestabilidad estructural. Sin embargo, tras la estabilización con dosificaciones moderadas de 0.4 % y 0.6 % de FPP combinadas con 8 % de PPP, se registró una reducción significativa del IP, alcanzando valores cercanos a 16 %, lo cual representa una mejora sustancial en la trabajabilidad del suelo. Esta evolución favorable se explica por la interferencia física que generan las fibras y partículas de

PPP, que disminuyen la cohesión entre las partículas finas, reduciendo la retención de humedad y, por ende, la plasticidad. A este respecto, estudios como el de Llanos Flores[32], respaldan estos resultados, al mostrar valores de IP similares en suelos naturales clasificados como ML, CL y MH, en los cuales se justifica el uso de estabilizantes. En este sentido, y conforme estipula en la norma MTC E-110, la alta plasticidad del suelo exige acciones correctivas que mejoren su comportamiento ante la carga y la presencia de agua. En ese sentido, el tratamiento con FPP y PPP no solo demuestra eficacia técnica, sino que también ofrece una alternativa sostenible y replicable, validando la utilidad de los materiales reciclados en la mejora de subrasantes arcillosas.

En esencia, al considerar el segundo eje de análisis de esta investigación, orientado a la evaluación comparativa de la capacidad de soporte mediante el ensayo CBR, se evidenció que los suelos en estado natural presentan valores considerablemente bajos, oscilando entre 2.5 % y 3.3 %, lo cual, según la norma MTC E-132, los clasifica como materiales inadecuados para subrasantes sin tratamiento previo. No obstante, tras la adición progresiva de FPP y PPP, particularmente con proporciones de 0.6 % y 0.75 % de fibra, los valores de CBR aumentaron de forma significativa, superando en algunos casos el 13 %, lo que indica un cambio sustancial en el desempeño mecánico del suelo. Este incremento se atribuye a la acción conjunta de los aditivos, que generan una matriz más resistente y menos susceptible a la deformación, actuando como refuerzo físico en el interior de la estructura granular. Dichos hallazgos coinciden con los reportados por Arrelucé Montenegro y Solís Larrauri [13], quienes evidenciaron que una pequeña proporción de fibra fue suficiente para mejorar significativamente la resistencia del suelo, reafirmando que incluso dosis bajas pueden tener un efecto técnico relevante; por lo tanto, los valores obtenidos en esta investigación superan el umbral del 5 % exigido por el MTC E-132, confirmando que el tratamiento permite transformar un suelo débil en uno estructuralmente apto para aplicaciones viales. De esta manera, la estabilización propuesta no solo responde a los lineamientos técnicos establecidos, sino que también plantea una alternativa práctica y sostenible para mejorar suelos de baja capacidad portante, especialmente en zonas con presencia de arcillas expansivas.

Por ende, al integrar los resultados obtenidos tanto para el índice de plasticidad como para el valor de CBR, se concluye que la adición conjunta de fibras y polipropileno peletizado influye de manera positiva y coherente en la mejora de los suelos arcillosos evaluados, cumpliendo así con el objetivo de esta investigación. Mientras que en el estado natural los suelos presentaban un comportamiento plástico elevado y una resistencia mecánica insuficiente, tras el tratamiento con dosificaciones adecuadas de FPP y PPP se logró reducir

significativamente la plasticidad y, de manera paralela, incrementar la capacidad de soporte por encima de los valores mínimos establecidos por la normativa vigente; esta doble mejora es clave para la viabilidad del suelo como subrasante, ya que, de acuerdo con la MTC E-132, solo aquellos materiales con un CBR superior al 5 % pueden ser utilizados sin tratamiento adicional. Asimismo, el uso de materiales reciclados contribuye a la sostenibilidad del proyecto, alineándose con enfoques contemporáneos de ingeniería ambiental. En este contexto, antecedentes como los de Paico Espinoza y Siapo Tejada [30], refuerzan la validez de esta estrategia, al demostrar que la combinación de aditivos puede generar sinergias que superen la eficacia de un solo estabilizante. Por tanto, no solo se cumple con los requisitos técnicos exigidos, sino que se plantea una solución replicable, económica y ambientalmente responsable, ideal para proyectos viales en zonas donde los suelos nativos presentan condiciones poco favorables para la construcción de pavimentos duraderos.

De acuerdo al analizar la influencia de la adición de fibras de polipropileno (FPP) y polipropileno peletizado (PPP) en la mejora de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa de La Victoria, los resultados obtenidos permiten evidenciar una transformación significativa del comportamiento del suelo tratado frente a su condición natural. En primer lugar, la caracterización inicial reveló una alta proporción de finos en las tres calicatas, con más del 75 % del material pasando por el tamiz N°200, lo cual, conforme a la MTC E-107, clasifica al suelo como predominantemente arcilloso. Este hallazgo se complementa con valores elevados del índice de plasticidad, que según la MTC E-110 y E-111, ratifican la naturaleza plástica y poco estable del suelo, condiciones que justifican su necesidad de estabilización. En ese sentido, la incorporación conjunta de FPP y PPP, en distintas proporciones, generó una disminución sustancial del índice de plasticidad con reducciones de hasta 50 %— y un incremento progresivo del CBR, alcanzando valores superiores al 13 %, superando el umbral mínimo de 5 % estipulado por la MTC E-132 para subrasantes viables. Esta evolución técnica puede explicarse mediante la base teórica del refuerzo tridimensional que las fibras y partículas plásticas generan al interior del suelo, reduciendo su capacidad de deformación y su sensibilidad al agua, y mejorando su resistencia al corte. Por consiguiente, los antecedentes revisados, como los estudios de Guerrero Saavedra, Paico Espinoza y Arrelucé Montenegro [13], [29], [30], coinciden con los hallazgos de este trabajo, fortaleciendo la validez del uso de estabilizantes reciclados. En suma, se confirma que la combinación controlada de FPP y PPP no solo mejora la calidad estructural del suelo, sino que también promueve una alternativa sostenible y técnica para la construcción de pavimentos sobre subrasantes arcillosas.

Conclusiones

1. La caracterización de las muestras naturales de subrasante arcillosa de La Victoria mostró que este suelo, debido a su alta plasticidad y contenido de finos, no es adecuado para su uso como subrasante sin tratamiento. En el cual, los resultados obtenidos, con un índice de plasticidad superior al 30 %, evidencian la necesidad de estabilización para mejorar su desempeño y cumplir con las especificaciones del MTC E-132. Así mismo, se identificaron las principales deficiencias en las propiedades mecánicas del suelo, como la baja capacidad de soporte ($\text{CBR} < 5 \%$), lo que ratifica la importancia de realizar un proceso de estabilización para su uso en infraestructura vial.
2. La adición de fibras de polipropileno (FPP) y polipropileno peletizado (PPP) tuvo un impacto positivo en las propiedades físico-mecánicas del suelo, donde, la mejora en el índice de plasticidad fue significativa, reduciéndose hasta valores inferiores al 18 %, lo que permite que el suelo estabilizado cumpla con las exigencias de las normativas viales, como la MTC E-132; en cuanto a la resistencia a la compresión y la capacidad de soporte (CBR), las mezclas estabilizadas con fibras y peletizado mostraron un incremento considerable, alcanzando hasta 13 % en el CBR con 0.75 % de FPP y 8 % de PPP, lo que confirma que el suelo estabilizado puede funcionar adecuadamente como subrasante en pavimentos de tráfico ligero.
3. El comportamiento mecánico del suelo estabilizado con fibras y peletizado es considerablemente superior al del suelo natural, lo que hace viable su uso en proyectos de pavimentación. Las dosificaciones óptimas identificadas fueron 0.6 % de FPP y 8 % de PPP, ya que mejoraron de manera efectiva las propiedades sin generar incrementos innecesarios de costos. Estos resultados también respaldan la sostenibilidad del uso de materiales reciclados, como el polipropileno, en la ingeniería civil, contribuyendo a la reducción de residuos plásticos y promoviendo una economía circular en la construcción.
4. La combinación de fibras de polipropileno y peletizado no solo mejoró las propiedades mecánicas del suelo, sino que también resultó en un comportamiento más estable ante cambios de humedad, lo cual es fundamental para la durabilidad de las obras viales. El análisis de los resultados mostró que este tipo de estabilización aumenta la resiliencia del suelo frente a la variabilidad climática, lo cual es crucial en regiones con condiciones ambientales cambiantes como la de La Victoria. La

estabilidad en el tiempo del material estabilizado abre nuevas posibilidades para su uso en infraestructuras de larga vida útil.

Recomendaciones

1. Se recomienda utilizar la combinación de fibras de polipropileno y peletizado de polipropileno como método de estabilización para suelos arcillosos en proyectos viales, especialmente en áreas con características similares a las de La Victoria. Este enfoque ha demostrado ser eficaz para mejorar la capacidad de carga y la plasticidad del suelo, cumpliendo con los requisitos establecidos en las normativas del MTC. Asimismo, la implementación de estos materiales reciclados favorece la sostenibilidad ambiental al reducir los residuos plásticos, lo que contribuye a una construcción más ecológica y eficiente.
2. Para optimizar los costos y resultados de la estabilización, es recomendable aplicar una dosificación de 0.6 % de fibras de polipropileno y 8 % de polipropileno peletizado. Esta proporción ha mostrado ser la más adecuada para mejorar significativamente las propiedades físico-mecánicas sin generar un gasto innecesario en materiales adicionales. Las investigaciones futuras podrían evaluar ajustes en estas proporciones según el tipo de suelo y las condiciones específicas del proyecto, pero esta mezcla parece ser una opción viable y balanceada.
3. Se sugiere realizar un monitoreo a largo plazo de las subrasantes estabilizadas en condiciones reales de tráfico y climatología, para evaluar el comportamiento estructural del suelo tratado a lo largo del tiempo. Esto permitirá validar los resultados obtenidos en laboratorio y ajustar las dosificaciones de los aditivos según sea necesario. Un estudio de durabilidad podría proporcionar una evaluación más detallada de la resistencia del material frente a ciclos de carga, humedad y temperatura.
4. Se recomienda fomentar la investigación sobre el uso de materiales reciclados en la estabilización de suelos, ampliando los estudios a diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas. Esto permitirá la creación de guías técnicas más completas para su implementación en diversas zonas, promoviendo la utilización de residuos plásticos en la construcción, lo que también contribuiría a la reducción del impacto ambiental global.
5. Es importante reconocer que en áreas donde el costo de materiales tradicionales para el tratamiento del suelo sea elevado o donde el acceso a materiales alternativos sea

limitado. El uso de polímeros reciclados no solo aporta beneficios técnicos, sino que también puede representar una solución económica en comparación con las tecnologías de estabilización convencionales, sin comprometer la calidad y la seguridad de la infraestructura.

6. Se recomienda validar los resultados obtenidos en laboratorio mediante la ejecución de ensayos de campo, a fin de contrastar el comportamiento real del suelo estabilizado bajo condiciones operativas. Asimismo, esta validación permitirá corroborar la confiabilidad de los parámetros físico-mecánicos determinados y fortalecer la aplicabilidad de los resultados para futuros proyectos de ingeniería vial.

Referencias

- [1] A. Fauzi, U. J. Fauzi, y W. M. Nazmi, «Engineering Quality Improvement of Kuantan Clay Subgrade using Recycling and Reused Materials as Stabilizer», *Procedia Engineering*, vol. 54, pp. 675-689, ene. 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.03.062.
- [2] Y. Luan, X. Ma, Y. Ma, X. Liu, S. Jiang, y J. Zhang, «Research on strength improvement and stabilization mechanism of organic polymer stabilizer for clay soil of subgrade», *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, p. e02397, dic. 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e02397.
- [3] «Calidad de las carreteras por país», TheGlobalEconomy.com. Accedido: 12 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.theglobaleconomy.com/rankings/roads_quality/
- [4] R. G. B. Herrera, G. M. P. Meza, y A. V. Flores, «Tesis para optar al título profesional de».
- [5] A. Montejo Fonseca, «Ingeniería de pavimentos», Biblioteca Hernán Malo González de la Universidad del Azuay. Accedido: 13 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/62106>
- [6] C. Tudu, M. Mohanty, S. S. Mohapatra, y S. Nayak, «A systematic review exploring the feasibility of waste plastic as different constituents towards sustainable concrete», *Construction and Building Materials*, vol. 428, p. 136210, may 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136210.
- [7] S. Amena, «Utilizing solid plastic wastes in subgrade pavement layers to reduce plastic environmental pollution», *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 7, p. 100438, abr. 2022, doi: 10.1016/j.clet.2022.100438.
- [8] «Cifras del mundo y el Perú», Menos Plástico Más Vida. Accedido: 12 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- [9] «Agentes de cambio de la campaña regional ‘Por mi planeta: ¡no más plástico!’ participan en charla ambiental educativa», Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Accedido: 22 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.usat.edu.pe/destacada/agentes-de-cambio-de-la-campana-regional-por-mi-planeta-no-mas-plastico-participan-en-charla-ambiental-educativa/>
- [10] A. Boz, A. Sezer, T. Özdemir, G. E. Hızal, y Ö. Azdeniz Dolmacı, «Mechanical properties of lime-treated clay reinforced with different types of randomly distributed fibers», *Arab J Geosci*, vol. 11, n.º 6, p. 122, mar. 2018, doi: 10.1007/s12517-018-3458-x.
- [11] M. Chen, S.-L. Shen, A. Arulrajah, H.-N. Wu, D.-W. Hou, y Y.-S. Xu, «Laboratory evaluation on the effectiveness of polypropylene fibers on the strength of fiber-reinforced

- and cement-stabilized Shanghai soft clay», *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 43, n.º 6, pp. 515-523, nov. 2015, doi: 10.1016/j.geotexmem.2015.05.004.
- [12] L. Wei, S. X. Chai, H. Y. Zhang, y Q. Shi, «Mechanical properties of soil reinforced with both lime and four kinds of fiber», *Construction and Building Materials*, vol. 172, pp. 300-308, may 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.248.
- [13] S. Arrelucé Montenegro y G. L. Solís Larrauri, «Incorporación de fibras de polipropileno como método de reforzamiento de suelos arcillosos en Palian - Huancayo», *Clay soil reinforcement by using Polypropylene Fiber at Palian - Huancayo*, may 2021, Accedido: 17 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/656164>
- [14] F. B. Solís León y D. M. Inga Salazar, «Análisis del comportamiento mecánico del suelo arcilloso reforzado con fibras de polipropileno en la Merced - Junín 2021», *Universidad Continental*, 2021, Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11369>
- [15] R. E. Palomino Miranda y A. P. Trujillo Vidal, «Mejoramiento de las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso a nivel de subrasante mediante el uso de PET chancado y triturado en la carretera Yurimaguas-Munichis, Loreto», *Improvement of the mechanical properties of a clay soil at the subgrade level through the use of crushed PET in the Yurimaguas-Munichis road, Loreto*, abr. 2022, Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/668051>
- [16] C. E. Liendo Luque, «Evaluación en laboratorio de las características de un suelo arcilloso de baja compresibilidad reforzado con inclusiones de fibras de polipropileno», feb. 2024, Accedido: 2 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/27028>
- [17] R. R. L. Chavez, M. E. A. Rojas, y E. E. R. D. L. Puente, «Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido», *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, vol. 3, n.º 2, Art. n.º 2, 2020, doi: 10.25127/ucni.v3i2.612.
- [18] «Resolución Directoral N.º 10-2014-MTC/14». Accedido: 29 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/4441297-10-2014-mtc-14>
- [19] «CE.010 Pavimentos Urbanos DS N° 010-2010». Accedido: 29 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619679-ce-010-pavimentos-urbanos-ds-n-010-2010>
- [20] «Ley N.º 28611». Accedido: 29 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/3569-28611>
- [21] «Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC». Accedido: 29 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/mtc>
- [22] C. CRESPO VILLALAZ, «MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES /».
- [23] «Polipropileno ¿Qué es? Ventajas y usos». Accedido: 13 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polipropileno-id13.htm>
- [24] «Reciclado Plástico Peletizado – Coraplast». Accedido: 26 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://coraplast.pe/reciclado-plastico-peletizado/>
- [25] K. Zhang, W. Lin, Q. Lan, y Q. Zhang, «Compressive properties of polypropylene fiber reinforced seawater sea-sand recycled aggregate concrete under different strain rate loading», *Construction and Building Materials*, vol. 452, p. 138968, nov. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.138968.
- [26] A. Garg, S. Bordoloi, S. Mondal, J.-J. Ni, y S. Sreedeeep, «Investigation of mechanical factor of soil reinforced with four types of fibers: An integrated experimental and extreme

- learning machine approach», *Journal of Natural Fibers*, vol. 17, n.º 5, pp. 650-664, may 2020, doi: 10.1080/15440478.2018.1521763.
- [27] M. Borja Suárez, *Metodología de Investigación Científica para ingeniería Civil*. Accedido: 1 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil
- [28] J. Sucasaire Pilco, *Orientaciones para la selección y el cálculo del tamaño de la muestra de investigación*. Sucasaire Pilco, Jorge, 2022. Accedido: 24 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12390/3096>
- [29] D. V. Chiclayo Guevara, «Aplicación de fibras de polipropileno para la mejora de la trocha carrozable, La Mora-Caserío Melgas, Sayapullo, Gran Chimú, 2023», *Repositorio Institucional - UCV*, 2023, Accedido: 25 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/139865>
- [30] F. B. Solís León y D. M. Inga Salazar, «Análisis del comportamiento mecánico del suelo arcilloso reforzado con fibras de polipropileno en la Merced - Junín 2021», *Universidad Continental*, 2021, Accedido: 25 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11369>
- [31] J. del P. Paico Espinoza y R. I. Siapo Tejada, «Diseño de subrasante incorporando bolsas de polietileno fundido, para mejorar la estabilidad del suelo, trocha Los Peches – Paredones, Mochumí - Lambayeque», *Repositorio Institucional - UCV*, 2022, Accedido: 25 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/118546>
- [32] R. Guerrero Saavedra y C. E. Valladolid Carrasco, «Mejoramiento de la resistencia del suelo a nivel de subrasante aplicando bolsas de polietileno fundido, sector II Villa Hermosa, Lambayeque», *Repositorio Institucional - UCV*, 2021, Accedido: 25 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/86598>

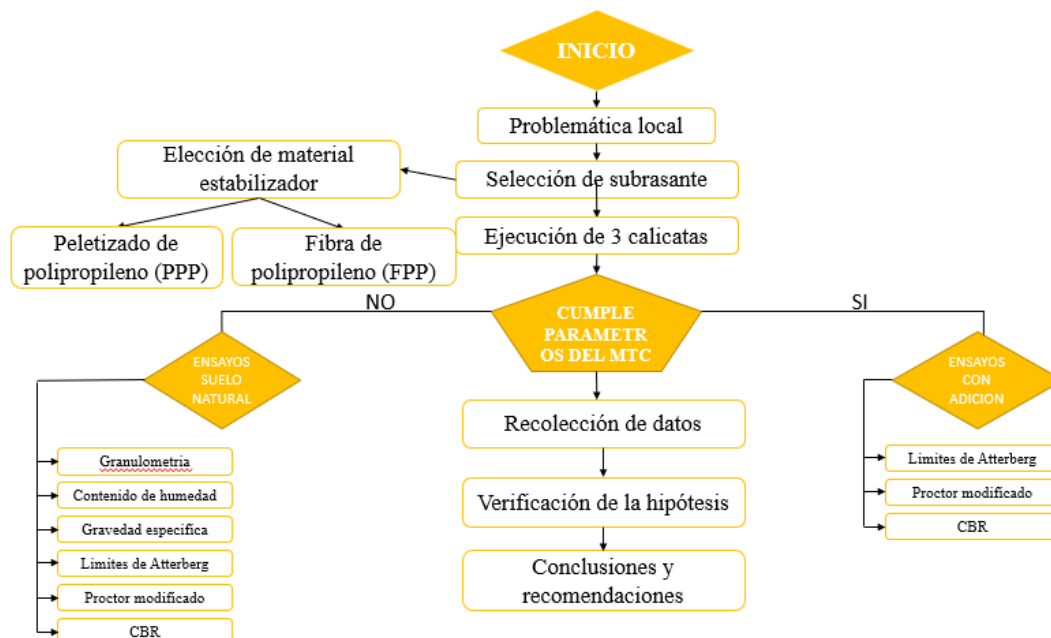
Anexos

TABLA XXXV CIUDAD DE CHICLAYO: TIPOS DE SUELOS PREDOMINANTES POR SECTORES

Cuadro N° 24
CIUDAD DE CHICLAYO: TIPOS DE SUELOS PREDOMINANTES POR SECTORES

SECTORES	ASENTAMIENTOS HUMANOS	TIPOS DE SUELO PREDOMINANTES	ESTATIGRAFIA	EXPANSION DEL SUELO	CAPACIDAD PORTANTE	NIVEL FREATICO
I	Urb. El Ingeniero I y II, Miraflores, Ciudad del Chafer, 03 de Octubre, Quíñones, Remigio Silva, Las Brisas, La Purísima, Residencial A. B. Leguía y Cerropón, Cruz de Chalipón, Rosa Nélida Castillo, Sta. Toribio de Magrovojo, 4 de Noviembre, Simón Bolívar, Vista Alegre, Nueva Esperanza, Cruz de la Esperanza, Sta. Lila, F. Beltrán, J. Basadre, Los Mochicas, Ricardo Palma, Sta. Elena, José Quíñones, José Bialta, José Olaya, Elías Aguirre, José Obrero, Cruz del Perdón, Cerro Pololú, J. Carlos Mariategui, Amp. Cruz del Perdón, Los Olivos, Parte de 9 de Octubre, 19 de Setiembre, San Sebastián, Virgen de la Paz, San Julio, Sta. Alejandrina, Santuario, Progresiva Cerropón, La Molina Alta, Las Mercedes, La Colina, Vista Hermosa, AVIANTEL, La Concordia, La Plaza, La Pradera, Los Cedros de la Pradera, Virgen de Fátima, san Jerónimo, Los Jardines y Sagrado Corazón de Jesús.	Arcillas del tipo (CL y CH), Arenas (SC, SM y SP) y Gravas (GC y GP).	Media a Semidura: 2.0 m. < C-3 < 4.5 Rígido: 4.5 m. < C-5 < 15.0 m.	Suelos superficiales de expansión baja a media, con cambio de volumen pequeño.	1.0 - 2.0 Kg./cm.²	2.0 a 7.0 m.
II	Comprende parte del sector Este de la ciudad: Aeropuerto, Planta de Tratamiento de Agua Potable, AA.III. López Albuja, Micaela Dasitadas, San Antonio, Nuevo Mundo, Atusparias, Francisco Cabrera, Las Mercedes, César Vallejo, Amp. Campodónico, Progresiva UCROFEN, Sagrado Corazón de Jesús, San Guillermo, Sta. Toribio, El Obrero, Amp. San Antonio, Puente Blanco, Jorge Chávez, Fanny Abanto Calle, parte del A.H. Suazo.	Arcillas del tipo (CL y CH), Arenas (SC, SM y SP) y Gravas (GC y GP).	Media a Semidura: 6.0 m. < C-3 < 8.0 Rígido: 8.0 m. < C-5 < 13.0 m.	Suelos finos de expansión baja a media, con cambio de volumen pequeño a moderado.	1.0 - 2.0 Kg./cm.²	2.0 a 3.5 m.
III	Ramiro Priale, José Santos Chocano, UPIS 1° de Mayo, María Parado de Bellido, Mercado Moshoqueque, Área Central, AA.III. Santa Rosa, Diego Ferré, Urb. La Primavera, Patazca, Bancarios, La Florida, Hipodromo y el 3er Sector del distrito, Stein, Miraflores, Indoamérica, El Saltral, 6to Sector Urrunaga, Villa Hermosa, La Explanada, Milagro de Dios, Villa El Sol, San Lorenzo, Sta. Ana, Nuevo San Lorenzo, Casablanca, San José Obrero, Garcés, Latina, Artesanos, 12 de Octubre, F. Bolognesi, San Carlos, Las Palmeras, Fardo Sta. María, San Isidro, Miraflores, Amp. T. Amaris, Luis Heyser, La Primavera, San Luis, Porvenir, Cois, San Juan, Salazar, Chiclayo, El Molino, Las Américas, Señor de Los Milagros, San Nicolás, Doggiano, San Francisco, Campodónico, Raymondí, 3° Sector de La Victoria, San Martín, Zamora, Diego Ferré, Mesones Muray y Ciro Alegria.	Arcillas de media y alta plasticidad del tipo (CL, CH, CL-ML) y en pequeñas proporciones arenas del tipo (SC, SM y SP).	Blando a Medio: 2.0 m. < C-2 < 5.0 m. Semiduro: 3.0 m. < C-4 < 8.0 m. Duro a Rígido: 6.0 m. < C-5 < 13.0 m.	Suelos fino de expansión media a alta, con cambio de volumen moderado.	0.5 - 1.0 Kg./cm.²	1.5 a 2.3 m.
IV	Urb. Santa Victoria, Federico Villarreal, Café Perú, Santa Angélica, Parque Zonal, C.E. Salaverry, Sta. Victoria, San Eduardo, Carlos Cabezas Palla, Ana de los Angeles, Villa El Salvador, Sta. Angélica, Nazarena, H. Unanue, Divino Maestro, Corazón de Jesús, Carmen Angélica, Los sardines de Santa Rosa, La Florida, El Amanuta, Los Jazmines, Los Pinos de Plata, V. R. Haya de la Torre, Sta. Margarita y parte del A.H. La Victoria.	Arcillas de media y alta plasticidad del tipo (CL, CH, CL-ML) y en pequeñas proporciones arenas del tipo (SC, SM y SP).	Muy Blando a Medio: 3.5 m. < C-1 < 4.5 m. Semiduro: 4.5 m. < C-4 < 5.5 m. Duro a Rígido: 5.5 m. < C-5 < 10.0 m.	Suelos fino de expansibilidad alta a extremadamente alta, con cambio de volumen moderado a severo.	0.0 - 0.5 Kg./cm.²	1.0 a 2.0 m.

Estrategia de análisis de datos





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

ENCUESTA SOBRE FIBRA DE POLIPROPILENO: MANEJO DE RESIDUOS

Encuesta destinada a trabajadores que usan polipropileno en la región de Lambayeque, con el propósito de recopilar información relevante para el estudio titulado "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionado con fibra de polipropileno (PP) en calles de la Urb. Santo Tomas del distrito de la Victoria, 2024". Agradecemos sinceramente su participación y colaboración en este proyecto.

Nombre de empresa:

Ubicación:

1. ¿Cuál es el volumen aproximado de residuos generados por semana o mes?

2. ¿Cómo manejan los residuos de polipropileno?

- Reutilizan
- Empresa encargada del manejo
- Venta a terceros
- Otro: _____

3. ¿Existen procedimientos específicos para la segregación de residuos?

- Si
- No

4. ¿Cómo se recolectan y almacenan los residuos dentro de la planta?

5. ¿Venden la fibra que no utilizan? ¿Si es así, cual es el precio?

Fig. 12 Encuesta para trabajadores - Fuente: Propia

CONFORMIDAD DE ASESOR
SEMINARIO DE TESIS II

Chiclayo, 21 de Mayo del 2025.

Señores

DOCENTE DE LA ASIGNATURA DE SEMINARIO DE TESIS II
DOCENTE COORDINADOR DE TESIS
Escuela Profesional de Ingeniería Civil-USAT
Presente.

Le expreso mi saludo y en mi condición de asesor doy mi **CONFORMIDAD** a la tesis titulada: Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria presentado por el estudiante **Alex Junior Salazar Silva** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil**, de esta manera se cumple con uno de los requisitos para su pase a sustentación del informe de tesis de acuerdo con el art.32 de reglamento de elaboración y sustentación del trabajo de investigación para optar el título profesional.

Atentamente.



Ing. Luis Quiroz Quiñones
Docente Asesor



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

- LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS
- CONCRETO Y ASFALTO

INFORME N° LEM USAT 058-2025-I

FECHA: 23 de Mayo 2025

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Salazar Silva Alex Junior

TITULO DE LA TESIS: Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Contenido de humedad
- Análisis granulométrico por tamizado
- Peso específico
- Límites de Atterberg
- Proctor Modificado
- California Bearing Ratio
- Límites de Atterberg (Dosificación 0.4%FPP+8%PPP, 0.6%FPP+8%PPP, 0.75%FPP+8%PPP)
- Proctor Modificado (Dosificación 0.4%FPP+8%PPP, 0.6%FPP+8%PPP, 0.75%FPP+8%PPP)
- California Bearing Ratio (Dosificación 0.4%FPP+8%PPP, 0.6%FPP+8%PPP, 0.75%FPP+8%PPP)


Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex

TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria

UBICACIÓN : La Victoria

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

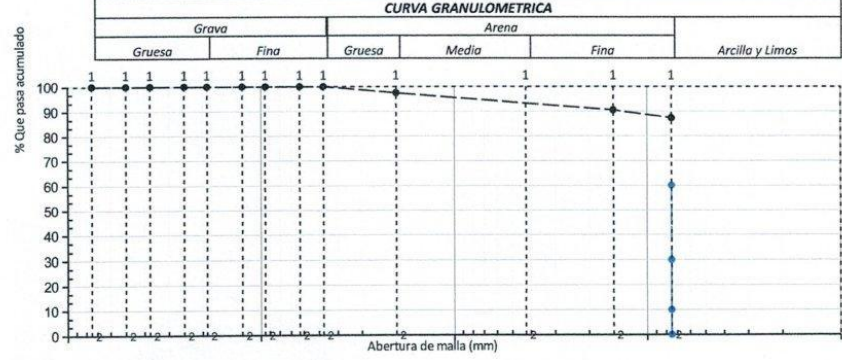
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

Calicata: C-01 Muestra: M-1 Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

TAMICES (Pul)	(mm)	PESO		% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
		RETENIDO	PARCIAL			
3"	75,000	0,0	0,0	0,0	100,0	PESO TOTAL : 300,00 g.
2 1/2"	63,000	0,0	0,0	0,0	100,0	PESO LAVADO : 37,79 g.
2"	50,000	0,00	0,0	0,0	100,0	PESO FINO : 300,00 g.
1 1/2"	37,500	0,00	0,0	0,0	100,0	LIMITE LIQUIDO : 53,4 %
1"	25,000	0,00	0,0	0,0	100,0	LIMITE PLASTICO : 18,47 %
3/4"	19,000	0,00	0,0	0,0	100,0	INDICE PLASTICIDAD : 34,97 %
1/2"	12,500	0,00	0,0	0,0	100,0	CLASF. AASHTO : A-7-6 (15)
3/8"	9,500	0,00	0,0	0,0	100,0	CLASF. SUCS : CH
1/4"	6,300	0,00	0,0	0,0	100,0	DESCRIPCION DEL SUELO :
Nº4	4,750	0,00	0,0	0,0	100,0	Arcilla de alta plasticidad
Nº10	2,360	7,88	2,6	2,6	97,4	Ensayo Malla Nº200
Nº20	1,180	6,46	2,2	4,8	95,2	P.S. Seco 300 P.S. Lav 38 (%) 200 87,4
N40	0,600	3,28	1,1	5,9	94,1	% HUMEDAD
Nº50	0,300	1,04	0,3	6,2	93,8	P.S.H 640,48 P.S.S. 585,31 (%) Hum. 9,4
Nº100	0,150	9,68	3,2	9,4	90,6	MODULO DE FINEZA 0,289
Nº200	0,075	9,45	3,2	12,6	87,4	Coef. Uniformidad 1,1
< Nº 200	FONDO	262,21	87,4	100,0	0,0	Coef. Curvatura 1,1

CURVA GRANULOMETRICA

Grava		Arena			Arcilla y Limos
Gruesa	Fina	Gruesa	Media	Fina	


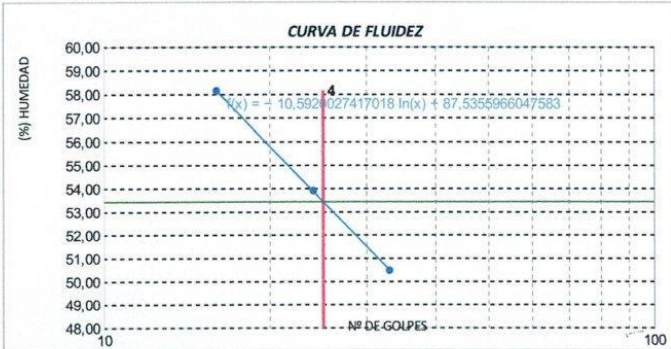


Abertura de malla (mm)

Observaciones:

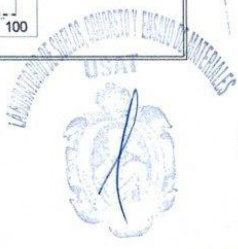

 Henry Ivadeneyra Obites
 Ing. Laboratorio USAT


 TECNICO DE LABORATORIO

 UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES					
TESISTA	: Salazar Silva Alex				
TESIS	: Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y pelletizado de polipropileno en La Victoria				
UBICACIÓN	: La Victoria				
ENSAYO	: SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo				
NORMA DE REFERENCIA	: N.T.P. 399.131				
Calicata: C-01 Muestra: M-1	Profundidad: 0.10m. - 1.50m.				
0					
Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
Nº de tarro	7	8	9	2	
Nº de golpes	33	24	16		
Tarro + suelo húmedo	30,37	24,48	22,76	25,56	
Tarro + suelo seco	25,66	18,27	17,13	24,33	
Agua	4,71	6,21	5,63	1,23	
Peso del tarro	16,33	6,75	7,45	17,67	
Peso del suelo seco	9,33	11,52	9,68	6,66	
Porcentaje de humedad	50,48	53,91	58,16	18,47	
CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA					
Límite Líquido	53,44				
Límite Plástico	18,47				
Índice de Plasticidad	34,97				
					

Observaciones:


 Henry Roldeneyra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT


 TÉCNICO DE LABORATORIO

FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex
 ESCUELA : Ingeniería Civil
 LUGAR : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 FECHA DE EMISIÓN : Chiclayo, 2024

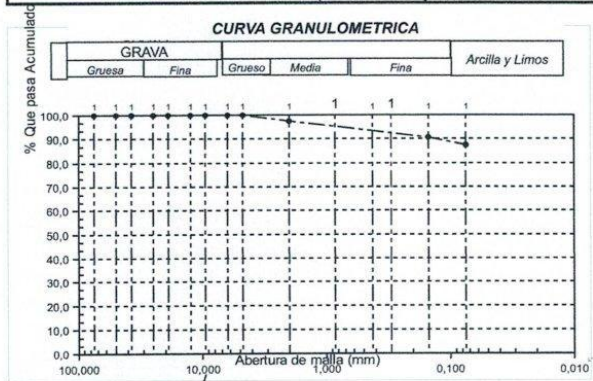
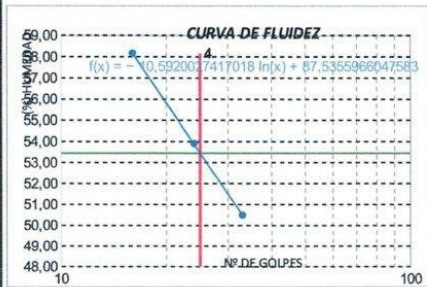
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Calicata: C-01 Muestra: M-1 Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Análisis Granulométrico por tamizado			
Nº Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados Que pasa	Retenido
3"	75,000	0,0	100,0
2"	50,000	0,0	100,0
1 1/2"	37,500	0,0	100,0
1"	25,000	0,0	100,0
3/4"	19,000	0,0	100,0
1/2"	12,500	0,0	100,0
3/8"	9,500	0,0	100,0
1/4"	6,300	0,0	100,0
Nº 4	4,750	0,0	100,0
Nº 10	2,000	2,6	97,4
Nº 20	0,850	4,8	95,2
Nº 50	0,300	6,2	93,8
Nº 100	0,150	9,4	90,6
Nº 200	0,075	12,6	87,4

Distribución granulométrica			
% Grava	G.G. %	0,0	0,0
	G.F. %	0,0	
% Arena	A.G. %	2,6	12,6
	A.M. %	3,3	
	A.F. %	6,7	
% Arcilla y Limo		87,4	87,4
Total			100,0

Ensayo de Límite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	53,44 (%)
Límite Plástico (LP)	18,47 (%)
Índice Plástico (IP)	34,97 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	CH
Descripción del suelo	Arcilla de alta plasticidad
Clasificación (AASITTO)	A-7-6 (15)
Descripción	MALO



Henry Rivas Obillos
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex
TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y pelletizado de polipropileno en La Victoria
UBICACIÓN : La Victoria
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

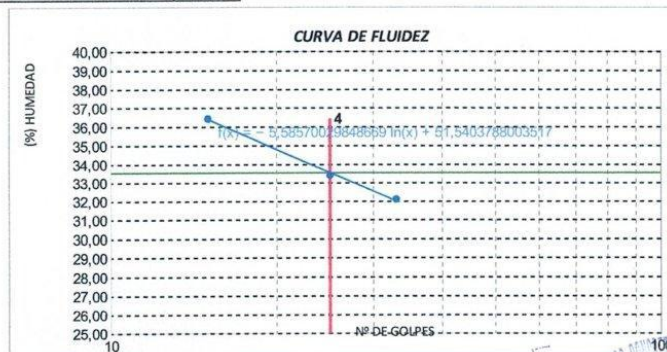
Calicata: 01

Muestra:01

Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico		
	7	8	9	2		
Nº de tarro	7	8	9	2		
Nº de golpes	33	25	15			
Tarro + suelo húmedo	32,74	41,15	39,31	23,08		
Tarro + suelo seco	29,52	35,76	34,07	22,54		
Agua	3,22	5,39	5,24	0,54		
Peso del tarro	19,49	19,63	19,69	19,42		
Peso del suelo seco	10,03	16,13	14,38	3,12		
Porcentaje de humedad	32,10	33,42	36,44	17,31		

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	33,56
Límite Plástico	17,31
Índice de Plasticidad	16,25



Observaciones:

Henry Guadenebra Oblitas
 Ing. Laboratorio USAT

USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex
TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y pelletizado de polipropileno en La Victoria
UBICACIÓN : La Victoria
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Calicata: 02

Muestra: 01

Profundidad: 0,10m. - 1.50m.

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico		
	7	8	9	2		
Nº de tarro	7	8	9	2		
Nº de golpes	35	25	15			
Tarro + suelo húmedo	33,62	29,28	37,82	22,52		
Tarro + suelo seco	30,11	26,71	32,81	21,84		
Agua	3,51	2,57	5,01	0,68		
Peso del tarro	19,47	19,69	19,45	18,14		
Peso del suelo seco	10,64	7,02	13,36	3,7		
Porcentaje de humedad	32,99	36,61	37,50	18,38		

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	35,34
Límite Plástico	18,38
Índice de Plasticidad	16,96



Observaciones:

Henry Sivadeneyra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT

TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex

TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria

UBICACIÓN : La Victoria

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

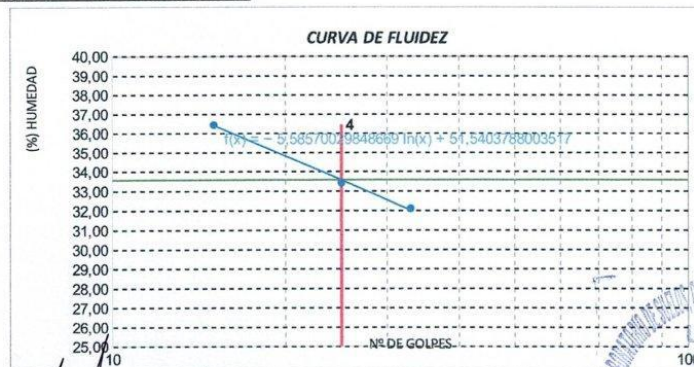
Calicata: 03

Muestra: 01

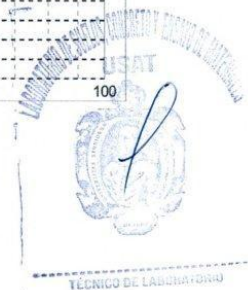
Profundidad: 0,10m. - 1,50m.

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico		
	7	8	9	2		
Nº de tarro						
Nº de golpes	35	25	12			
Tarro + suelo húmedo	33,18	35,22	41,4	22,81		
Tarro + suelo seco	29,82	31,24	35,23	22,19		
Agua	3,36	3,98	6,17	0,62		
Peso del tarro	19,48	19,66	19,16	18,48		
Peso del suelo seco	10,34	11,58	16,07	3,71		
Porcentaje de humedad	32,50	34,37	38,39	16,71		

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	34,36
Límite Plástico	16,71
Índice de Plasticidad	17,64



Observaciones:




UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
TESISTA : Salazar Silva Alex

TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria

UBICACIÓN : La Victoria

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Calicata: 01 Muestra: 01

Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico		
	7	8	9	2		
Nº de tarro	7	8	9	2		
Nº de golpes	35	25	12			
Tarro + suelo húmedo	32,6	28,24	33,24	24,02		
Tarro + suelo seco	29,05	25,82	29,32	23,31		
Agua	3,55	2,42	3,92	0,71		
Peso del tarro	19,45	19,45	19,49	19,14		
Peso del suelo seco	9,6	6,37	9,83	4,17		
Porcentaje de humedad	36,98	37,99	39,88	17,03		

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	37,92
Límite Plástico	17,03
Índice de Plasticidad	20,90



Observaciones:


 Henry Andeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex
TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
UBICACIÓN : La Victoria
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad del suelo
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Calicata: 02 Muestra: 01

Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Datos de ensayo.	Limite líquido			Limite Plástico		
	7	8	9	2		
N° de tarro	7	8	9	2		
N° de golpes	33	23	15			
Tarro + suelo húmedo	39,14	38,08	36,44	24,42		
Tarro + suelo seco	34,36	33,24	31,42	23,65		
Agua	4,78	4,84	5,02	0,77		
Peso del tarro	19,63	19,16	19,47	19,52		
Peso del suelo seco	14,73	14,08	11,95	4,13		
Porcentaje de humedad	32,45	34,37	42,01	18,64		

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Limite Líquido	35,06
Limite Plástico	18,64
Índice de Plasticidad	16,42



Observaciones:

[Signature]
 Henry Roldaneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

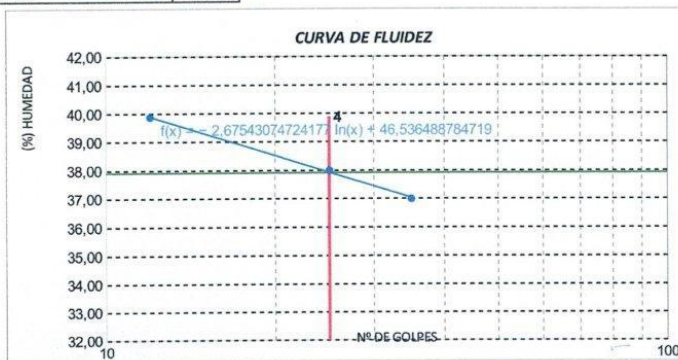
TESISTA : Salazar Silva Alex
TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
UBICACIÓN : La Victoria
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad del suelo
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Calicata: 03 Muestra: 01

Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Datos de ensayo.	Limite líquido			Limite Plástico		
	7	8	9	2		
Nº de tarro	7	8	9	2		
Nº de golpes	34	24	12			
Tarro + suelo húmedo	35,87	33,16	34,43	24,23		
Tarro + suelo seco	31,71	29,53	30,17	23,47		
Agua	4,16	3,63	4,26	0,76		
Peso del tarro	19,54	19,31	19,42	19,32		
Peso del suelo seco	12,17	10,22	10,75	4,15		
Porcentaje de humedad	34,18	35,52	39,63	18,31		

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Limite Líquido	35,62
Limite Plástico	18,31
Índice de Plasticidad	17,31



Observaciones:

[Signature]
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex
TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
UBICACIÓN : La Victoria

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad del suelo

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Calicata: 01

Muestra: 01

Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
	7	8	9	2	
Nº de tarro	7	8	9	2	
Nº de golpes	33	25	12		
Tarro + suelo húmedo	30,48	32,08	44,31	23,22	
Tarro + suelo seco	27,62	28,69	37,54	22,68	
Agua	2,86	3,39	6,77	0,54	
Peso del tarro	19,42	19,18	19,14	19,63	
Peso del suelo seco	8,2	9,51	18,4	3,05	
Porcentaje de humedad	34,88	35,65	36,79	17,70	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	35,49
Límite Plástico	17,70
Índice de Plasticidad	17,79



Observaciones:

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex
TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
UBICACIÓN : La Victoria
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Calicata: 02 Muestra: 01 Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
	7	8	9	2	
Nº de tarro	7	8	9	2	
Nº de golpes	35	25	15		
Tarro + suelo húmedo	39,78	36,42	34,03	24,32	
Tarro + suelo seco	34,51	31,63	29,91	23,57	
Agua	5,27	4,79	4,12	0,75	
Peso del tarro	19,14	19,39	19,39	19,13	
Peso del suelo seco	15,37	12,24	10,52	4,44	
Porcentaje de humedad	34,29	39,13	39,16	16,89	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	37,12
Límite Plástico	16,89
Índice de Plasticidad	20,22



Observaciones:

Henry Rivadeneira Obillitas
 Henry Rivadeneira Obillitas
 Tec. Laboratorio USAT

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex
TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y pelletizado de polipropileno en La Victoria
UBICACIÓN : La Victoria

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad del suelo

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

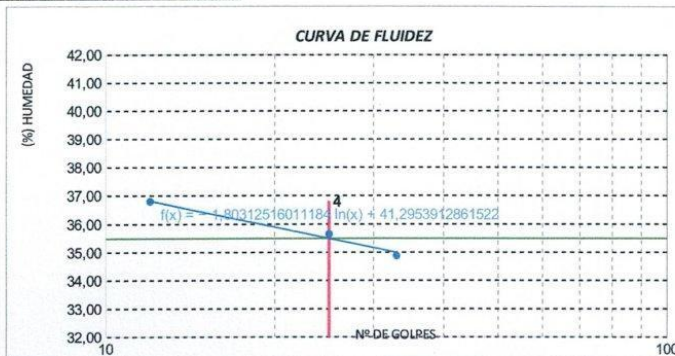
Calicata: 03

Muestra: 01

Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Datos de ensayo.	Limite líquido			Limite Plástico	
	7	8	9	2	
Nº de tarro	7	8	9		
Nº de golpes	34	22	15		
Tarro + suelo húmedo	35,13	33,44	46,21	23,78	
Tarro + suelo seco	31,07	29,69	38,92	23,11	
Agua	4,06	3,75	7,29	0,67	
Peso del tarro	19,28	19,53	19,63	19,37	
Peso del suelo seco	11,79	10,16	19,29	3,74	
Porcentaje de humedad	34,44	36,91	37,79	17,91	


CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Limite Líquido	35,90
Limite Plástico	17,91
Índice de Plasticidad	17,98



Observaciones:

Henry Rivadeneira Obilias
 Henry Rivadeneira Obilias
 Tec. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex

TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y pelletizado de polipropileno en La Victoria

UBICACIÓN : La Victoria

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

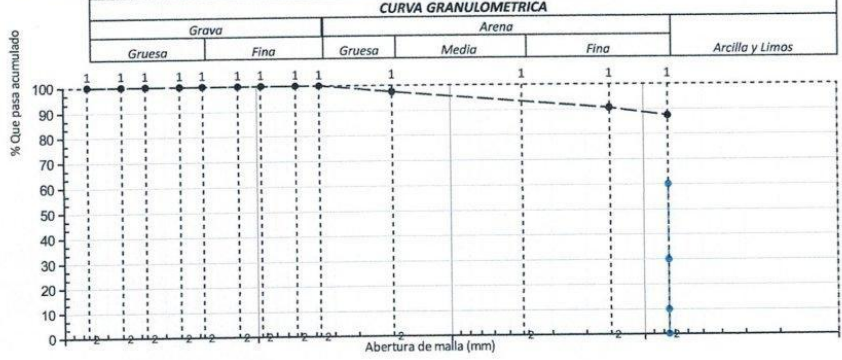
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

Calicata: C-02 Muestra: M-1 Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)					
3"	75,000	0,0	0,0	0,0	100,0	PESO TOTAL : 300,00 g.
2 1/2"	63,000	0,0	0,0	0,0	100,0	PESO LAVADO : 37,18 g.
2"	50,000	0,00	0,0	0,0	100,0	PESO FINO : 300,00 g.
1 1/2"	37,500	0,00	0,0	0,0	100,0	LIMITE LIQUIDO : 44,5 %
1"	25,000	0,00	0,0	0,0	100,0	LIMITE PLASTICO : 21,76 %
3/4"	19,000	0,00	0,0	0,0	100,0	INDICE PLASTICIDAD : 22,74 %
1/2"	12,500	0,00	0,0	0,0	100,0	CLASF. AASHTO : A-7-6 (14)
3/8"	9,500	0,00	0,0	0,0	100,0	CLASF. SUCS : CL
1/4"	6,300	0,00	0,0	0,0	100,0	DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº4	4,750	0,00	0,0	0,0	100,0	<i>Arcilla de baja plasticidad</i>
Nº10	2,360	7,80	2,6	2,6	97,4	Ensayo Malla Nº200
Nº20	1,180	6,38	2,1	4,7	95,3	P.S.Seco : 300
N40	0,600	3,20	1,1	5,8	94,2	P.S.Lav : 37
N50	0,300	0,96	0,3	6,1	93,9	(%) 200 : 87,6
N100	0,150	9,60	3,2	9,3	90,7	% HUMEDAD : P.S.H : 640,48
N200	0,075	9,24	3,1	12,4	87,6	P.S.S. : 585,31
< N° 200	FONDO	262,82	87,6	100,0	0,0	(%) Hum. : 9,4
						MODULO DE FINEZA : 0,285
						Coef. Uniformidad : 1,1
						Coef. Curvatura : 1,1

CURVA GRANULOMETRICA

Grava			Arena			Arcilla y Limos
Gruesa	Fina		Gruesa	Media	Fina	



Observaciones:

Henry Obitán
 Tec. Laboratorio
 USAT



USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TÉCNICO DE LABORATORIO



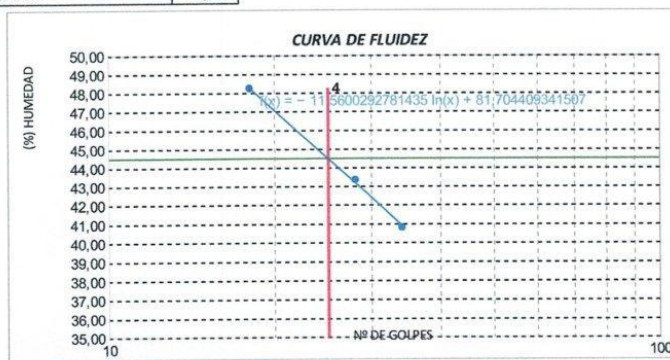
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex
TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
UBICACIÓN : La Victoria
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Calicata: C-02 Muestra: M-1 Profundidad: 0.10m. - 1.50m.
 0

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
N° de tarro	7	8	9	2	
N° de golpes	34	28	18		
Tarro + suelo húmedo	30,37	21,78	22,84	21,05	
Tarro + suelo seco	26,3	17,28	17,83	20,53	
Agua	4,07	4,5	5,01	0,52	
Peso del tarro	16,33	6,9	7,45	18,14	
Peso del suelo seco	9,97	10,38	10,38	2,39	
Porcentaje de humedad	40,82	43,35	48,27	21,76	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	44,49
Límite Plástico	21,76
Índice de Plasticidad	22,74



Observaciones:

Henry
Radeneyn
 Obilitas
 Tac. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TECNICO DE LABORATORIO

FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex
 ESCUELA : Ingeniería Civil

LUGAR : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 FECHA DE EMISIÓN : Chiclayo, 2024

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

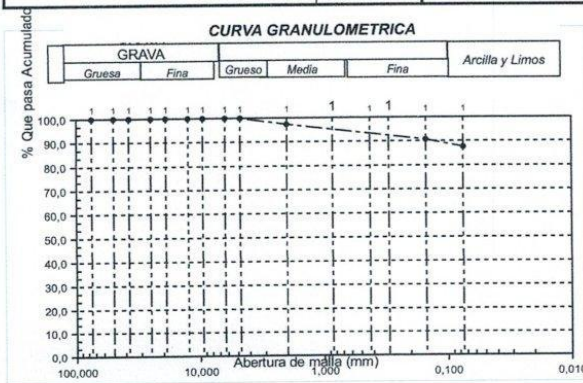
Calicata: C-02

Muestra: M-1

Profundidad: 0.10m. - 1.50m.


Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Que pasa	Retenido
3"	75,000	0,0	100,0
2"	50,000	0,0	100,0
1 1/2"	37,500	0,0	100,0
1"	25,000	0,0	100,0
3/4"	19,000	0,0	100,0
1/2"	12,500	0,0	100,0
3/8"	9,500	0,0	100,0
1/4"	6,300	0,0	100,0
N° 4	4,750	0,0	100,0
N° 10	2,000	2,6	97,4
N° 20	0,850	4,7	95,3
N° 50	0,300	6,1	93,9
N° 100	0,150	9,3	90,7
N° 200	0,075	12,4	87,6
Distribución granulométrica			
% Grava	G.G. %	0,0	
	G.F. %	0,0	0,0
% Arena	A.G. %	2,6	
	A.M. %	3,2	
	A.F. %	6,6	12,4
% Arcilla y Limo		87,6	87,6
Total		100,0	100,0
Contenido de Humedad		16,5	

CURVA DE FLUIDEZ	
Limite líquido (LL)	44,49 (%)
Limite Plástico (LP)	21,76 (%)
Índice Plástico (IP)	22,74 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	CL
Descripción del suelo	
Arcilla de baja plasticidad	
Clasificación (AASHTO)	A-7-6 (14)
Descripción	
MALO	



Henry Madrigal Obilias
 Titulo: Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex

TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria

UBICACIÓN : La Victoria

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico


NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

Calicata: C-03 Muestra: M-1 Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA	
3"	75,000	0,0	0,0	0,0	100,0	PESO TOTAL : 300,00 g.
2 1/2"	63,000	0,0	0,0	0,0	100,0	PESO LAVADO : 24,46 g.
2"	50,000	0,00	0,0	0,0	100,0	PESO FINO : 300,00 g.
1 1/2"	37,500	0,00	0,0	0,0	100,0	LIMITE LIQUIDO : 55,1 %
1"	25,000	0,00	0,0	0,0	100,0	LIMITE PLASTICO : 27,07 %
3/4"	19,000	0,00	0,0	0,0	100,0	INDICE PLASTICIDAD : 27,99 %
1/2"	12,500	0,00	0,0	0,0	100,0	CLASE. AASHTO : A-7-6 (18)
3/8"	9,500	0,00	0,0	0,0	100,0	CLASE. SUCS : CH
1/4"	6,300	0,00	0,0	0,0	100,0	DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº4	4,750	0,00	0,0	0,0	100,0	<i>Arcilla de alta plasticidad</i>
Nº10	2,360	2,69	0,9	0,9	99,1	Ensayo Malla Nº200
Nº20	1,180	4,22	1,4	2,3	97,7	
N40	0,600	2,10	0,7	3,0	97,0	% HUMEDAD
Nº50	0,300	0,79	0,3	3,3	96,7	
Nº100	0,150	4,98	1,7	5,0	95,0	MODULO DE FINEZA : 0,145
Nº200	0,075	9,68	3,2	8,2	91,8	Coef. Uniformidad : 1,1
< Nº 200	FONDO	275,54	91,8	100,0	0,0	Coef. Curvatura : 1,1

CURVA GRANULOMETRICA

Grava		Arena			Arcilla y Limos
Gruesa	Fina	Gruesa	Media	Fina	



Abertura de malla (mm)

Observaciones:

[Signature]
 Henry Rivadeneyra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT


USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 2024

CALICATA : C-2
 MUESTRA : M-1
 PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

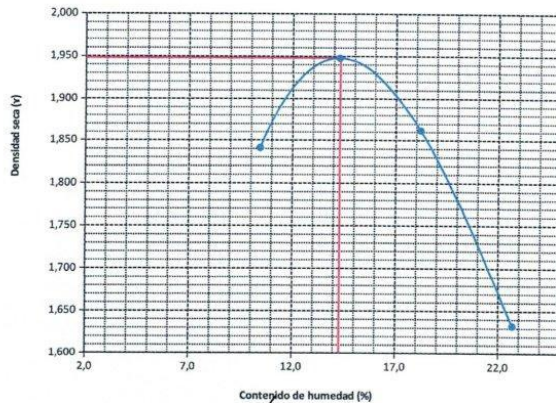
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5742	5920	5897	5714
Peso del molde	g.	3864	3864	3864	3864
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1878	2056	2033	1850
Volumen del molde	cm ³	923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2,033	2,226	2,201	2,003

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	179,90	176,20	134,57	118,23
Peso del suelo seco + tara	g.	165,59	157,76	118,22	101,62
Peso de tara	g.	28,37	28,48	28,41	28,39
Peso de agua	g.	14,31	18,44	16,35	16,61
Peso de suelo seco	g.	137,22	129,28	89,81	73,23
Contenido de agua	%	10,4	14,3	18,2	22,68
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1,841	1,948	1,862	1,632

DENSIDAD MAXIMA SECA	1,948	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	14,30	%


GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Rivadeneyra Obittas
 Tec. Laboratorio USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Salazar Silva Alex

TESIS : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria

UBICACIÓN : La Victoria

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico


NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

Calicata: C-03 Muestra: M-1 Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA	
3"	75,000	0,0	0,0	0,0	100,0	PESO TOTAL : 300,00 g.
2 1/2"	63,000	0,0	0,0	0,0	100,0	PESO LAVADO : 24,46 g.
2"	50,000	0,00	0,0	0,0	100,0	PESO FINO : 300,00 g.
1 1/2"	37,500	0,00	0,0	0,0	100,0	LIMITE LIQUIDO : 55,1 %
1"	25,000	0,00	0,0	0,0	100,0	LIMITE PLASTICO : 27,07 %
3/4"	19,000	0,00	0,0	0,0	100,0	INDICE PLASTICIDAD : 27,99 %
1/2"	12,500	0,00	0,0	0,0	100,0	CLASE. AASHTO : A-7-6 (18)
3/8"	9,500	0,00	0,0	0,0	100,0	CLASE. SUCS : CH
1/4"	6,300	0,00	0,0	0,0	100,0	DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº4	4,750	0,00	0,0	0,0	100,0	<i>Arcilla de alta plasticidad</i>
Nº10	2,360	2,69	0,9	0,9	99,1	Ensayo Malla Nº200
Nº20	1,180	4,22	1,4	2,3	97,7	
N40	0,600	2,10	0,7	3,0	97,0	% HUMEDAD
Nº50	0,300	0,79	0,3	3,3	96,7	
Nº100	0,150	4,98	1,7	5,0	95,0	MODULO DE FINEZA : 0,145
Nº200	0,075	9,68	3,2	8,2	91,8	Coef. Uniformidad : 1,1
< Nº 200	FONDO	275,54	91,8	100,0	0,0	Coef. Curvatura : 1,1


CURVA GRANULOMETRICA

Grava		Arena			Arcilla y Limos
Gruesa	Fina	Gruesa	Media	Fina	



Abertura de malla (mm)

Observaciones:


 Henry Rivadeneyra Obillas
 Tec. Laboratorio USAT


 USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Tesista : Salazar Silva Alex
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria"
 Lugar : Distrito de La Victoria, Chiclayo, Lambayeque
 Fecha de emisión : La Victoria del 2024

ENSAYO : Peso específico relativo de sólidos (G_s)-Material que pasa la malla N° 4
 REFERENCIA : NTP 339.131 ASTM D - 854

	C-01	C-02	C-03	
1. N° de fiola	F-2	F-3	F-2	
2. Peso de la fiola	g. 89,71	91,99	90,15	
3. Peso de la muestra de suelo - seco	g. 50,0	50,0	50,0	
4. Peso de la muestra de suelo seco + peso de la fiol (2+3)	g. 139,7	142,0	140,2	
5. Peso de la muestra + Fiola + agua	g. 369,0	383,6	382,9	
6. Peso de la fiola + peso de agua	g. 338,6	352,9	353,0	
7. Peso específico relativo de sólidos (G_s) (3)/((3+6)-5) g/cm ³	2,551	2,591	2,488	

OBSERVACIONES :

- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



 TÉCNICO DE LABORATORIO

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : Salazar Silva Alex
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria"
Lugar : Distrito de La Victoria, Chiclayo, Lambayeque
Fecha de emisión : La Victoria del 2024

ENSAYO : Peso específico relativo de sólidos (G_s)-Material que pasa la malla N° 4
REFERENCIA : NTP 339.131 ASTM D - 854

	C-01	C-02	C-03	
1. N° de fiola	F-2	F-3	F-2	
2. Peso de la fiola	g. 89,71	g. 91,99	g. 90,15	
3. Peso de la muestra de suelo - seco	g. 50,0	g. 50,0	g. 50,0	
4. Peso de la muestra de suelo seco + peso de la fiol (2+3)	g. 139,7	g. 142,0	g. 140,2	
5. Peso de la muestra + Fiola + agua	g. 369,0	g. 383,2	g. 383,4	
6. Peso de la fiola + peso de agua	g. 338,9	g. 352,9	g. 353,0	
7. Peso específico relativo de sólidos (G_s) $(3)/((3+6)-5)$ g/cm ³	2,513	2,538	2,551	

OBSERVACIONES :

- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.



Tesista : Salazar Silva Alex
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria"
 Lugar : Distrito de La Victoria, Chiclayo, Lambayeque
 Fecha de emisión : La Victoria del 2024

ENSAYO : Peso específico relativo de sólidos (G_s)-Material que pasa la malla N° 4
 REFERENCIA : NTP 339.131 ASTM D - 854

	C-01	C-02	C-03	
1. N° de fiola	F-2	F-3	F-2	
2. Peso de la fiola	89,71	91,99	90,15	
3. Peso de la muestra de suelo - seco	50,0	50,0	50,0	
4. Peso de la muestra de suelo seco + peso de la fiol (2+3)	139,7	142,0	140,2	
5. Peso de la muestra + Fiola + agua	369,9	376,4	381,4	
6. Peso de la fiola + peso de agua	339,6	345,9	351,3	
7. Peso específico relativo de sólidos (G _s) (3)/((3+6)-5) g/cm³	2,538	2,564	2,506	

OBSERVACIONES :

- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



 TÉCNICO DE LABORATORIO

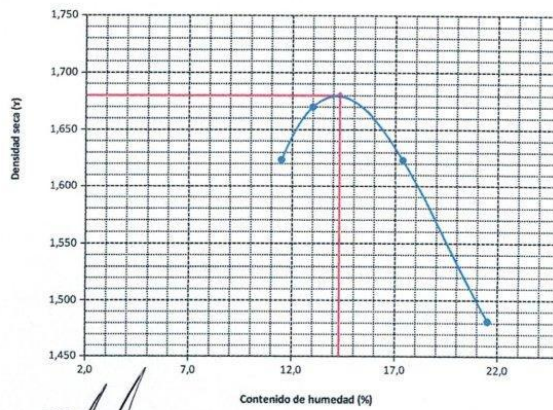
SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 ple-lbf/ple³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

CALICATA : C-3
 MUESTRA : **M-1 - ADICION 0.6%FPP+8%PPP** PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

Número de ensayo	6	10	14	18
Peso del suelo + molde	g. 5536	5607	5624	5527
Peso del molde	g. 3864	3864	3864	3864
Peso del suelo húmedo compactado	g. 1672	1743	1760	1663
Volumen del molde	cm ³ 923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	g/cm ³ 1,810	1,887	1,905	1,800
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Nº Recipiente	6	10	14	18
Peso del suelo húmedo + tara	g. 71,25	68,12	75,68	82,24
Peso del suelo seco + tara	g. 65,59	62,49	67,34	72,19
Peso de tara	g. 16,31	19,16	19,32	25,48
Peso de agua	g. 5,66	5,63	8,34	10,05
Peso de suelo seco	g. 49,28	43,33	48,02	46,71
Contenido de agua	% 11,5	13,0	17,4	21,52
Peso volumétrico seco	g/cm ³ 1,623	1,670	1,623	1,481
DENSIDAD MAXIMA SECA	1,680	g/cm ³		
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	14,30	%		

GRAFICO DEL PROCTOR



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

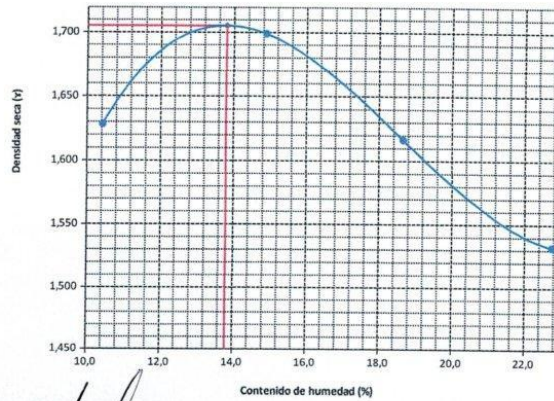
CALICATA : C-2
 MUESTRA : M-1 ADICION 0.4%PPP+8%PPP PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

Número de ensayo	6	10	14	18
Peso del suelo + molde	5525	5667	5636	5601
Peso del molde	3864	3864	3864	3864
Peso del suelo húmedo compactado	1661	1803	1772	1737
Volumen del molde	923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	1,798	1,952	1,918	1,880

CONTENIDO DE HUMEDAD				
Nº Recipiente	6	10	14	18
Peso del suelo húmedo + tara	39,73	59,95	91,93	74,98
Peso del suelo seco + tara	37,33	55,75	85,56	65,59
Peso de tara	14,30	27,53	51,42	24,31
Peso de agua	2,4	4,2	6,37	9,39
Peso de suelo seco	23,03	28,22	34,14	41,28
Contenido de agua	10,4	14,9	18,7	22,75
Peso volumétrico seco	1,628	1,699	1,616	1,532

DENSIDAD MAXIMA SECA	1,705	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	13,80	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Obdelyra Oblitas
 Henry Obdelyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 USAT Universidad Católica San Antonio de Callao

LAMBAYEQUE STATE UNIVERSITY ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 ple-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

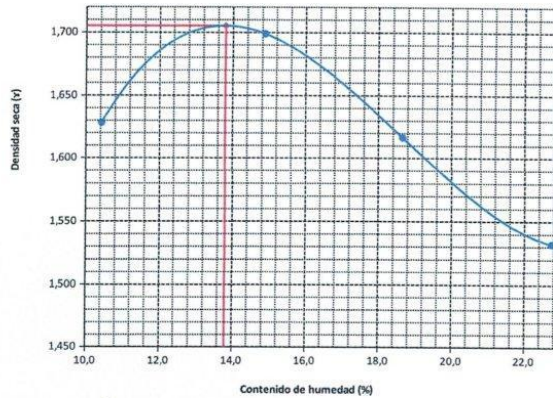
CALICATA : C-2
 MUESTRA : M-1 ADICION 0.4%PPP+8%PPP PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

Número de ensayo	6	10	14	18
Peso del suelo + molde	g. 5525	5667	5636	5601
Peso del molde	g. 3864	3864	3864	3864
Peso del suelo húmedo compactado	g. 1661	1803	1772	1737
Volumen del molde	cm ³ 923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	g/cm ³ 1,798	1,952	1,918	1,880

CONTENIDO DE HUMEDAD				
Nº Recipiente	6	10	14	18
Peso del suelo húmedo + tara	g. 39,73	59,95	91,93	74,98
Peso del suelo seco + tara	g. 37,33	55,75	85,56	65,59
Peso de tara	g. 14,30	27,53	51,42	24,31
Peso de agua	g. 2,4	4,2	6,37	9,39
Peso de suelo seco	g. 23,03	28,22	34,14	41,28
Contenido de agua	% 10,4	14,9	18,7	22,75
Peso volumétrico seco	g/cm ³ 1,628	1,699	1,616	1,532

DENSIDAD MAXIMA SECA	1,705	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	13,80	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Rinadeneyro Oblitas
 Henry Rinadeneyro Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica del Perú
 Instituto de Ingeniería y Tecnología

USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, COMPRESIÓN Y ENSAYOS DE MATERIALES
 TECNICO DE LABORATORIO

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³)) N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

CAUCATA: C-2
 MUESTRA: M-1 ADICION 0.4%FPP+8%PPP PROFUNDIDAD: 0.10 m - 1.50 m

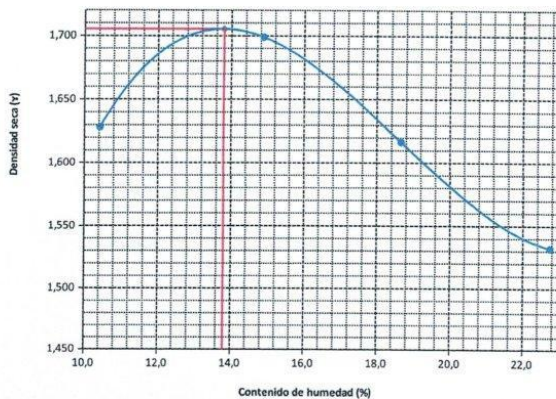
Número de ensayo	6	10	14	18
Peso del suelo + molde	5525	5667	5636	5601
Peso del molde	3864	3864	3864	3864
Peso del suelo húmedo compactado	1661	1803	1772	1737
Volumen del molde	923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	1,798	1,952	1,918	1,880

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente	6	10	14	18
Peso del suelo húmedo + tara	39,73	59,95	91,93	74,98
Peso del suelo seco + tara	37,33	55,75	85,56	65,59
Peso de tara	14,30	27,53	51,42	24,31
Peso de agua	2,4	4,2	6,37	9,39
Peso de suelo seco	23,03	28,22	34,14	41,28
Contenido de agua	10,4	14,9	18,7	22,75
Peso volumétrico seco	1,628	1,699	1,616	1,532

DENSIDAD MAXIMA SECA	1,705	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	13,80	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Rivadeneire Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


LABORATORIO DE SUELOS, GEOTECNIA Y FUNDACIONES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 ple-lbf/ple³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

CALICATA : C-2
 MUESTRA : M-2
 PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

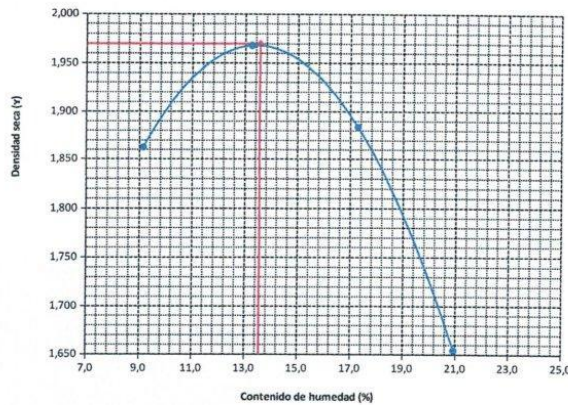
Número de ensayo	6	10	14	18
Peso del suelo + molde	5742	5923	5905	5712
Peso del molde	3864	3864	3864	3864
Peso del suelo húmedo compactado	1878	2059	2041	1848
Volumen del molde	923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	2,033	2,229	2,209	2,000

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente	6	10	14	18
Peso del suelo húmedo + tara	109,38	128,38	156,93	138,20
Peso del suelo seco + tara	107,33	124,56	151,58	130,22
Peso de tara	84,91	95,71	120,65	92,11
Peso de agua	2,05	3,82	5,35	7,98
Peso de suelo seco	22,42	28,85	30,93	38,11
Contenido de agua	9,1	13,2	17,3	20,93
Peso volumétrico seco	1,862	1,968	1,884	1,654

DENSIDAD MAXIMA SECA	1,970	g/cm3
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	13,55	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Sivadeneyro Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica
 Lima - Perú



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

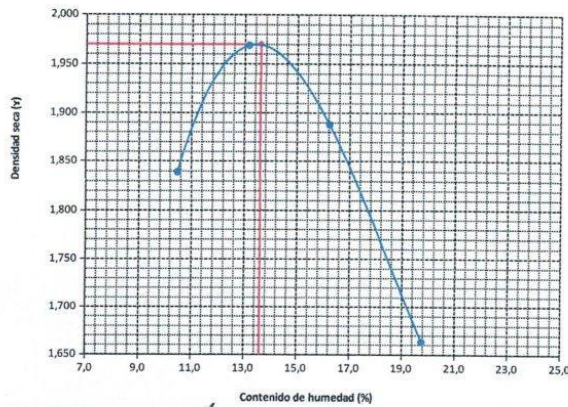
CALCATA : C-2
 MUESTRA : M-3
 PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

Número de ensayo	6	10	14	18
Peso del suelo + molde	5741	5922	5891	5704
Peso del molde	3864	3864	3864	3864
Peso del suelo húmedo compactado	1877	2058	2027	1840
Volumen del molde	923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	2,032	2,228	2,194	1,992

CONTENIDO DE HUMEDAD				
Nº Recipiente	6	10	14	18
Peso del suelo húmedo + tara	70,86	89,36	117,78	99,05
Peso del suelo seco + tara	68,16	85,56	112,65	91,55
Peso de tara	42,42	56,62	81,08	53,55
Peso de agua	2,70	3,81	5,12	7,50
Peso de suelo seco	25,74	28,94	31,57	38,00
Contenido de agua	10,5	13,2	16,2	19,75
Peso volumétrico seco	1,839	1,969	1,888	1,663

DENSIDAD MAXIMA SECA	1,970	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	13,60	%

GRAFICO DEL PROCTOR



[Firma]
 Henry Obilias
 Obilias
 Tec. Laboratorio
 USAT



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

CALICATA : C-2
 MUESTRA : M-2
 PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

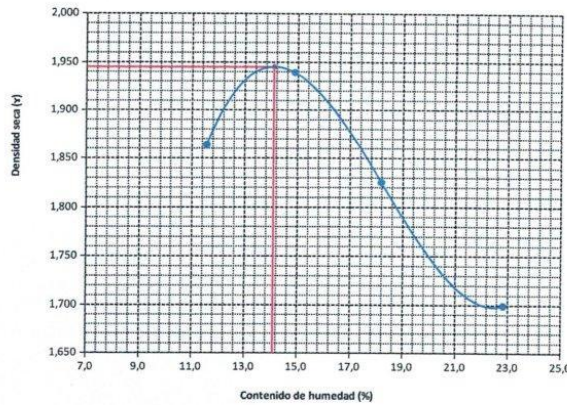
Número de ensayo	6	10	14	18
Peso del suelo + molde	5785	5922	5857	5792,00
Peso del molde	3864	3864	3864	3864
Peso del suelo húmedo compactado	1921	2058	1993	1928
Volumen del molde	923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	2,079	2,228	2,157	2,087

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente	6	10	14	18
Peso del suelo húmedo + tara	140,00	156,46	125,49	94,52
Peso del suelo seco + tara	128,42	139,88	110,54	82,20
Peso de tara	28,33	28,50	28,36	28,22
Peso de agua	11,58	16,58	14,95	12,32
Peso de suelo seco	100,09	111,38	82,18	53,98
Contenido de agua	11,6	14,9	18,2	22,82
Peso volumétrico seco	1,864	1,939	1,825	1,699

DENSIDAD MAXIMA SECA	1,945	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	14,10	%

GRAFICO DEL PROCTOR



[Firma manuscrita]
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tac. Laboratorio USAT
 Universidad Católica de Lambayeque

TÉCNICO DE LABORATORIO

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

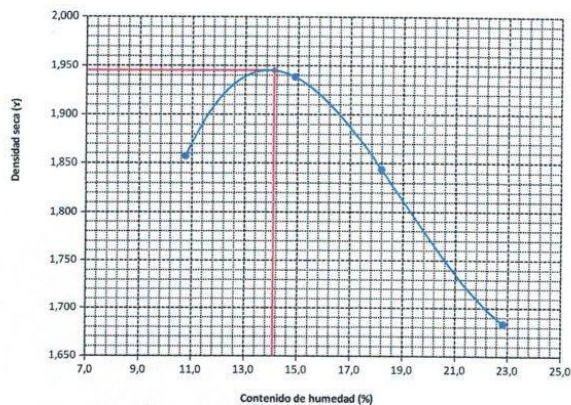
CALICATA : **C-2**
 MUESTRA : **M-3** PROFUNDIDAD : **0.10 m - 1.50 m**

Número de ensayo	6	10	14	18
Peso del suelo + molde	5764	5921	5877	5774,00
Peso del molde	3864	3864	3864	3864
Peso del suelo húmedo compactado	1900	2057	2013	1910
Volumen del molde	923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	2,057	2,227	2,179	2,067

CONTENIDO DE HUMEDAD				
Nº Recipiente	6	10	14	18
Peso del suelo húmedo + tara	139,20	156,46	125,49	94,52
Peso del suelo seco + tara	128,42	139,88	110,54	82,20
Peso de tara	28,33	28,50	28,36	28,22
Peso de agua	10,78	16,58	14,95	12,32
Peso de suelo seco	100,09	111,38	82,18	53,98
Contenido de agua	10,8	14,9	18,2	22,82
Peso volumétrico seco	1,857	1,938	1,844	1,683

DENSIDAD MAXIMA SECA	1,945	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	14,10	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Rivadeneiro Obllias
 Tec. Laboratorio USAT



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lb/ft³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

CALICATA : **C-3**
 MUESTRA : **M-2**
 PROFUNDIDAD : **0.10 m - 1.50 m**

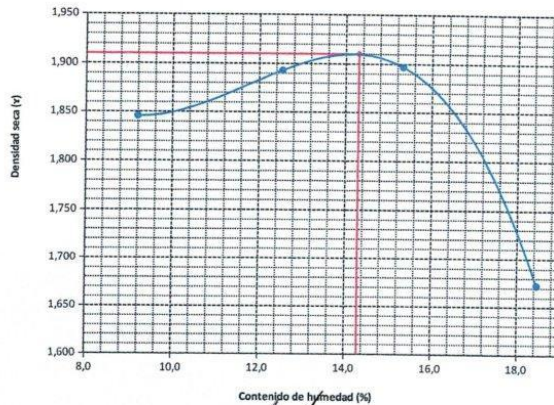
Número de ensayo	1	2	3	4
Peso del suelo + molde	5716	5832	5885	5694
Peso del molde	3854	3864	3864	3864
Peso del suelo húmedo compactado	1862	1968	2021	1830
Volumen del molde	923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	2,016	2,130	2,188	1,981

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente	1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	235,29	145,62	161,82	168,57
Peso del suelo seco + tara	219,67	132,56	144,10	146,73
Peso de tara	49,80	28,37	28,48	28,41
Peso de agua	15,62	13,06	17,72	21,84
Peso de suelo seco	169,87	104,19	115,62	118,32
Contenido de agua	9,2	12,5	15,3	18,5
Peso volumétrico seco	1,846	1,893	1,897	1,672

DENSIDAD MAXIMA SECA	1,910	g/cm3
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	14,30	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tac. Laboratorio USAT



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

CALICATA : **C-3**
 MUESTRA : **M-2**
 PROFUNDIDAD : **0.10 m - 1.50 m**

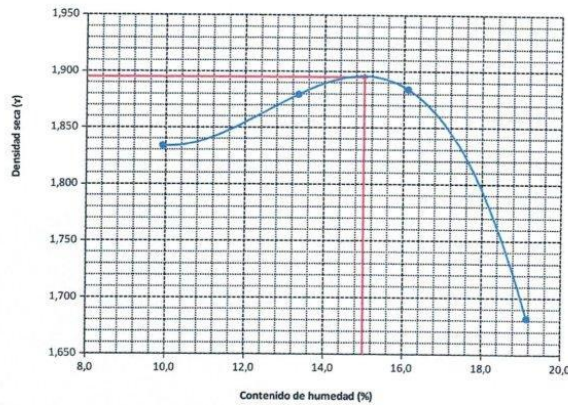
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5716	5832	5885	5715
Peso del molde	g.	3854	3864	3864	3864
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1862	1968	2021	1851
Volumen del molde	cm ³	923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2,016	2,130	2,188	2,004

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	230,59	146,02	158,52	170,57
Peso del suelo seco + tara	g.	214,17	132,06	141,86	147,73
Peso de tara	g.	48,60	27,45	38,48	28,41
Peso de agua	g.	16,42	13,96	16,66	22,84
Peso de suelo seco	g.	165,57	104,61	103,38	119,32
Contenido de agua	%	9,9	13,3	16,1	19,1
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1,834	1,879	1,884	1,682

DENSIDAD MAXIMA SECA	1,895	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	15,00	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Rivaldeneyra Obtuas
 Tec. Laboratorio USAT



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

CALICATA : C-2
 MUESTRA : M-1
 PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

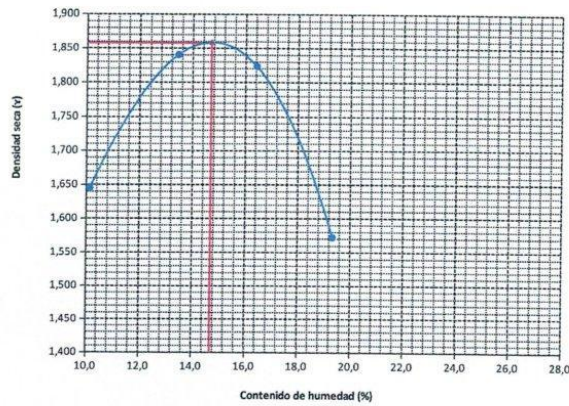
Número de ensayo	1	2	3	4
Peso del suelo + molde	5528	5783	5815	5587
Peso del molde	3854	3854	3854	3854
Peso del suelo húmedo compactado	1674	1929	1961	1733
Volumen del molde	923,83	923,83	923,83	923,83
Peso del volumen húmedo	1,812	2,088	2,123	1,876

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente	1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	217,05	154,08	129,54	109,50
Peso del suelo seco + tara	201,66	139,18	115,27	96,36
Peso de tara	49,82	28,47	28,38	28,41
Peso de agua	15,39	14,9	14,27	13,14
Peso de suelo seco	151,84	110,71	86,89	67,95
Contenido de agua	10,1	13,5	16,4	19,34
Peso volumétrico seco	1,645	1,840	1,823	1,572

DENSIDAD MAXIMA SECA	1,858	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	14,70	%

GRÁFICO DEL PROCTOR



Henry Madeneyra Obiltras
 Henry Madeneyra Obiltras
 Tec. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras de polipropileno en La
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, junio del 2025

CAUCATA : C-01
MUESTRA : 0,6 PROFUNDIDAD : 1.00 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN																	
		A-17				A-8				A-14							
Nº Molde		5				5				5							
Nº Capa		56				25				12							
CONDICIÓN DE LA MUESTRA		Saturado		Saturado		Saturado		Saturado		Saturado							
Peso molde + Suelo húmedo		12928	13202	12380	12590	12298	12608	12298	12608	12298	12608						
Peso de molde (g)		8520	8520	7903	7903	8690	8690	8690	8690	8690	8690						
Peso del suelo húmedo (g)		4408	4682	4477	4687	3608	3918	3608	3918	3608	3918						
Volumen del molde (cc)		1785	1785	2112	2112	2112	2112	2112	2112	2112	2112						
Densidad húmeda (g/cc)		2,469	2,623	2,120	2,219	1,708	1,855	1,708	1,855	1,708	1,855						
% de humedad		13,71	20,07	16,55	21,33	14,53	23,25	14,53	23,25	14,53	23,25						
Densidad seca (g/cc)		2,172	2,185	1,819	1,829	1,492	1,505	1,492	1,505	1,492	1,505						
HUMEDAD																	
Tarro Nº		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
Tarro + Suelo húmedo (gr.)		343,8	343,8	4682	4682	489,5	489,5	4687	4687	302,0	302,0						
Tarro + Suelo seco (gr.)		308,8	308,8	4408	4408	428,0	428,0	4477	4477	270,0	270,0						
Peso del Agua (gr.)		35,0	35,0	274,0	274,0	61,5	61,5	210,0	210,0	32,0	32,0						
Peso del tarro (gr.)		53,63	53,63	0	0	56,5	56,5	0	0	49,82	49,82						
Peso del suelo seco (gr.)		255,2	255,2	4314,3	4314,3	371,5	371,5	4397,0	4397,0	220,2	220,2						
% de humedad		13,71	13,71	20,07	20,07	16,55	16,55	21,33	21,33	14,53	14,53						
Promedio de Humedad (%)		13,71	20,07	20,07	20,07	16,55	16,55	21,33	21,33	14,53	23,25						
EXPANSIÓN																	
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	EXPANSIÓN			EXPANSIÓN			EXPANSIÓN								
			DIAL	Pulg	%	DIAL	Pulg	%	DIAL	Pulg	%						
31/05/2023	14,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
01/06/2023	14,3	24	0,2	0,005	0	0,6	0,015	0	0,35	0,009	0						
02/06/2023	14,3	48	2,1	0,053	0	2,8	0,070	0	2,6	0,065	0						
03/06/2023	14,3	72	3,6	0,090	0	3,1	0,078	0	3,6	0,090	0						
04/06/2023	14,3	96	3,65	0,091	0	4,2	0,105	0	4,4	0,110	0						
			4,57	total	2,00	4,57	total	2,30	4,57	total	2,41						
PENETRACIÓN																	
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº A-17				MOLDE Nº A-8				MOLDE Nº A-14						
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN				
			Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%			
mm.	pulg.	Lbf/in2															
0,000	0,000	0'00"	0	2			0	2				0	2				
0,640	0,025	0'30"	8	22			7	19				8	22				
1,270	0,050	1'00"	13	34			12	32				11	29				
1,910	0,075	1'30"	16	41			15	39				14	36				
2,540	0,100	2'00"	18	46	52,8	5,3	17	44	45,8	4,6	16	41	40,1	4,0			
3,810	0,150	3'00"	23	58			20	51				19	49				
5,080	0,200	4'00"	29	73	108,5	7,2	25	63	79,5	5,3	21	54	57,9	3,9			
6,350	0,250	5'00"	36	90			30	78				25	63				
7,620	0,300	6'00"	43	107			36	90				28	71				
10,160	0,400	8'00"	62	154			40	100				36	90				
12,700	0,500	10'00"	85	210			57	141				45	112				

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria"
 Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, junio del 2025

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883
 GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

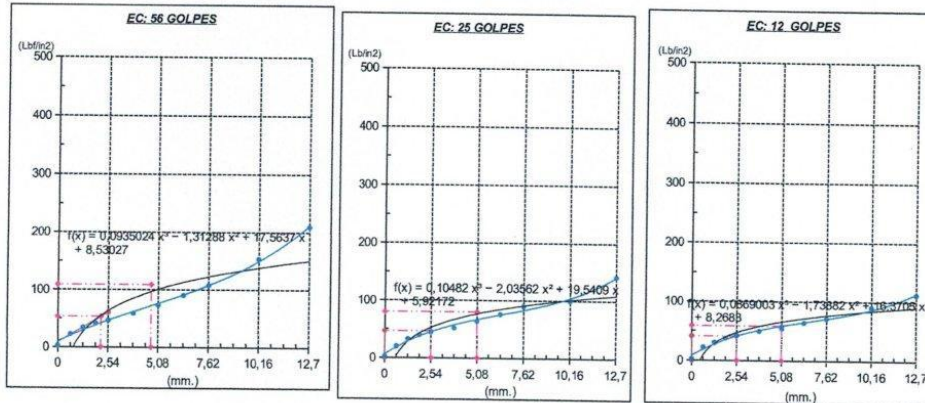


GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	2,162 g./cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	2,054 g./cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	13,88 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	5 %	7 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	5 %	6 %



Henry Ruedeneyra Obitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, junio del 2025

CALICATA : C-01
MUESTRA : 0,6 PROFUNDIDAD : 1.00 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN															
Nº Molde	A-16				A-2				A-5						
Nº Capa	5				5				5						
Nº Golpes por capa	56				25				12						
CONDICION DE LA MUESTRA															
	Saturado		Saturado		Saturado		Saturado		Saturado		Saturado				
Peso molde + Suelo húmedo	13828	14110	12669	12790	12278	12760									
Peso de molde (g)	8621	8621	8395	8395	8453	8453									
Peso del suelo húmedo (g)	5207	5489	4274	4395	3825	4307									
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113									
Densidad húmeda (g/cc)	2,456	2,589	2,024	2,081	1,810	2,038									
% de humedad	14,16	19,70	15,40	18,28	15,95	28,74									
Densidad seca (g/cc)	2,151	2,163	1,754	1,759	1,561	1,583									
HUMEDAD															
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	189,5	189,5	5489	5489	240,0	240,0	4395	4395	210,0	210,0	4307,0	4307,0			
Tarro + Suelo seco (gr.)	173,0	173,0	5207	5207	214,0	214,0	4274	4274	186,0	186,0	3825,0	3825,0			
Peso del Agua (gr.)	16,5	16,5	282,0	282,0	26,0	26,0	121,0	121,0	24,0	24,0	482,0	482,0			
Peso del tarro (gr.)	56,5	56,5	0	0	45,2	45,2	0	0	35,5	35,5	0	0			
Peso del suelo seco (gr.)	116,5	116,5	5097,3	5097,3	168,8	168,8	4200,3	4200,3	150,5	150,5	3766,2	3766,2			
% de humedad	14,16	14,16	19,70	19,70	15,40	15,40	18,28	18,28	15,95	15,95	28,74	28,74			
Promedio de Humedad (%)	14,16	19,70	15,40	18,28	15,95	28,74									
EXPANSIÓN															
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN					
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%				
09/05/2023	14,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
10/05/2023	14,3	24	1,5	0,038	1,2	0,030	0,9	0,023	0,9	0,023	0,023				
11/05/2023	14,3	48	2,6	0,065	2,5	0,063	2,4	0,060	2,4	0,060	0,060				
12/05/2023	14,3	72	2,9	0,073	3,4	0,085	3,5	0,088	3,5	0,088	0,088				
13/05/2023	14,3	96	3,9	0,097	4,2	0,105	4,8	0,120	4,8	0,120	0,120				
			4,57	total 2,13	4,57	total 2,30	4,57	total 2,63	4,57	total 2,63	2,63				
PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN	TIEMPO STAND.	CARGA Lbf/in2	MOLDE Nº A-16				MOLDE Nº A-2				MOLDE Nº A-5				
			CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN					
mm.	pulg.		Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	
0,000	0,000	0'00"	0	2			0	2			0	2			
0,640	0,025	0'30"	8	22			8	22			8	22			
1,270	0,050	1'00"	15	39			13	34			12	32			
1,910	0,075	1'30"	20	51			18	46			16	41			
2,540	0,100	2'00"	1000	23	58	65,7	6,6	20	51	53,2	5,3	19	49	49,3	4,9
3,810	0,150	3'00"		27	68			26	66			25	63		
5,080	0,200	4'00"	1500	32	80	133,1	8,9	30	76	88,6	5,9	29	73	74,4	5,0
6,350	0,250	5'00"		33	83			31	78			32	80		
7,620	0,300	6'00"		36	90			35	88			37	93		
10,160	0,400	8'00"		46	115			44	110			42	105		
12,700	0,500	10'00"		53	132			52	129			51	127		

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TECNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Tesiista : Salazar Silva, Alex Junior
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria"
 Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, junio del 2025

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

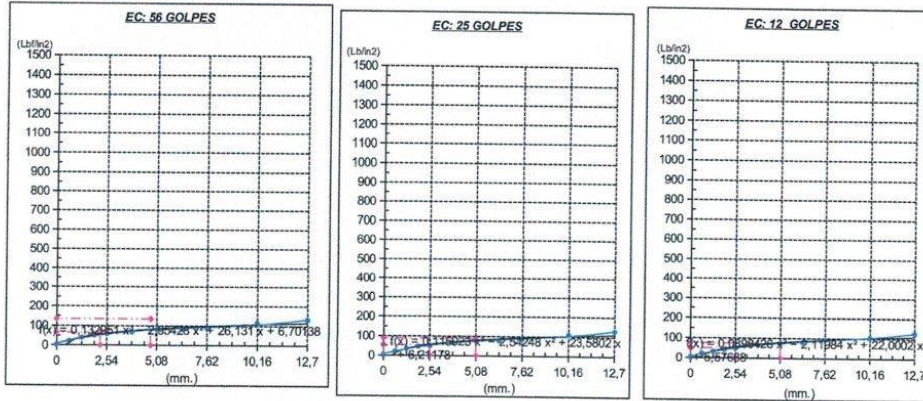


GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	2,162 g./cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	2,054 g./cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	13,88 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	7 %	9 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	6 %	7 %



Henry Rivadeneira Oblitas
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
 N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La
 Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, junio del 2025

CAUCATA : C-01
 MUESTRA : 0,75 PROFUNDIDAD : 1.00 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN														
Nº Molde	A-7				A-6				A-5					
Nº Capa	5				5				5					
Nº Golpes por capa	56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA														
	Saturado		Saturado		Saturado		Saturado		Saturado					
Peso molde + Suelo húmedo	12656	12880	12120	12390	12510	12790								
Peso de molde (g)	8741	8741	7840	7940	8738	8738								
Peso del suelo húmedo (g)	3915	4139	4280	4550	3772	4052								
Volumen del molde (cc)	1777	1777	2132	2132	2132	2132								
Densidad húmeda (g/cc)	2,203	2,329	2,008	2,134	1,769	1,901								
% de humedad	13,52	19,36	13,65	20,07	13,81	21,34								
Densidad seca (g/cc)	1,941	1,951	1,766	1,777	1,555	1,566								
HUMEDAD														
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	370,2	4139	168,9	168,9	4550	4550	416,6	416,6	4052,0	4052,0				
Tarro + Suelo seco (gr.)	333,9	3915	153,0	153,0	4280	4280	372,5	372,5	3772,0	3772,0				
Peso del Agua (gr.)	36,4	224,0	15,9	15,9	270,0	270,0	44,0	44,0	280,0	280,0				
Peso del tarro (gr.)	65,07	0	36,5	36,5	0	0	53,69	53,69	0	0				
Peso del suelo seco (gr.)	268,8	3840,5	116,5	116,5	4205,7	4205,7	318,9	318,9	3714,3	3714,3				
% de humedad	13,52	19,36	13,65	13,65	20,07	20,07	13,81	13,81	21,34	21,34				
Promedio de Humedad (%)	13,52	19,36	13,65	13,65	20,07	20,07	13,81	13,81	21,34	21,34				
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%			
09/05/2023	14,3	0	0,2	0	0	1	0	0	0,2	0	0			
10/05/2023	14,3	24	1,25	0,031		1,8	0,045		3,5	0,088				
11/05/2023	14,3	48	1,8	0,045		3,5	0,088		4,8	0,120				
12/05/2023	14,3	72	2,5	0,063		4,9	0,123		5,6	0,140				
13/05/2023	14,3	96	6,25	0,156		6,3	0,158		6,35	0,159				
			4,57	total	3,42	4,57	total	3,45	4,57	total	3,48			
PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN	TIEMPO STAND.	CARGA Lbf/in2	MOLDE Nº A-7				MOLDE Nº A-6				MOLDE Nº A-5			
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
			Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%
0,000	0,000	0'00"	0	2			0	2			0	2		
0,640	0,025	0'30"	16	41			12	30			7	19		
1,270	0,050	1'00"	27	68			22	55			16	41		
1,910	0,075	1'30"	34	85			28	69			21	54		
2,540	0,100	2'00"	51	127	106,7	10,7	43	106	104,8	10,5	34	85	95,9	9,6
3,810	0,150	3'00"	64	158			53	130			41	102		
5,080	0,200	4'00"	98	241	204,8	13,7	90	221	192,8	12,9	81	200	177,8	11,9
6,350	0,250	5'00"	104	256			95	234			86	212		
7,620	0,300	6'00"	112	276			102	251			92	227		
10,160	0,400	8'00"	136	334			117	288			98	241		
12,700	0,500	10'00"	145	356			123	302			101	249		

Henry Rivadeneyra Obilitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

TECNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria"
 Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, junio del 2025

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

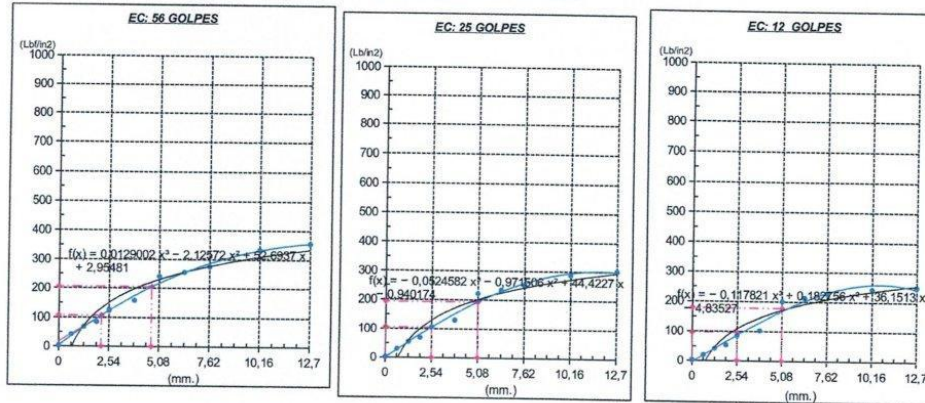


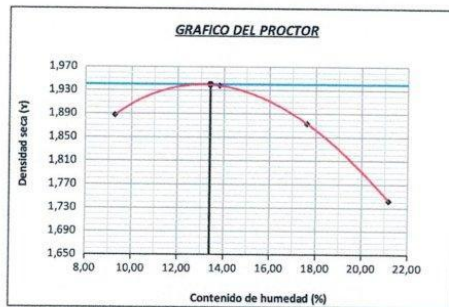
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1,940 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1,843 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	13,40 %

VALOR DEL C.B.R.

	2,54 cm.	5,08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	11 %	14 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	11 %	13 %



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAI

USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGÓN Y ACEROS DE MATERIAS
 TECNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
 N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La
 Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, junio del 2025

CALICATA : C-01
 MUESTRA : 0,75

PROFUNDIDAD : 1.00 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN														
Nº Molde		A-5				A-6				A-7				
Nº Capa		5				5				5				
Nº Golpes por capa		56				25				12				
CONDICIÓN DE LA MUESTRA														
		Saturado		Saturado		Saturado		Saturado		Saturado				
Peso molde + Suelo húmedo		12280	12620	12190	12680	11650	12110							
Peso de molde (g)		7671	7671	7840	7840	7855	7855							
Peso del suelo húmedo (g)		4609	4949	4350	4840	3795	4255							
Volumen del molde (cc)		2125	2125	2132	2132	2117	2117							
Densidad húmeda (g/cc)		2,169	2,329	2,040	2,270	1,793	2,010							
% de humedad		13,56	21,08	14,57	26,03	14,18	26,49							
Densidad seca (g/cc)		1,910	1,923	1,781	1,801	1,570	1,589							
HUMEDAD														
Tarro Nº		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Tarro + Suelo húmedo (gr.)		156,5	156,5	4949	4949	185,6	185,6	4840	4840	185,6	185,6			
Tarro + Suelo seco (gr.)		142,0	142,0	4609	4609	162,0	162,0	4350	4350	167,0	167,0			
Peso del Agua (gr.)		14,5	14,5	340,0	340,0	23,6	23,6	490,0	490,0	18,6	18,6			
Peso del tarro (gr.)		35,09	35,09	0	0	0	0	0	0	35,82	35,82			
Peso del suelo seco (gr.)		106,9	106,9	4522,6	4522,6	162,0	162,0	4273,9	4273,9	131,2	131,2			
% de humedad		13,56	13,56	21,08	21,08	14,57	14,57	26,03	26,03	14,18	14,18			
Promedio de Humedad (%)		13,56	21,08	14,57	26,03	14,18	26,49							
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%			
09/05/2023	14,3	0	0,5	0	0	0,9	0	0	0,5	0	0			
10/05/2023	14,3	24	2,5	0,063		1,8	0,045		1,2	0,030				
11/05/2023	14,3	48	4,6	0,115		2,6	0,065		2,9	0,073				
12/05/2023	14,3	72	5,8	0,145		3,8	0,095		4,5	0,113				
13/05/2023	14,3	96	6,21	0,155		5,95	0,149		6,42	0,161				
			4,57	total	3,40	4,57	total	3,26	4,57	total	3,51			
PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN	TIEMPO STAND.	CARGA Lbf/in2	MOLDE Nº A-5				MOLDE Nº A-6				MOLDE Nº A-7			
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
			Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%
0,000	0,000	0'00"	0	2			0	2			0	2		
0,640	0,025	0'30"	12	32			8	22			5	15		
1,270	0,050	1'00"	24	61			16	41			12	32		
1,910	0,075	1'30"	30	76			21	54			18	46		
2,540	0,100	2'00"	42	105	98,4	9,8	32	80	87,4	8,7	26	66	72,2	7,2
3,810	0,150	3'00"	56	139			40	100			32	80		
5,080	0,200	4'00"	92	227	185,2	12,3	86	212	171,8	11,5	76	188	152,9	10,2
6,350	0,250	5'00"	94	232			90	222			82	202		
7,620	0,300	6'00"	101	249			93	229			88	219		
10,160	0,400	8'00"	105	258			98	241			93	222		
12,700	0,500	10'00"	121	298			101	249			92	227		

Henry Rivadeneira Obillas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Santo Toribio de Mogrovejo

[Firma]
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La Victoria"
 Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, junio del 2025

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

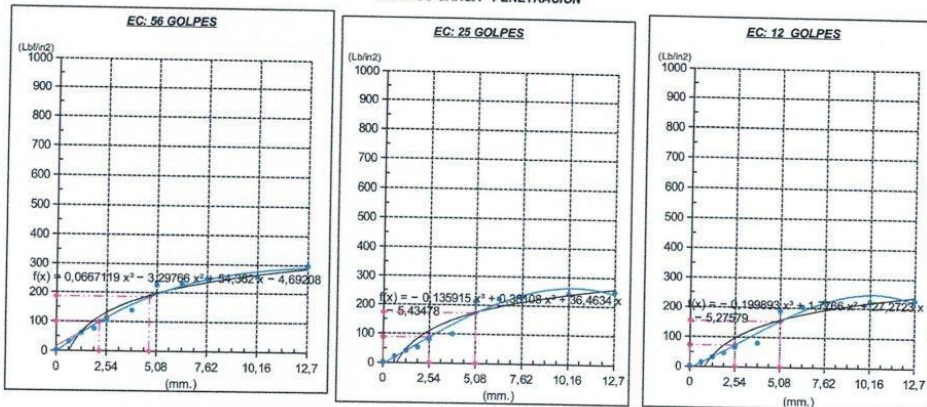


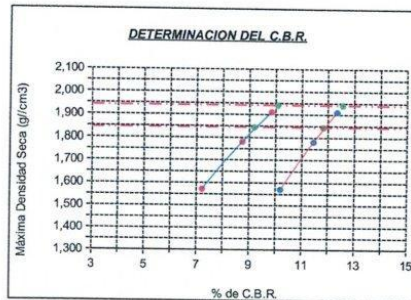
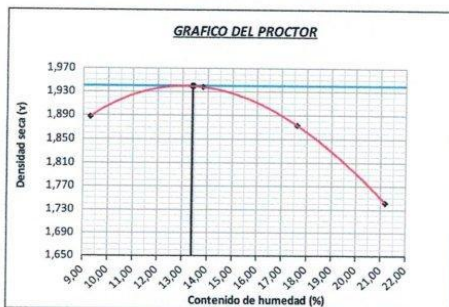
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1,940 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1,843 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	13,40 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	10 %	13 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	9 %	12 %



[Signature]
 Henry Rivadeneira Obitos
 Tec. Laboratorio USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y peletizado de polipropileno en La UCA"
Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, junio del 2025

CALICATA : C-01
MUESTRA : 0,75 PROFUNDIDAD : 1.00 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN																
Nº Molde		A-8				A-9				A-10						
Nº Capa		5				5				5						
Nº Golpes por capa		56				25				12						
CONDICION DE LA MUESTRA																
		Saturado		Saturado		Saturado		Saturado		Saturado						
Peso molde + Suelo húmedo		12590	12650	12590	12650	12120	12540	11220	11750	11220	11750					
Peso de molde (g)		7903	7903	7903	7903	7828	7828	7749	7749	7749	7749					
Peso del suelo húmedo (g)		4687	4747	4687	4747	4292	4712	3471	4001	3471	4001					
Volumen del molde (cc)		2119	2119	2119	2119	2125	2125	2133	2133	2133	2133					
Densidad húmeda (g/cc)		2,212	2,240	2,212	2,240	2,020	2,217	1,627	1,876	1,627	1,876					
% de humedad		14,24	15,55	14,24	15,55	13,66	23,62	14,44	29,93	14,44	29,93					
Densidad seca (g/cc)		1,936	1,939	1,936	1,939	1,777	1,794	1,422	1,444	1,422	1,444					
HUMEDAD																
Tarro Nº		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Tarro + Suelo húmedo (gr.)		145,6	145,6	474,7	474,7	154,6	154,6	471,2	471,2	165,8	165,8					
Tarro + Suelo seco (gr.)		132,0	132,0	468,7	468,7	141,5	141,5	429,2	429,2	150,0	150,0					
Peso del Agua (gr.)		13,6	13,6	60,0	60,0	13,1	13,1	420,0	420,0	15,8	15,8					
Peso del tarro (gr.)		36,5	36,5	0	0	45,6	45,6	0	0	40,6	40,6					
Peso del suelo seco (gr.)		95,5	95,5	4598,0	4598,0	95,9	95,9	4217,1	4217,1	109,4	109,4					
% de humedad		14,24	14,24	15,55	15,55	13,66	13,66	23,62	23,62	14,44	14,44					
Promedio de Humedad (%)		14,24	15,55	13,66	23,62	14,44	29,93									
EXPANSIÓN																
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN						
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%					
09/05/2023	14,3	0	0,9	0	0	0,8	0	0	0,6	0	0					
10/05/2023	14,3	24	3,6	0,090		2,6	0,065		2,8	0,070						
11/05/2023	14,3	48	4,5	0,113		3,5	0,088		3,9	0,097						
12/05/2023	14,3	72	5,8	0,145		4,8	0,120		4,2	0,105						
13/05/2023	14,3	96	6,42	0,161		6,23	0,156		6,5	0,163						
			4,57	total	3,51	4,57	total	3,41	4,57	total	3,56					
PENETRACIÓN																
PENETRACIÓN	TIEMPO STAND.	CARGA Lbf/in2	MOLDE Nº A-8				MOLDE Nº A-9				MOLDE Nº A-10					
			CORRECCIÓN				CORRECCIÓN				CORRECCIÓN					
			Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%		
0,000	0,000	0'00"	0	2					0	2						
0,640	0,025	0'30"	12	32					8	22			5	15		
1,270	0,050	1'00"	24	61					16	41			10	27		
1,910	0,075	1'30"	26	66					20	51			16	41		
2,540	0,100	2'00"	45	112	103,8	10,4			36	90	97,5	9,7	24	61	63,1	6,3
3,810	0,150	3'00"	56	139					58	144			36	90		
5,080	0,200	4'00"	91	224	199,9	13,3			82	202	178,2	11,9	52	129	133,5	8,9
6,350	0,250	5'00"	95	234					86	212			76	188		
7,620	0,300	6'00"	101	249					92	227			80	198		
10,160	0,400	8'00"	108	266					95	234			82	202		
12,700	0,500	10'00"	124	305					98	241			86	212		

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

USAT
LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
TECNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Tesista : Salazar Silva, Alex Junior
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante arcillosa adicionada con fibras y pelletizado de polipropileno en La Victoria"
 Ubicación : Dist. La Victoria, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, junio del 2025

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

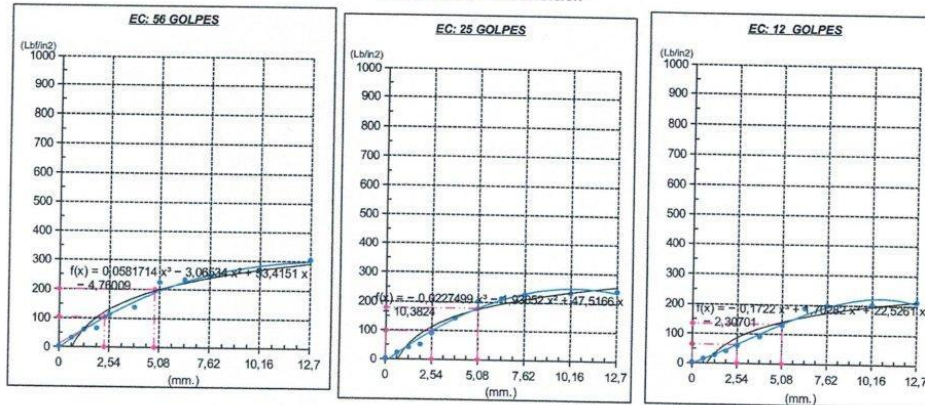


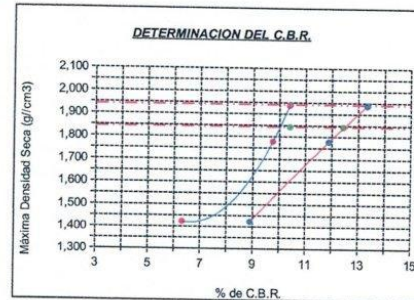
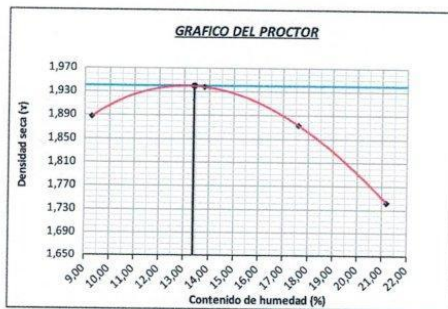
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1,940 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1,843 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	13,40 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	10 %	13 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	10 %	12 %



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

USAT
 TECNICO DE LABORATORIO

LINK DRIVE

<https://drive.google.com/drive/folders/1F3pvLNSFuLuG15dQ8HDayIneQhnQwgMQ?usp=sharing>