

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**EFFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE
PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS
REUTILIZABLES EN EL MÓDULO DE SOPORTE
DE SUELOS COHESIVOS**

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

Autor: Bach. Crisostomo Llallico Cinthya Yomira

Asesor Metodológico: Mg. Reynoso Oscanoa, Javier

Asesor Temático: Mg. Cárdenas Capcha, Jesus Iden

Línea de Investigación Institucional:

Nuevas Tecnologías y Procesos

Huancayo – Perú

2024

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera
Presidente

Mg. Alcides Luis Fabian Brañez
Jurado

Mg. Henry Gustavo Pautrat Egoavil
Jurado

Ing. Nataly Lucia Córdova Zorrilla
Jurado

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza
Secretario Docente

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en el camino, con su gran sabidura.

A mi madre Hermelinda Sofia Llallico Nuñez, por ser el gran pilar en mi vida y mi desarrollo profesional. Por estar siempre presente a mi lado, reconfortando mis sueños y anhelos.

Crisostomo Llallico Cinthya Yomira

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a mis asesores, Mg. Reynoso Oscanoa Javier y Mg. Cárdenas Capcha Jesús, ingenieros y profesionales preparados que depositaron su confianza en mí, así como su guía y enseñanza en la elaboración de esta presente investigación.

A la Universidad Peruana Los Andes, por haberme forjado en la carrera profesional de Ingeniería Civil.

Al laboratorio especializado ANCCOR, por su apoyo constante en la elaboración de los ensayos realizados.

A mis amigos gratos, cómplices en mis proyectos y experiencias memorables.

Crisostomo Llallico Cinthya Yomira

CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0083 - FI -2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la **TESIS**; Titulado:

EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN EL MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : **BACH. CRISOSTOMO LLALLICO CINTHYA YOMIRA**

Facultad : **INGENIERÍA**

Escuela Académica : **INGENIERÍA CIVIL**

Asesor(a) Metodología : **MG. REYNOSO OSCANO JAVIER IDEN**

Asesor(a) Tematico : **MG. CARDENAS CAPCHA JESUS**

Fue analizado con fecha **14/02/2024**; con **103 págs.**; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

Excluye Bibliografía.

X

Excluye citas.

X

Excluye Cadenas hasta 20 palabras.

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de **17** %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.**

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.

Huancayo, 19 de febrero de 2024.



DR. HILARIO ROMERO GIRON
JEFE (e)

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
CONTENIDO	vi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	16
CAPITULO I.....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1 Descripción De La Realidad Problemática.....	18
1.2 Delimitación Del Problema	21
1.2.1 Delimitación Espacial.....	21
1.2.2 Delimitación Temporal.....	21
1.3 Formulación Del Problema General	21
1.3.1 Problema General	21
1.3.2 Problemas Específicos	21
1.4 Justificación	21
1.4.1 Práctica	21
1.4.2 Teórica	21
1.4.3 Metodológica	22
1.5 Objetivos.....	22
1.5.1 Objetivo General.....	22
1.5.2 Objetivos Específicos	22
CAPITULO II	23
MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes	23
2.1.1. Nacionales.....	23
2.1.2 Internacionales	24
2.2 Base Teóricas O Científicas.....	26
2.2.1 Óleos Reciclados	26

2.2.2 Aceite Residual Automotriz	27
2.2.3 Suelos.....	31
2.2.5. Estabilización De Suelos	44
2.2.6. Ensayos Mecánicos.....	47
2.3. MARCO CONCEPTUAL	50
2.3.1. Aceite Residual Automotriz	50
2.3.2. Módulo De Soporte.....	50
2.3.3. Eficiencia Técnica	50
2.3.4. Efectividad Económica.....	50
2.3.5. California Bearing Ratio (CBR)	50
2.3.6. Proctor Modificado	51
2.3.7. Módulo de Elasticidad	51
2.3.8. Ensayo de contenido de humedad.....	52
2.3.9. Ensayo del límite líquido del suelo.....	52
2.3.10. Ensayo de límite plástico	53
CAPÍTULO III.....	54
HIPÓTESIS.....	54
3.1 Hipótesis General.....	54
3.2 Hipótesis Específicas	54
3.3 Variables	54
3.3.1 Definición Conceptual De Variables	54
3.3.2 Definición operacional de variables	55
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	56
CAPITULO IV	57
METODOLOGÍA	57
4.1 Método De Investigación.....	57
4.2 Tipo De Investigación.....	57
4.3 Nivel De Investigación	57
4.4 Diseño De La Investigación.....	58

4.5 Población Y Muestra	58
4.5.1 Población	58
4.5.2 Muestra	59
4.6 Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos	59
4.7 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos.....	59
4.8 Aspectos Éticos de la Investigación.....	67
CAPITULO V	68
RESULTADOS.....	68
5.1 Ubicación Geográfica	68
5.1.1 Ubicación De La Zona De Estudio	68
5.2 Eficiencia Técnica.....	68
5.2.1. Trabajo De Laboratorio	68
5.2.2. GRANULOMETRÍA ASTM 422-MTC E107	70
5.2.3. LÍMITES DE ATTERBERG ASTM 4318.....	72
5.2.4. PROCTOR MODIFICADO ASTM D 1557	73
5.2.5. CALIFORNIA BARING RATIO (CBR) ASTM D 1883.....	77
D) M-04 Muestra convencional + 1.5% de incorporación de ARA	82
5.3. EFICIENCIA ECONÓMICA	85
5.3.1. COSTOS UNITARIOS	85
5.4 PRUEBA DE HIPOTESIS	88
CAPITULO VI.....	90
ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	90
6.1 Discusión	90
A) Discusión 1	90
B) Discusión 2	91
C) Discusión 3	92
D) Discusión 4	92
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

ANEXOS.....	97
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	97
MATRIZ DE CONSISTENCIA	98
ENSAYOS DE LABORATORIO	99

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de aceites usados y sus fuentes.	27
Tabla 2.2. Caracterización de aceites usados	28
Tabla 2.3. Tamaño de las principales partículas minerales del suelo.....	33
Tabla 2.4. Tamices y aberturas para análisis granulométrico	34
Tabla 2.5. Valores típicos de consistencia del suelo.	37
Tabla 2.6. Clasificación de suelos según índice de grupo.....	39
Tabla 2.7. Clasificación de suelos – Método AASHTO.	40
Tabla 2.8. Clasificación de suelos según – Método SUCS.	42
Tabla 2.9. Clasificación de suelos según – Método SUCS.	43
Tabla 2.10. Resumen del ensayo Proctor Modificado.	47
Tabla 2.11. Operacionalización de variables	56
Tabla 4.1. Resultados del análisis granulométrico, muestra M-1.	70
Tabla 4.2. Resultado de clasificación SUCS, ASSTHO de muestra M-01.....	71
Tabla 4.3. Resumen de los límites de Atterberg, realizados a la muestra M-01	72
Tabla 4.4. Resumen de resultados de los ensayos de Proctor Modificado.....	75
Tabla 4.5. Resultados de CBR al suelo convencional.....	78
Tabla 4.6. Resultados de CBR al suelo convencional con incorporación ARA al 0.5%.	79
Tabla 4.7. Resultados de CBR al suelo convencional con incorporación ARA al 1.0%.	80
Tabla 4.8. Resultados de CBR al suelo convencional con incorporación ARA al 1.5%.	82
Tabla 4.9. Resumen de resultados de los ensayos de C.B.R.	83
Tabla 4.10. Costos unitarios de subrasante para M-1 suelo convencional.....	85
.....	85
Tabla 4.11. Costos unitarios de subrasante para M-1 + 0.5% de aceite residual automotriz.	85
Tabla 4.12. Costos unitarios de subrasante para M-1 + 1.0% de aceite residual automotriz.	86
Tabla 4.13. Costos unitarios de subrasante para M-1 + 1.5% de aceite residual automotriz.	87

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.1. Identificación del aceite residual automotriz.	20
Figura 2.1 Composición Química de la Arcilla. Fuente: MasScience.com	32
Figura 2.2. Desplazamiento de la muestra de suelo y cierre del surco en la cuchara de Casagrande. Fuente: fao.org. Consistencias del suelo.....	36
Figura 2.3. Formación de Cilindros. Fuente: fao.org. Consistencias del suelo.	37
Figura 2.4. Proceso de selección del Tipo de Estabilización. Fuente: MDC-RDN-10-2014.....	44
Figura 2.5. Equipo requerido para ensayo CBR. Fuente: ASTM D-1883, AASHTO T-193, J. E. Bowles.	49
Figura 2.6. Curvas de Elasticidad. Fuente: estudiosgeotecnicos.info.	52
Figura 3.1. Selección del lugar para la excavación de la calicata.	60
Figura 3.2. Muestra de la profundidad calicata C-1.....	60
Figura 3.3. Muestra C-1 de suelo cohesivo, llevado al laboratorio.	61
Figura 3.4. Lubricentro Veá.	61
Figura 3.5. Retiro de aceite del motor de un vehículo liviano.	62
Figura 3.6. Aceite residual automotriz (ARA).....	62
Figura 3.7. Diferentes aceites para vehículos livianos.....	63
Figura 3.8. Tamizado de la muestra.	64
Figura 3.9. Ensayo de limite líquido.	64
Figura 3.10. Ensayo de limite plástico.	65
Figura 3.11. Incorporación de aceite residual automotriz.....	65
Figura 3.12. Ensayo de expansión del suelo CBR, con incorporación de ARA.....	66
Figura 3.13. Ensayo de CBR, con incorporación de ARA.	66
Figura 4.1. Ubicación del lugar de estudio.	68
Figura 4.2. Curva granulometría muestra de calicata, en estado natural.	71
Figura 4.3. Diagrama de relación de los límites de Atterberg, en diferentes incorporaciones de aceite residual automotriz.	72
Figura 4.4. Relación humedad-densidad, suelo convencional.	73
Figura 4.5. Relación humedad-densidad, suelo convencional + ARA al 0.5%.	73
Figura 4.6. Relación humedad-densidad, suelo convencional + ARA al 1.0 %.	74
Figura 4.7. Relación humedad-densidad, suelo convencional + ARA al 1.0 %.	74
.....	75

Figura 4.8. Diagrama de Humedad Óptima de muestras ensayadas.....	75
Figura 4.9. Diagrama de proyección de humedad óptima de las muestras ensayadas.	76
Figura 4.10. Diagrama de densidad máxima seca de las muestras ensayadas.	76
Figura 4.11. Diagrama de proyección de Densidad máxima seca de muestras ensayadas.....	77
Figura 4.12. Diagramas de CBR de tres especímenes de la muestra, suelo convencional.	78
Figura 4.13. Diagrama de ensayo CBR de la muestra convencional.	79
Figura 4.14. Diagramas de CBR de tres especímenes de suelo convencional +ARA al 0.5%.....	80
Figura 4.15. Diagrama de ensayo CBR de la muestra convencional + ARA al 0.5%.	80
Figura 4.16. Diagramas de CBR de tres especímenes de suelo convencional + ARA al 1.0%.....	81
Figura 4.17. Diagrama de ensayo CBR de la muestra convencional + ARA al 1.0%.	81
Figura 4.18. Diagramas de CBR de tres especímenes de suelo convencional + ARA al 1.5%.....	82
Figura 4.19. Diagrama de ensayo CBR de la muestra convencional + ARA al 1.5%.	83
.....	84
Figura 4.20. Diagrama de C.B.R. de muestras ensayadas.	84
Figura 4.21. Diagrama de proyección de CBR de las muestras ensayadas.	84
Figura 4.22. Diagrama de costos unitarios.....	88

CONTENIDO DE ECUACIONES

Ecuación 2.1. Porosidad.....	33
Ecuación 2.2. Pasante de tamiz N° 20.....	35
Ecuación 2.3. % Retenido	35
Ecuación 2.4. CBR.....	48
Ecuación 2.5. Ecuación de Elasticidad.....	51

RESUMEN

En la ciudad de Chilca, provincia de Huancayo, departamento de Junín, se realizó el presente trabajo de investigación, con el propósito de determinar la efectividad técnico-económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos; para ello se estudió una muestra del suelo seleccionado, CL-ML de baja plasticidad, extraída del lugar de estudio, en el Psj. Cantuta-Chilca, cuya vía es transversal a la av. Jacinto Ibarra.

El procedimiento fue la obtención de la muestra de suelo y la muestra de óleos reutilizables, posteriormente se realizaron los ensayos de laboratorio para las distintas dosificaciones: 0.5%, 1.0% y 1.5% de aceite residual automotriz (ARA), al suelo cohesivo. Asimismo, se realizaron los costos unitarios del uso del ARA en un suelo para la estabilización de una subrasante.

Los resultados técnicos presentes en la investigación, con las óptimas dosificaciones muestran: O.C.H=10.40%; D.M.S.=1.959gr/cm³; C.B.R.=29.3%; respectivamente a la incorporación del 1.0% de aceite residual automotriz; lo cual serán un parámetro técnico adecuado y alternativa confiable para la efectividad técnica y económica de los óleos en el módulo de soporte de suelos cohesivos.

Palabras Claves: **Óleo reutilizable, Aceite residual automotriz, Modulo de soporte de suelos cohesivos.**

ABSTRACT

In the city of Chilca, province of Huancayo, department of Junín, this research work was carried out, with the purpose of determining the technical-economic effectiveness of the visco-elastic properties of reusable oils in the support module of cohesive soils; For this purpose, a sample of the selected soil, CL-ML of low plasticity, extracted from the study site, in the Psj, was studied. Kantuta-Chilca, whose road is transversal to Av. Jacinto Ibarra.

The procedure was to obtain the soil sample and the reusable oil sample, subsequently the laboratory tests were carried out for the different dosages: 0.5%, 1.0% and 1.5% of automotive residual oil (ARA), to the cohesive soil. Likewise, the unit costs of the use of ARA in a soil for the stabilization of a subgrade were carried out.

The technical results present in the research, with the optimal dosages, show: O.C.H=10.40%; D.M.S.=1.959gr/cm³; C.B.R.=29.3%; respectively to the incorporation of 1.0% of residual automotive oil; which will be an adequate technical parameter and reliable alternative for the technical and economic effectiveness of oils in the cohesive soil support module.

Keywords: Reusable oil, Automotive waste oil, Cohesive soil support module.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación presentó como problema general: “¿Cuál es la efectividad técnico-económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos?” para lo cual se formuló como objetivo general: “Determinar la efectividad técnico-económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos”. Asimismo, considero como hipótesis general: “La efectividad técnico-económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables inciden significativamente en el módulo de soporte de suelos cohesivos”.

El método de investigación fue el científico, el tipo de esta investigación es aplicado y el nivel fue descriptivo-correlacional, utilizándose un diseño de investigación cuasi-experimental, la población estuvo conformada 04 dosificaciones, y evaluó el aceite residual automotriz (ARA), su viscosidad y penetración en porcentajes de 0.5%, 1.0%, y 1.5% respecto al peso del material del suelo y fue comparado con la muestra patrón al 0%. La muestra es dirigida o intencional, el número total de ensayos, es el mismo número de la población (censal).

En ese sentido la presente investigación determino la efectividad técnico-económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos, evaluando y analizando el comportamiento efectivo-eficaz para determinar su efectividad técnica del óleo, en las propiedades del suelo cohesivo, así como la efectividad económica, procesando los costos unitarios de la incorporación de estos aceites en el suelo de la subrasante.

Por lo consiguiente, se ha organizado el presente trabajo de investigación en 5 capítulos:

Capítulo I. El problema de la investigación; donde se presentan la formulación del problema y justificación del estudio, objetivos generales y específicos; así también, las limitaciones del estudio.

Capítulo II. Marco teórico; donde se presentan los antecedentes de la investigación, bases teóricas o científicas, marco conceptual, hipótesis generales y específicas, así también la operacionalización de variables.

Capítulo III. Hipótesis, se planteó la hipótesis general y las hipótesis específicas, definimos las variables de la investigación.

Capítulo IV. Metodología; donde se presentan el método de investigación, tipo de investigación, nivel de investigación, diseño, población, muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y las técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Capítulo V. Resultados; donde se expresa la descripción de resultados, descripción del diseño tecnológico, técnico y económico.

Capítulo VI. Análisis y discusión de resultados; donde describen los resultados obtenidos en relación a los objetivos de la investigación, discutiendo las consecuencias de los antecedentes. y proyecciones futuras.

Finalmente se indicó las conclusiones y recomendaciones con la información detallada que sustentan la elaboración de la presente investigación.

Bach. Crisostomo Llallico, Cinthya Yomira

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción De La Realidad Problemática

El avance integral de una nación, tanto en su aspecto social como económico, se deben a infraestructuras de comunicación, las cuales facilitan el intercambio cultural, social, económico y comercial. Las vías de transporte, especialmente las carreteras que forman parte esencial de estas redes incluyen en su diseño accesos que demandan una superficie capaz de resistir el desgaste y prolongar su durabilidad. Para lograr esto, es fundamental disponer de una base sólida que cumpla con los requisitos establecidos en términos de propiedades mecánicas y físicas. La subrasante proporciona condiciones de apoyo uniformes y permanentes, manteniendo la integridad del pavimento incluso en condiciones extremadamente húmedas. Vergara (2010).

De acuerdo con la investigación exploratoria llevada a cabo por Del Castillo y Orobio (2020), se evidencia que la permeabilidad y la contracción-expansión del suelo en la subrasante son con frecuencia la causa de impactos negativos en los pavimentos. La circulación del agua a través de un cuerpo de suelo puede dar lugar a consecuencias negativas, tales como alteraciones en la densidad, deterioro de materiales, desplazamientos desiguales en suelos expansivos, así como una reducción en la resistencia al corte y en el esfuerzo efectivo debido a la presión del agua.

De esta manera, con el fin de evitar tal escenario, se ha identificado la necesidad de potenciar las propiedades mecánicas de la base subyacente, centrándose especialmente en su módulo de soporte, mediante el uso de materiales reciclados disponibles a bajo costo. Estos materiales podrían aumentar la resistencia de varios tipos de suelos, proporcionando estabilidad a la subrasante. Un ejemplo de material

reciclado es el aceite residual automotriz (ARA), que se puede aplicar en capas de suelos cohesivos que no cumplen con los parámetros adecuados.

A nivel internacional, la aplicación de aceite residual en suelos cohesivos, obtuvo diversos resultados en Colombia, en particular se seleccionó representativo de subrasante para la construcción de carreteras del país, especialmente en la ciudad de Santiago de Cali. Se realizó una evaluación exploratoria de los efectos del aceite de motor usado (AMU) en el suelo MH. Se observó que los límites de consistencia líquida y plástica tendieron a disminuir con el aumento del AMU en el suelo analizado. El aumento del aceite redujo significativamente el volumen de vacíos, lo que resulta en una disminución del coeficiente de permeabilidad en suelos más porosos. (Del Castillo y Orobio, 2020). Estos resultados, nos indican que se puede mejorar el módulo de soporte del suelo fino pobre, adicionando óleos reciclados como el aceite residual automotriz (ARA).

A nivel nacional, la red vial se conforma en mayoría por pavimentos flexibles, esto es debido a que son más cómodos en la inversión y ejecución. Al ser un importante componente socioeconómico para el desarrollo del país, es recomendable identificar en qué estado están los pavimentos, para ello, se deben supervisar constantemente y evitar futuros inconvenientes. Por lo cual, es de suma importancia determinar con mayor detalle en qué momento dicho pavimento necesitaría una intervención en mejoría o rehabilitación, con eso se lograría menores gastos y mayores beneficios al mantener el pavimento en condiciones óptimas. Este énfasis se da, porque actualmente existen pavimentos flexibles defectuosos; con grietas que generan inseguridad e incomodidad para los conductores y transeúntes.

Una investigación nacional llevada a cabo en el departamento de Puno muestra los resultados de la aplicación de aceites residuales de vehículos en un suelo GP-GC. Los ensayos de CBR para una muestra natural alcanzaron un valor de CBR del 40,2%, mientras que los ensayos de CBR para una muestra con dosificaciones de 1.5% al 4.5% de aceite motorizado alcanzaron valores de CBR del 55,50 %, 74,40 %, 83,50 % y 69,40 %, de manera similar. Se nota un incremento en la resistencia del suelo dentro del intervalo de concentración de aceite residual del 1.5% al 3.5% (Jalanoca, 2021).

A nivel local; el distrito de Chilca siempre ha presentado problemas de estabilización del suelo, por tener una superficie cohesiva. La presencia de baches provocados por los vehículos pesados y livianos que transitan durante el día, dañan constantemente las vías. El Manual de Carreteras (MTC, 2013, p. 113), indica que las características físicas del suelo podrían beneficiarse mediante la utilización de compuestos químicos, ya sean artificiales o de origen natural. Esta aplicación se puede utilizar para estabilizar los suelos que no son adecuados.



Figura 1.1. Identificación del de problemas de estabilización del suelo

El uso de estos óleos reutilizables; son accesibles, económicos y que no tienen un alto índice de afectación ambiental. Por lo que determinaremos la efectividad técnico-económica del aceite residual automotriz (ARA), que es un óleo reciclado comercial, obtenido de los cambios regulares de aceite de vehículos menores.

1.2 Delimitación Del Problema

1.2.1 Delimitación Espacial

Este estudio tuvo lugar en el Distrito de Chilca, ubicado en la Provincia de Huancayo, dentro del Departamento de Junín.

1.2.2 Delimitación Temporal

El estudio se llevó a cabo desde agosto hasta diciembre de 2023.

1.3 Formulación Del Problema General

1.3.1 Problema General

¿Cuál es la efectividad técnico-económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos?

1.3.2 Problemas Específicos

1. ¿Cuál es la efectividad técnica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos?
2. ¿Cuál es la efectividad económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos?

1.4 Justificación

1.4.1 Práctica

Según Fernández (2020), la utilidad práctica o relevancia social de este estudio se manifiesta cuando su enfoque se dirige a abordar un problema específico o al menos, plantea estrategias cuya implementación ayudaría a resolverlo. En otras palabras, la investigación busca tener un impacto directo en la resolución de problemas o en la implementación de medidas que aborden la situación identificada.

Se evaluó la efectividad técnico-económica de utilizar aceite residual automotriz (ARA) como un recurso reutilizable para mejorar las propiedades mecánicas de un suelo cohesivo. Se añadieron distintos porcentajes de este aceite y se observaron resultados positivos en el desempeño del módulo de soporte del suelo, lo que sugiere su viabilidad como solución

1.4.2 Teórica

De acuerdo con Fernández (2020), una investigación exhibe este tipo de justificación cuando su propósito es fomentar el análisis académico y discusión en torno al conocimiento ya establecido, poner en duda teorías, contrastar resultados o fortalecer el conocimiento científico.

Así, este análisis aporta al desarrollo de conocimiento innovador en la investigación al evaluar la eficiencia técnico-económica de los aceites reciclados en suelos cohesivos. En el futuro, se deben considerar investigaciones adicionales que profundicen en las propiedades de estos aceites comerciales y su impacto en el rendimiento de los suelos.

1.4.3 Metodológica

Fernández (2020), menciona que la investigación metodológicamente cuando se propone y desarrolla un nuevo enfoque de estrategia para obtener conocimientos válidos y confiables; se crea un nuevo instrumento para recopilar y analizar datos; simultáneamente, se proponen enfoques novedosos que incorporen diversas formas de manipular una o varias variables, con el fin de investigar de manera más apropiada a una población específica.

En acuerdo, la presente investigación generó una contribución mediante el análisis de la efectividad técnico-económica de aceites reciclados comerciales, utilizando el aceite residual automotriz en los suelos cohesivos, y de esta manera evaluar el comportamiento del módulo de soporte de la subrasante.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar la efectividad técnico-económica de las propiedades visco-elásticas de aceites reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Analizar la efectividad técnica de las propiedades visco-elásticas de aceites reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos.
2. Evaluar la efectividad económica de las propiedades visco-elásticas de aceites reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nacionales

Ipanaque y Carrasco (2021), llevaron a cabo una investigación acerca del impacto que tiene la aplicación del aditivo de aceite sulfonado para mejorar la estabilidad de la base en los accesos al puente Santa Rosa, situado en el distrito y provincia de Huanta, Huancavelica. A través de pruebas de laboratorio, se determinó que los valores característicos del suelo en su estado natural, obtenidos de tres muestras de acceso al puente con diferentes dosificaciones (0.20L/m³ + 50kg/m³, 0.25L/m³ + 50kg/m³ y 0.30L/m³ + 50kg/m³), mostraron resultados favorables. La adición del aditivo de aceite sulfonado y cemento incrementó la capacidad de soporte (CBR) en más del 100%, especialmente al utilizar la proporción de 0.25L/m³ + 50kg/m³ de aceite y cemento, se consiguió aumentar la estabilidad frente a la presencia de agua y los cambios en los niveles de humedad en la subrasante. Se observó que la presencia de este aditivo mejoró tanto las propiedades físicas como mecánicas del suelo destinado a la subrasante.

Gómez y Silva (2020), en su estudio sobre la mejora de las propiedades del suelo para mejorar la firmeza de la carretera que conecta Huaylillas con Buldibuyo, en la provincia de Pataz. Trujillo, investigaron el efecto de la combinación de aceite sulfonado y cemento portland tipo 1. En el proceso, añadieron diferentes proporciones de cemento (0.5%, 2%, 3.5% y 5%) junto con 0.30 L/m³ de aceite sulfonado, con la finalidad de potenciar las propiedades del terreno, se observó un incremento notable en el Índice de Resistencia California (CBR), elevándose del 5.8% al 103.8% en la base de la carretera y del 19.61% al 128.7% en la superficie de la vía., además, se registró un incremento en la resistencia a la compresión, que

pasó de 14.17 kg/cm² a 30.38 kg/cm².. En conclusión, el uso combinado de cemento portland tipo I y aceite sulfonado como aditivos sólido y líquido, demostró una mejora considerable en las características mecánicas del suelo para mejorar la estabilidad de la carretera..

Yaya y Osorio (2018), realizaron una investigación en la ciudad de Chimbote sobre la mejora del suelo con fines de cimentación mediante la aplicación de afirmado y aceite reciclado de motores. En su investigación, introdujeron aceite reciclado de motores en una proporción del 4%, junto con un contenido de agua del 4.08% en la zona de cimentación. Analizaron la relación entre el % de aceite y el nivel de contenido de agua para establecer la humedad óptima requerida con el fin de mejorar las propiedades cementantes de todos los componentes presentes (afirmado, aceite reciclado de motores y agua). Como resultado de este procedimiento, lograron una densidad de 2.283 gr/cm³, mejorando así las características físico-mecánicas del suelo. Además, observaron un incremento en la capacidad de carga del suelo original, aumentando de 0.57 kg/cm² a 1.99 kg/cm² a una distancia de 1.5 metros bajo la superficie.

Santa Cruz (2018) En su estudio sobre el impacto del aceite quemado en las características mecánicas de suelos cohesivos en Satipo, incorporó el aceite quemado en porcentajes del 5%, 10% y 15% al suelo cohesivo, lo que resultó en mejoras del 3.22%, 6% y 2.60% respectivamente en las características del terreno. Se determinó que la adición de aceite quemado en la subrasante mejora tanto las propiedades mecánicas como físicas del suelo cohesivo, reduciendo los espacios vacíos entre partículas y aumentando su densidad y resistencia con cada nivel de adición de aceite. Esto indica que estos suelos pueden ser utilizados adecuadamente en la subrasante.

2.1.2 Internacionales

Martínez (2021) llevó a cabo un estudio sobre los impactos de añadir aceite motor usado en las características de resistencia y comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente en la ciudad de Ambato, Ecuador. En este estudio, se procedió al muestreo y transporte de agregados para realizar ensayos sobre las propiedades físicas y mecánicas del cemento asfáltico, agregando aceite usado de motor en concentraciones que variaban del 0 al 2 por ciento. Se prepararon quince muestras para cada incremento porcentual, así como el aceite usado proveniente de motores se incorporó a la mezcla asfáltica en proporción al peso del cemento asfáltico. Los

resultados revelaron que el nivel ideal de asfalto en la mezcla estándar era del 6,07%, cumpliendo con los estándares establecidos por la Norma Nevi-12. Por otro lado, en las mezclas modificadas con aceite de motor usado al 1% y 2%, los porcentajes óptimos de asfalto fueron del 6,35% y 6,42%, respectivamente. Aunque las mezclas cumplieron con los criterios de estabilidad, se observaron valores elevados en el flujo, además de un aumento en el espacio vacío a medida que se aumentaba la cantidad de aceite de motor utilizado.

Vásquez y Valdivieso (2021) llevaron a cabo un estudio en el cual exploraron el uso del aceite de cocina reciclado como agente rejuvenecedor en la producción de pavimentos de asfalto reciclado en Bucaramanga, Colombia. En este estudio, incorporaron el aceite residual de cocina como rejuvenecedor del asfalto reciclado, utilizando condiciones específicas de temperatura (145°C), tiempo de mezcla (40 minutos) y velocidad de mezcla (1700 rpm). Se probaron tres concentraciones diferentes del rejuvenecedor (3%, 6% y 9%). Los resultados indicaron que el aceite residual de cocina tuvo un efecto rejuvenecedor en las características físicas (índices de penetración, temperatura de reblandecimiento, capacidad de deformación y fluidez) y químicas del asfalto, considerando el contenido de SARA (Saturados, Aromáticos, Resinas, Asfáltenos). En conclusión, se demostró que el uso de aceite residual de cocina puede mejorar las propiedades del pavimento reciclado.

Gonzales, Melo y Rodríguez (2019) en su investigación llevada a cabo en Colombia acerca del rendimiento de mezclas asfálticas que emplean pavimento reciclado y aceite de motor usado para rejuvenecer, evaluaron diversas combinaciones de mezclas asfálticas con distintas proporciones de aceite usado de motor (WEO). Estas mezclas fueron elaboradas con materiales nuevos y reciclados con el fin de analizar las características físicas y mecánicas que resultan de la adición. Se estudiaron tres tipos de mezclas asfálticas con cantidades variables de WEO (0%, 5% y 5.5%), manteniendo una relación constante de 65% de agregado virgen y 35% de RAP. Tras examinar los atributos físicos y las cualidades mecánicas mediante pruebas, se concluyó que el porcentaje óptimo de inclusión de WEO (para una mezcla MDC-19 categoría NT1) fue del 5,045%. Se observó que la adición de WEO redujo la rigidez de la mezcla, lo cual aborda uno de los principales desafíos al emplear mezclas asfálticas con RAP, como se evidenció en los factores de estabilidad, capacidad de flujo y sensibilidad al agua.

En su estudio, Dávila y Magaldi (2018) investigaron cómo el uso de aceite de cocina reciclado influye en las características físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente MD-19 (60-70). Utilizaron mezclas que contenían asfalto y aceite reciclado en concentraciones que variaban entre el 0% y el 1.5% de aceite reciclado. Se llevaron a cabo ensayos de viscosidad conforme a la metodología establecida en INV E-714-07. Subsecuentemente, se realizaron pruebas Marshall en mezclas con concentraciones de aceite reciclado del 0.5%, 1% y 1.5% en peso. El propósito era identificar el máximo contenido de aceite que se podía añadir a la mezcla sin infringir los requisitos establecidos en la normativa de mezclas de asfalto caliente de gradación continua, tal como se establece en el artículo 450 - 13 del INVIAS. Los resultados indicaron que, considerando los agregados y el asfalto 60/70 utilizados., el límite máximo de adición de aceite era del 2%, ya que concentraciones más altas ocasionaban la pérdida de las propiedades aglutinantes del asfalto modificado.

Arévalo, Jiménez y Salazar (2018), en su investigación sobre el efecto del aceite quemado de motor en las características físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas. con pavimento reciclado en Colombia, realizaron pruebas utilizando distintas cantidades de agregados nuevos y RAP (65%-35%) con una cantidad completa de asfalto del 4,8%. Incorporaron diferentes porcentajes de aceite quemado de motor (WEO) (4% y 4,5%) con respecto al peso del asfalto estimado para la combinación (57,6g). La introducción del WEO en las mezclas finales provocó alteraciones en las características, disminuyendo los valores de cada una de ellas. Los promedios de reducción porcentual fueron: estabilidad 15,5%, flujo 13,1%, relación estabilidad-flujo 9,3%. En cuanto a los parámetros que experimentaron promedio de reducción y aumento, los espacios llenos de aire aumentaron en un 17,23%. Se concluye que no son adecuadas estas adiciones de WEO en mezclas asfálticas ARAP.

2.2 Base Teóricas O Científicas

2.2.1 Óleos Reciclados

El vocablo óleo tiene su origen en el latín (óleum), que hace referencia al aceite. Se emplea comúnmente para referirse a líquidos y fluidos oleosos que no se mezclan con el agua y tienen una densidad menor que la misma. El óleo reciclado proviene del aprovechamiento de aceites comerciales, combustibles y comestibles, para ser reutilizados posteriormente.

2.2.2 Aceite Residual Automotriz

El residuo de aceite de automóviles es una combinación de carbono e hidrógeno que incluye residuos generados por el desgaste en el funcionamiento de motores y sistemas de transmisión de vehículos. Estos residuos causan la pérdida de las propiedades originales para las cuales fueron diseñados los aceites. (Cruz y Zevallos, 2021, p. 24).

A) Clasificación Del Aceite Residual Automotriz

Tabla 2.1. Organización de aceites empleados y sus orígenes.

Clases de Desecho	Características	Fuente Probable
Agua Residual	Aguas residuales con presencia de aceite y desechos contaminantes.	Facilidades de refinación, depósitos de almacenamiento de petróleo y centros de lavado de vehículos.
Aceite residual de motor	Sustancias contaminantes que pueden evaporarse, disolverse o ser insolubles, tales como óxidos de varios metales con altas concentraciones de trazas metálicas y productos detergentes.	Mecánicas, estaciones de servicio vehicular, lugares industriales de maquinaria.
Emulsión de aceite usado	Aceites minerales solubles en agua, emulsiones jabonosas, aditivos de lubricantes contaminantes.	Industrias de maquinaria, actividades de ingeniería industrializada.
Combinaciones de aceite sin emulsionar	Desperdicios compuestos por una mezcla de aceite mineral y agua con una proporción aproximada del 10%, además de materiales lubricantes oxidados y sedimentos metálicos.	Empresas metalúrgicas e industrias del sector energético.

Fuente: Caracterización físico-química de aceites usados de motores para su reciclaje, W. Fong Silva (2016).

B) Uso Del Aceite Residual Automotriz

Los aceites usados son aquellos que se utilizan como lubricantes, medios de flotación, fluidos de transferencia de calor, líquidos hidráulicos y para otros fines similares. Pueden ser empleados como alternativa a los combustibles fósiles en procesos industriales (Llanos, 2013).

C) Composición Del Aceite Residual Automotriz

Los lubricantes están compuestos por un aceite base y una variedad de aditivos que modifican sus propiedades. Los aceites base pueden ser producidos a

través del refinamiento del petróleo o mediante procesos petroquímicos (Llanos, 2013).

D) Caracterización Del Aceite Residual Automotriz

Tabla 2.2. Caracterización de aceites usados

Propiedad	Aceites Usados								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Viscosidad (Cs)	24.8	55.3	60	50.83	72.28	56.8	67.2	114.5	81.1
Humedad (%)	2.44	0.27	0.01	0.0094	0.447	1.48	1.08	0.05	0.46
Azufre (ppm)	0.85	1.14	0.16	0.12	0.65	1.21	1.12	0.47	1.29
Aluminio (ppm)	140.74	16.41	12.28	11.41	13.54	11.2	22.03	2.21	16.95
Hierro (ppm)	55.11	1521.42	3.03	4.89	227.86	148.8	110.37	2.44	121.19
Sodio (ppm)	22.31	145.85	15.52	13.48	492.07	410.07	303.87	140.67	216.81
Zinc (ppm)	937.28	104.32	7.04	6.37	17.93	901.51	1015.87	667.24	825.56
Cobre (ppm)	7.96	5.37	0.041	0.041	10.38	17.4	7.05	1.89	14.29
Silicio (ppm)	28.43	16.28	2.43	5.2	49.69	6.21	5.48	0.28	2.27
Fosforo (ppm)	10.58	24.89	5.46	4.97	24.17	19.79	1.82	1.06	18.37
Cloro (ppm)	24.43	224.11	18.95	15.8	709.45	635	469	210	330
Calcio (ppm)	251.33	1064	48.33	42.28	171.8	401.48	308.48	20.08	285.34
Sedimentos (%)	1.57	0.44	0.01	0.01	0.05	0.18	0.16	0.01	0.04
Cenizas (%)	0.98	0.22	0.008	0.007	0.186	0.932	0.916	0.216	0.709
Densidad (Kg/L)	0.8994	0.8659	0.901	0.9004	0.8663	0.9978	0.9884	0.8976	0.885

Fuente: Caracterización físico-química de aceites usados de motores para su reciclaje, W. Fong Silva (2016).

Componentes y materia prima, presente en el aceite residual:

- a) **Viscosidad:** Con relación al examen de la viscosidad de los aceites nuevos, se encontraron los siguientes valores estadísticos: la Media es de 194,907, la Varianza es de 8783,23 y el Coeficiente de Variación es del 48,084%. Conforme se detalla en la tabla 2, se observa que la variabilidad de los datos en relación a la media es notablemente elevada, como indican la desviación estándar, la varianza y el coeficiente de variación.
- b) **Humedad:** Según los datos presentados en la figura 2, se nota que la muestra #1 exhibe un nivel de humedad más alto en contraste con la muestra de referencia #8. Esto indica la posibilidad de inconvenientes en el sistema de enfriamiento del vehículo, lo cual podría estar afectando de manera significativa el sistema de lubricación.

- c) **Azufre:** En relación con la concentración de azufre mostrada en la figura 2, se evidencia que las muestras #1, 2, 6, 7 y 9 exhiben valores más elevados, respecto a la muestra de referencia. Esto se le puede atribuir a que el azufre presente en el combustible cuando se quema, se combina con el agua proveniente de la humedad del sistema oxidándose y formando ácidos orgánicos, inorgánicos y compuestos de azufre.
- d) **Aluminio:** El aluminio contenido en las muestras de aceite puede originarse de una falla en la estanqueidad del sistema lubricante, así como también del desgaste de algunas piezas del motor, como pistones, camisas, etc. Adicionalmente, proviene del aire contaminado con tierra que se introduce en el motor.
- e) **Hierro:** La cantidad más significativa de hierro se encuentra en la muestra #2, esto puede atribuirse a su tipo de aplicación. Un aumento brusco en el contenido de hierro (Fe) en este aceite también pudo haber sido ocasionado por excesivo desgaste de las Camisas en el bloque del motor.
- f) **Sodio:** Las muestras #1, #3 y #4 exhiben niveles bajos de sodio en comparación con la muestra de referencia. Las muestras #2, 5, 6, 7 y 9 poseen un contenido de sodio superior al de la referencia; la presencia en mayor o menor proporción de sodio en el aceite proviene de fallas en la estanqueidad del sistema lubricante lo que ocasiona fugas del líquido refrigerante del motor.
- g) **Zinc:** Las muestras #1, #6, #7, #8 y #9 tienen un nivel de zinc que supera al de la muestra de referencia en un 52,3%; 40,5%; 35,1% y 23,72%; la presencia de zinc en todo aceite usado es normal debido a que son incluidos como metales de aditivación del aceite nuevo con el objeto de mejorar las características lubricantes de los aceites.
- h) **Cobre:** Las muestras #1, 2, 5, 6, 7 y 9 exhiben una concentración de cobre que supera a la de la muestra de referencia. Estos niveles pueden asociarse con el desgaste de componentes como cojinetes de aleación cobre-plomo, casquillos, entre otros.
- i) **Silicio:** Todas las muestras, # 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 9 presentan un contenido de silicio superior al de la muestra de referencia. Esto se les atribuye a fallas en la estanqueidad del sistema lubricante, cristalización de empaquetaduras, tierra, aditivos de aceite y de refrigerante.

- j) **Fósforo:** Las muestras #1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 9 presentan un contenido de fósforo superior a la de la muestra de referencia. El fósforo junto con el zinc se agrega al aceite para cumplir funciones antidesgaste y su concentración depende del tipo de fabricante, tipo, uso y aplicación. La escasa cantidad de fósforo presente en la muestra de referencia puede ser explicada por el tipo, aplicación, calidad y aditivos del aceite nuevo.
- k) **Calcio:** Las muestras #1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 9 exhiben niveles de calcio por encima de la norma establecida como referencia. La presencia de este elemento se relaciona con la utilización de detergentes, los cuales tienen la función de contrarrestar la acidez del aceite, de esta manera, ayuda a conservarlo en un estado limpio, sin residuos, y neutraliza los compuestos precursores de depósitos que se forman en condiciones de elevada temperatura.
- l) **Sedimentos:** Las muestras #1, 2, 5, 6, 7 y 9 exhiben una concentración de sedimentos más alta que la referencia, posiblemente relacionada con partículas pequeñas (menos de 50 micras) provenientes del entorno exterior, como polvo, residuos de empaquetaduras y lodos. En cambio, las muestras #3, 4, 11a y 11b tienen un contenido de sedimentos igual al de la referencia. Esto se debe a que las muestras 3 y 4 son aceites recuperados que han pasado por un proceso de separación centrífuga para eliminar sedimentos, resultando en un nivel de sedimentos en el aceite usado inferior al 1%.
- m) **Cenizas:** Las muestras #1, 2, 6, 7, 9, 10a, 10b, 11a, 11b, 12a y 12b presentan concentraciones de cenizas por encima de los niveles de referencia. Estas cenizas, en su mayoría, son producto de la combustión incompleta del combustible, y tienden a acumularse en el cárter del motor, lo que contamina el aceite lubricante. Específicamente, las cenizas sulfatadas se originan a partir de aditivos como el magnesio, los cuales, al quemarse, dejan residuos de cenizas sulfatadas.
- n) **Densidad:** Las muestras 1, 3, 4, 6 y 7 muestran una densidad superior en comparación con la referencia. Este incremento en la densidad del aceite se debe a la existencia de contaminantes como polvo, tierra, agua y partículas de desgaste presentes en el mismo.

2.2.3 Suelos

Los suelos pueden variar considerablemente en sus propiedades, desde rellenos de desechos hasta areniscas cementadas o lutitas blandas. Además, la presencia de agua juega un papel significativo en el comportamiento de estos suelos, como se indicó (Badillo y Rodríguez en 1973).

Principalmente, estos suelos cuentan con una presencia considerable de materia orgánica, lo que resulta en una alta compresibilidad. Esto significa que, al ser sometidos a fuerzas de compresión, tienden a reducir su volumen.

A) Tipos De Suelos

A continuación, se detallan los tipos de suelos más comunes:

- a) **Gravas:** Las gravas que se componen de acumulaciones sueltas de fragmentos de roca y tienen un diámetro superior a dos milímetros. Aunque las gravas cubren extensas extensiones, frecuentemente, se mezclan con proporciones similares de guijarros, arena, limo y arcilla. Las partículas de estos suelos tienen un tamaño que oscila entre 7.62 cm (3 pulgadas) y 2.00 mm.
- b) **Arenas:** Estos constituyen materiales de textura fina originados por la erosión natural de las rocas o la fragmentación intencional de las mismas, con partículas que oscilan entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro. Con frecuencia, se encuentran mezclas de arenas y gravas, y la arena extraída de los ríos puede contener diversas proporciones de grava más gruesa y arcilla. Las arenas, cuando están libres de impurezas, no muestran contracción al secarse y carecen de propiedades plásticas.
- c) **Limos:** Los limos son suelos finos con poca o ninguna plasticidad, compuestos por partículas que varían en diámetro entre 0.05 mm y 0.005 mm. Pueden dividirse en limo inorgánico, creado en canteras, y limo orgánico, típicamente presente en ríos.
- d) **Arcilla:** Estos suelos, clasificados como arcillas, consisten en elementos sólidos con un tamaño inferior a 0.005 milímetros de diámetro, que al mezclarse con agua adquieren propiedades plásticas. Contribuyen significativamente a la formación de sedimentos y están compuestos principalmente por hidratos de alúmina y silicato, a veces con inclusiones de silicatos de hierro o magnesio. La composición de las arcillas se basa en la organización de planos de iones oxígeno e hidroxilos, donde los grupos

tetraédricos (SiO) se conectan creando láminas de extensión infinita con la fórmula (Si₂O₅), que constituye la unidad básica de los filosilicatos.

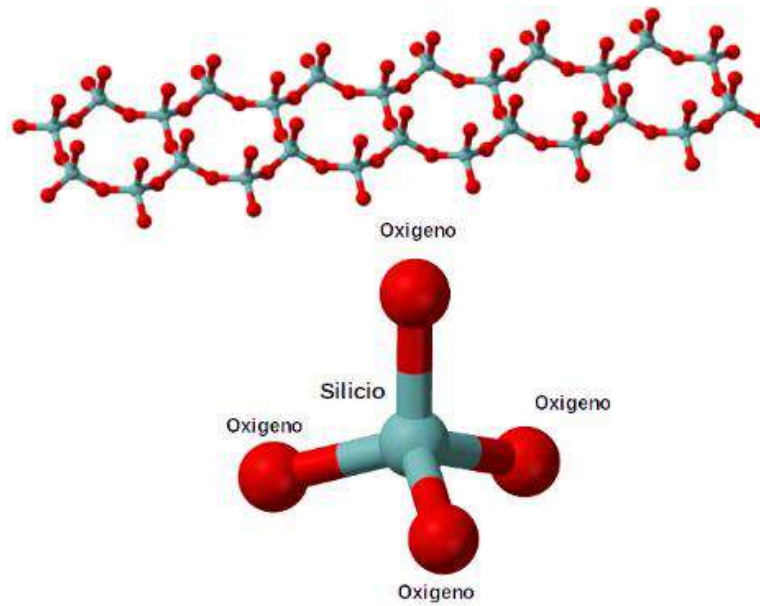


Figura 2.1 Composición Química de la Arcilla. Fuente: MasScience.com

B) Propiedades Del Suelo

El suelo, siendo una materia, presenta diversas propiedades que pueden categorizarse de dos formas:

1. Características físicas, químicas y fisicoquímicas.
2. Características mecánicas.

La primera clasificación se centra en destacar las propiedades físicas del suelo, abordando aspectos como el color, la textura, la estructura, la porosidad, la consistencia, la densidad, la permeabilidad, la profundidad, las propiedades térmicas y la dinámica del agua. La salinidad surge como la característica química preeminente del suelo, y entre las propiedades físico-químicas se consideran el potencial de oxidación, el pH (indicativo de la acidez o alcalinidad del suelo) y el intercambio iones.

- a) Color:** Suelos de tonalidad oscura señalan una presencia significativa de material orgánico, mientras que los suelos rojizos sugieren una alta concentración de hierro y manganeso. Por otro lado, los suelos amarillos suelen contener una cantidad considerable de arcilla y una menor cantidad de materia orgánica.
- b) Textura:** La composición de minerales presentes en el suelo, definida por su proporción (%) y la naturaleza de los fragmentos de minerales que lo

constituyen. Aunque existen varias clases de fragmentos de minerales: son arena, barro y arcilla.

Tabla 2.3. Tamaño de las principales partículas minerales del suelo.

Partícula Mineral	Dimensión o Tamaño
Arena	2 mm a 0.05 mm
Limo	0.05mm a 0.02 mm
Arcilla	de 0.02 mm a menos

Fuente: Jorge Marconi, 2011.

- c) **Estructura:** Se refiere a la forma en que los componentes minerales presentes en la tierra se organizan para formar agregados o terrones. En lugar de estar dispersos de manera individual, los minerales se agrupan en terrones que pueden variar en su grado de unión, desde medianamente unidos hasta extremadamente cohesionados, presentando una variedad de formas y tamaños.
- d) **Porosidad:** La porosidad del suelo, expresada como un porcentaje (%), es la evaluación del volumen de los huecos o espacios sin ocupar., independientemente de su tipo, en relación con el volumen total del suelo. Los suelos compuestos por partículas pequeñas. tienden a exhibir una mayor porosidad en comparación con los de textura compuesta por partículas grandes. En suelos con una alta proporción de arcilla., se observa una presencia significativa de poros pequeños (microporos), mientras que en suelos arenosos hay pocos poros grandes (macroporos) interconectados. La porosidad puede ser determinada como un porcentaje del volumen completo del suelo empleando la fórmula siguiente:

$$Porosidad(\%) = \frac{Dr - Da}{Da} \times 100$$

Ecuación 2.1. Porosidad.

La densidad efectiva de las partículas sólidas presentes en el suelo. indicada como Dr , se obtiene al dividir la masa del suelo, previamente secado en estufa, entre el volumen ocupado únicamente por los sólidos. Por otro lado, la "densidad aparente", simbolizada como Da , representa la cantidad de materia por cada unidad de espacio. de una muestra de suelo en su estado

natural, considerando también el volumen ocupado por los espacios vacíos. Para su cálculo, se divide el peso de una muestra de suelo que ha sido secada en una estufa entre el volumen total de la muestra (Marconi, 2011).

2.2.4 Ensayos

A) Contenido De Humedad

Proporción entre el peso del agua presente en una muestra en su estado natural y el peso total de la muestra luego de ser procesada a deshidratación en un horno a temperaturas que oscilan entre los 105°C y 110°C. Esta proporción se expresa como un porcentaje y puede oscilar desde cero, señalando un estado completamente seco hasta alcanzar un valor máximo específico que no siempre alcanza el 100%. La importancia del nivel de humedad en un suelo, radica en que constituye una de las características esenciales para comprender su comportamiento, abarcando aspectos como cambios de volumen, cohesión y estabilidad mecánica.

B) Análisis Granulométrico

El propósito principal de la prueba es realizar un cálculo de la variación de medidas de partículas dispersas en el suelo, esto conlleva determinar las proporciones de suelo que atraviesan distintos tamices de la serie empleada en la prueba, incluyendo el tamiz de 74 mm (No. 200). Para llevar a cabo la prueba, se requerirá una balanza con precisión de 0.01 g, horno o estufa, recipientes apropiados para el secado de muestras, cepillos y un conjunto de tamices con malla cuadrada con abertura.

Tabla 2.4. Tamices y aberturas para análisis granulométrico

TAMICES	
(pulg)	(mm)
3"	76.200
2"	50.800
1 1/2"	38.100
1"	25.400
3/4"	19.000
1/2"	12.500
3/8"	9.500
N° 4	4.750
N° 8	2.360
N° 10	2.000
N° 16	1.190

N° 20	0.840
N° 30	0.600
N° 40	0.425
N° 50	0.300
N° 80	0.177
N° 100	0.150
N° 200	0.075
< N° 200	FONDO

Fuente: Manual de ensayos de materiales, MTC, 2013.

Para realizar los cálculos correspondientes al ensayo, se hace uso de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 2.2. Pasante de tamiz N° 20

$$(\%)Pasa\ tamiz\ N^{\circ}20 = \frac{Peso\ total - Peso\ retenido\ en\ el\ tamiz\ N^{\circ}200}{Peso\ total} \times 100$$

Ecuación 2.3. % Retenido

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

C) Plasticidad De Los Suelos

La plasticidad se puede entender como la característica de un material que le permite sufrir deformaciones sin experimentar rupturas o fisuras.

a) Índice Plástico

El índice plástico se determina en un rango estrecho de contenidos de humedad, ubicados entre los límites líquido y plástico, y se define de la siguiente manera:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP= Índice Plástico

LL= Límite Líquido

LP= Límite Plástico

b) Límite Líquido

Se refiere a la cantidad de humedad necesaria para que dos secciones de una mezcla de suelo, cada una con un espesor de 1 cm, se desplacen y fusionen, dando como resultado una longitud de alrededor de 12 mm en la base de la muestra. Posteriormente, estas dos secciones se separan y se vuelven a unir después de un número específico de golpes, que varían entre 15 y 35 en

intervalos de 5 golpes cada uno: 15-20, 20-25 y 25-30. Para llevar a cabo este ensayo, se requiere el empleo de suelo seco que haya pasado por la malla N° 40, junto con una copa de Casagrande, una balanza, un ranurador, una cápsula de porcelana, una espátula y taras. Para obtener una consistencia uniforme de la mezcla de suelo debe ser preparada en una cápsula y ser movida por una espátula; debe ser colocada una porción en la copa (Casagrande) para alcanzar un espesor de 1cm luego con el ranurador realizar una ranura en el centro. Luego, se realiza la elevación y descenso de la copa a una velocidad de 2 caídas por segundo utilizando la manivela, hasta que ambas partes del suelo se integran en el fondo de la hendidura a lo largo de 1/2 pulgada (1.27 cm), contando el número de golpes necesarios. La sección de suelo que se ha unido en la base de la ranura se extrae con una espátula y se coloca en una tara para determinar la humedad. El suelo restante en la copa (Casagrande) se devuelve a la cápsula de porcelana, modificando la cantidad de agua en caso de que el número de golpes previo haya sido elevado o reducido, procurando mantener la cantidad de golpes dentro del rango de 15 a 35. Los niveles de humedad se anotan en el eje vertical en una escala convencional para identificar la coordenada relativo a los 25 golpes en la gráfica de fluidez, donde se calculará el límite líquido del suelo.

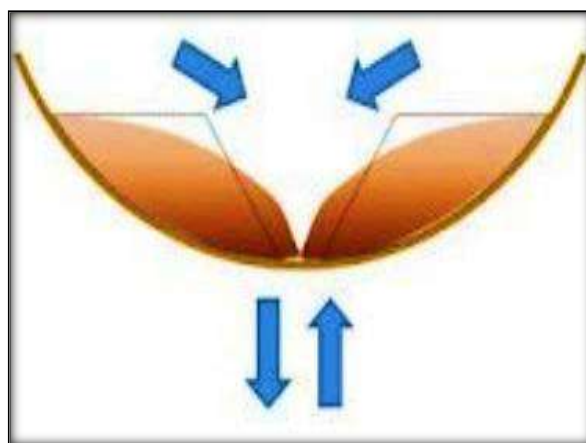


Figura 2.2. Desplazamiento de la muestra de suelo y cierre del surco en la cuchara de Casagrande. Fuente: fao.org. Consistencias del suelo.

c) Límite Plástico

Es definida como la cantidad mínima de humedad la cual permite que el suelo exhiba comportamiento plástico, lo que significa que no puede deformarse sin romperse. Para llevar a cabo el ensayo, se extrae una fracción de la mezcla inicial destinada a la determinación del límite líquido, se incorpora suelo seco a esta muestra con el fin de reducir su contenido de humedad. Posteriormente, se

procede a enrollar la muestra manualmente sobre una placa de vidrio hasta lograr cilindros con un diámetro de 3 mm que muestren grietas visibles, lo que simplifica la medición del contenido de humedad. Se repite este proceso una o dos veces más y se calcula el promedio de los valores obtenidos. Si la disparidad entre estos dos resultados excede los dos puntos porcentuales, es necesario realizar nuevamente la prueba.

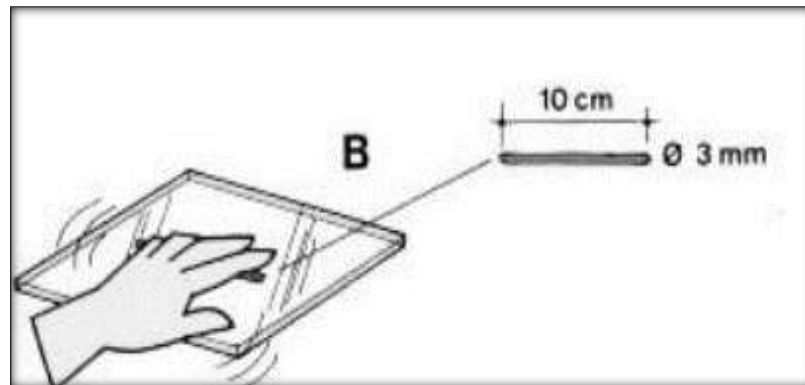


Figura 2.3. Formación de Cilindros. Fuente: fao.org. Consistencias del suelo.

Tabla 2.5. Valores típicos de consistencia del suelo.

PARÁMETROS	TIPOS DE SUELOS		
	ARENA	LIMO	ARCILLA
Límite Líquido (LL)	15-20	30-40	40-150
Límite Plástico (LP)	15-20	20-25	25-50
Límite de retracción (LR)	12-18	14-25	08-35
Índice de Plasticidad (IP) (%)	00-03	12-15	10-100

Fuente: NTP 339.129.

D) CLASIFICACION ASSHTO

La clasificación de suelos es granulares y finos; estos conjuntos se reconocen mediante símbolos (A-1 hasta A-8); mientras que los suelos inorgánicos se clasifican en los siete primeros grupos (A-1 a A-7), y se subdividen adicionalmente en doce subgrupos. Por otro lado, los suelos con una proporción significativa de materia orgánica se designan como A-8.

a) Suelos Granulares

Los suelos cuyo contenido de material fino, que atraviesa el tamiz N° 200, es igual o menor al 35%, se categorizan en los grupos A-1 (A-1a, A-2b), A-2 (A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7) y A-3. Además, es importante señalar que

estos grupos representan suelos con diferentes características y propiedades según la clasificación del sistema.

Grupo A – 1: Este conjunto engloba combinaciones bien distribuidas que consisten en fragmentos de roca, grava y arena, acompañados de un material aglutinante poco plástico. Asimismo, se consideran dentro de esta categoría las combinaciones bien distribuidas que no poseen material aglutinante.

- **Subgrupo A – 1A:** Este conjunto incluye sustancias compuestas mayormente por la roca o la grava, con o sin la presencia de sustancias aglutinantes, y se destacan por contar con una distribución de tamaños apropiada.
- **Subgrupo A – 1B:** Encontramos a los materiales compuestos por arena gruesa (bien distribuida), ya sea con o sin presencia de material aglutinante.
- **Subgrupo A – 2 – 4 y A – 2 – 5:** Engloban materiales con un contenido de material fino que no excede el 35%, y la porción que traspasa por el tamiz N° 40 presenta propiedades análogas a los suelos A-4 y A-5. Además, comprenden las arenas fluviales con una presencia reducida de grava y arena gruesa.

b) Suelos finos

Son suelos de material fino que pasan por el tamiz N° 200 y son clasificados de la siguiente manera:

a. Grupo A – 4: Incluye suelos arcillosos con escasa o nula plasticidad, que contienen igual o mayor al 75% de material fino. Esta clasificación también engloba combinaciones de limo con arena y grava hasta un 64%.

b. Grupo A – 5: Los suelos pertenecientes a esta categoría son similares a los del grupo previo, aunque presentan la presencia de material micáceo o diatomáceo. Se caracterizan por su naturaleza elástica y muestran un límite líquido elevado.

c. Grupo A – 6: El componente principal en esta clasificación es la arcilla plástica. Se requiere que al menos el 75% de estos suelos pase a través del tamiz N° 200, y también se incluyen las combinaciones arcillo-arenosas con porcentajes menor a 64% de arena y grava.

d. Grupo A – 7: Los suelos de esta categoría son comparables a los del grupo A-6, pero se distinguen por sus propiedades elásticas y un límite líquido notablemente alto.

- **Subgrupo A – 7 – 5:** Esta clasificación abarca materiales con índices de plasticidad que no experimentan un aumento sustancial en relación con sus límites líquidos.
- **Subgrupo A – 7 – 6:** Engloba suelos que presentan índices de plasticidad considerablemente altos en comparación con sus límites líquidos, y además experimentan variaciones de volumen extremadamente amplias.

La clasificación de un suelo en una categoría particular se establece en función de su límite líquido, nivel de plasticidad y el contenido porcentual de material fino que pasa a través del tamiz N° 200. Los índices de grupo para suelos granulares generalmente se sitúan en el intervalo de 0 a 4; para suelos limosos (8 y 12); y para suelos arcillosos (11 y 20 o más).

Tabla 2.6. Clasificación de suelos según índice de grupo

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
IG > 9	Muy pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy bueno

Fuente: MTC, 2013.

Tabla 2.7. Clasificación de suelos – Método AASHTO.

Clasificación General	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz 0.08 mm				Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz 0.08 mm										
Grupo	$\frac{A-1}{A1-a} \quad \frac{A-1}{A1-b}$		$A - 3$	$\frac{A-2}{A-2-4 \quad A-2-5 \quad A-2-6 \quad A-2-7} + A - 4$				$A - 5$	$A - 6$	$A - 7$					
Símbolo									$A - 7 - 5$		$A - 7 - 6$				
Análisis Granulométrico															
% Que pasa por el tamiz															
N°10	Máx. 50														
N°40	Máx. 30	Máx. 50	Máx. 50												
N°200	Máx. 15	Máx. 25	Máx. 10	Máx. 35	Max. 35	Max. 35	Max. 35	Min.35	Min.35	Min.35	Min.35	Min.35	Min.35		
Límites de Atterberg												Min.40	Min.40		
Límite de Líquido	Máx. 6	Máx. 6					Max.40	Min.40	Max.40	Min.40	Max.40	Max.40	Max.40	Min.10	Min.10
Índice de Plasticidad					Max.10	Max.10	Min.10	Min.10	Max.10	Max.10	Min.10	IP<LL-30	IP<LL-30		
Índice de grupo	0	0	0	0	0	Max.4	Max.4	Max.8	Max.12	Max.16	Max.20				
Tipo de Material	Piedras, gravas y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos				Suelos Arcillosos			
Estimación general del suelo como subrasante		De excedente a bueno				De pasable a malo									

Fuente: MTC, 2013.

E) Clasificación Sucs

Separa los suelos en tres categorías: suelos de granulometría gruesa, suelos de granulometría fina y en suelos orgánicos; la diferenciación entre suelos gruesos y finos se efectúa mediante el tamizado (tamiz N°200). Los suelos gruesos están compuestos por las partículas retenidas en este tamiz, mientras que los suelos finos son aquellos que pasan a través del tamiz. El suelo grueso es cuando más del 50% de sus partículas se retienen en el tamiz, mientras que se designa como fino si más del 50% de sus partículas son más pequeñas que dicho tamiz. Cada categoría se reconoce mediante un símbolo de grupo compuesto por un prefijo (iniciales en inglés de los seis tipos de suelos) y los sufijos (subdivisiones).

a) Suelos gruesos

Se dividen en gravas y arena, que se distinguen mediante el tamiz N°4. En este sentido, un suelo pertenece al grupo de gravas si más del 50% de sus partículas quedan atrapadas en el tamiz, mientras que se categorizará como arena si ocurre lo contrario.

b) Suelos finos

Comprende tres grupos como limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (CL) y limos y arcillas orgánicas (O). Estos conjuntos se subdividen según su límite líquido en dos clasificaciones, utilizando un límite establecido ($Ll = 50\%$). Cuando este límite es <50 , se incorpora la letra L denominada baja compresibilidad al símbolo general; si es > 50 se añade la letra H (alta compresibilidad). Los tipos de suelos comprenden ML (limos inorgánicos de baja compresibilidad), OL (limos y arcillas orgánicas), CL (arcillas inorgánicas de baja compresibilidad), CH (arcillas inorgánicas de alta compresibilidad), MH (limos inorgánicos de alta compresibilidad) y OH (arcillas y limos orgánicos de alta compresibilidad).

Tabla 2.8. Clasificación de suelos según – Método SUCS.

DIVISIONES MAYORES	SIMBOLO DE GRUPO	NOMBRE TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN PARA SUELOS GRANULARES
Gravas Limpias (poco o ningún fino)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas poco o ningún fino	$Cu > 4$ $I < Cc < 3$
	GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava - arena, poco o ningún fino.	No cumple todos los requisitos de gradación para GW.
Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GM	Gravas limosas, mezcla grava - arena - limo.	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $LP < 4$
	GC	Gravas arcillosas, mezcla grava - arena - arcillas.	Límites de Atterberg por encima de la línea A o $LP > 7$
Arenas Limpias (poco o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.	$Cu > 6$ $I < Cc < 3$
	SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	No cumplen todos los requisitos de gradación para SW.
Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	SM	Arenas limosas mezcla de arena - limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $LP < 4$
	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla.	Límites de Atterberg por encima de la línea A o $LP > 7$

Fuente: Bañon,2000.

Tabla 2.9. Clasificación de suelos según – Método SUCS.

DIVISIONES MAYORES	SIMBOLO DE GRUPO	NOMBRE TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN PARA SUELOS GRANULARES
Limos y arcillas (límite líquido $WL < 50$)	ML	Limos inorgánicos y arena muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad.	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva granulométrica. 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz N°200 los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% -GW, GP, SW, SP).
	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.	
	OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
Limos y arcillas (Límite Líquido $WL > 50$)	MH	Limos inorgánicos suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos.	CARTA DE PLASTICIDAD
	CH	Arcillas o de alta plasticidad, arcillas grasas.	
	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.	
Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba u otros suelos altamente orgánicos.	

Fuente: Bañon,2000.

2.2.5. Estabilización De Suelos

El MTC (2013, p.24), define como la aplicación de técnicas y procedimientos destinados a mejorar las propiedades del suelo con el objetivo de aumentar su resistencia, durabilidad y capacidad de soporte. Este proceso puede incluir el uso de métodos físicos, químicos o mecánicos, así como la introducción de aditivos o modificadores para lograr una mejora significativa en las características del suelo, especialmente en términos de su capacidad de carga y estabilidad estructural.

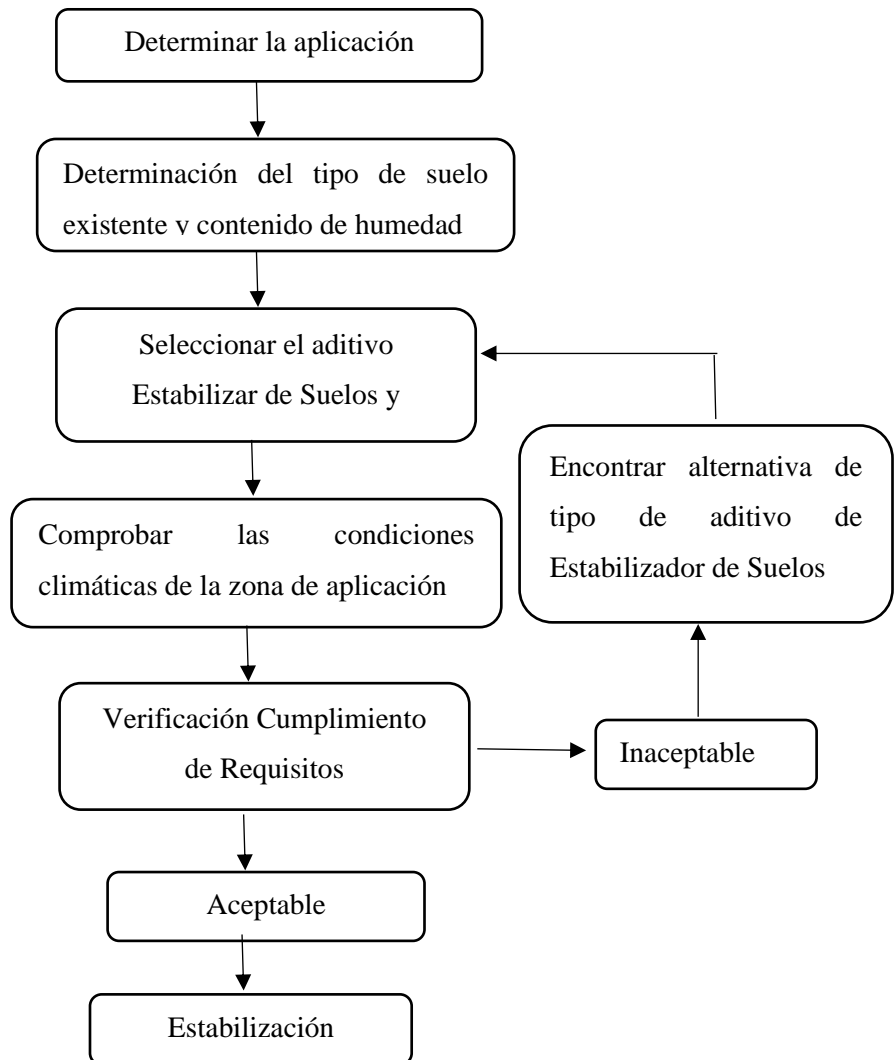


Figura 2.4. Proceso de selección del Tipo de Estabilización. Fuente: MDC-RDN-10-2014.

B) Tipos De Estabilización

a) Estabilización Mecánica de Suelos

El objetivo es elevar la calidad del suelo sin alterar su estructura y composición fundamental. La compactación se emplea como herramienta para alcanzar este propósito.

b) Estabilización por Combinación de Suelos

Se trata de fusionar o combinar los materiales naturales presentes en el suelo con aquellos que se añaden de forma externa.

c) Estabilización por Sustitución de Suelos

- **Construcción de capa directamente sobre suelo natural**
Requiere desgarrar, dar forma y compactar el suelo hasta alcanzar una densidad específica para terraplenes, con profundidad de 15 cm. Cuando el suelo este preparado se añadirá una capa de material para alcanzar el nivel y densidad de subbase necesarios.
- **Excavación previa y reemplazo por el material de adición**
Se removerá el material a reemplazar ya que la mejora se realizará con material completamente adicional. Se llevará a cabo la excavación hasta alcanzar el nivel necesario, permitiendo luego la conformación y compactación para lograr las cotas requeridas.

d) Estabilización con Cal

Para alcanzar este objetivo, se utiliza una mezcla de suelo, cal (viva o hidratada) y agua. La combinación del suelo con la cal provoca una reacción veloz de floculación e intercambio iónico. En suelos con índice de plasticidad (IP) inferior a 15, esto resulta en un aumento de los límites líquido (LL) y plástico (LP), mientras que en suelos con IP superior a 15, se produce una reducción en estos límites. Se recomienda estabilizar con cal los suelos de granulometría fina con cierta plasticidad.

e) Estabilización con Cemento

Se logra mediante la combinación de suelo desmenuzado con cemento, agua y posibles adiciones, seguido de compactación y curado. La resistencia de la mezcla aumenta con la cantidad de cemento y el tiempo de curado.

f) Estabilización con Escoria

Este método se utiliza para mejorar suelos deficientes en términos de ingeniería geotécnica y puede ser una alternativa efectiva para optimizar la calidad del suelo en proyectos de construcción y pavimentación. La escoria actúa como un agente estabilizador al interactuar con las partículas del suelo y mejorar su comportamiento mecánico. Este proceso puede contribuir a la sostenibilidad al reciclar subproductos industriales y reducir la necesidad de utilizar nuevos materiales.

g) Estabilización con Cloruro de Sodio

Principalmente constituido por un 98% de cloruro de sodio y un 2% de arcillas y limos, este material posee la habilidad de absorber la humedad del entorno y de los materiales circundantes, mejorando así la cohesión del suelo y reduciendo el punto de evaporación. Al combinar el suelo con cloruro de sodio, se genera una acción cementante que mejora las características de resistencia del suelo.

h) Estabilización con Cloruro de Calcio

Esta técnica aumenta la cohesión y resistencia del suelo, reduciendo la erosión y mejorando la capacidad de soporte. Es comúnmente utilizada en construcción de carreteras, especialmente en áreas con condiciones climáticas desafiantes.

i) Estabilización con Productos Asfálticos

Se lleva a cabo con dos objetivos principales, en primer lugar, se busca mejorar la estabilidad del suelo aprovechando las propiedades aglutinantes del agente estabilizador que recubre las partículas del suelo, en segundo lugar, se persigue lograr una

impermeabilización del suelo, lo que resulta en una menor susceptibilidad a los cambios de humedad y en una mayor estabilidad frente a diversas condiciones.

2.2.6. Ensayos Mecánicos

A) Proctor Modificado

El procedimiento se basa en la evaluación de las densidades secas de diversas muestras compactadas bajo condiciones uniformes, pero con variados niveles de humedad. Para cada nivel de humedad, se registra una densidad específica, y estos datos se grafican en un gráfico de coordenadas cartesianas para generar la curva Proctor, que caracteriza la relación que se está investigando.

Tabla 2.10. Resumen del ensayo Proctor Modificado.

TIPOS DE ENSAYOS	PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557,91(98)		
MÉTODO	A	B	C
CONDICIONES PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO	%RET.ACUMU. N°4 $\leq 20\%$	%RET. ACUM. $3/8 \leq 20\%$	%RET. ACUM. $3/4 \leq 30\%$
		%RET. ACUM. N°4 $> 20\%$	%RET. ACUM. $3/8'' \leq 20\%$
TIPO DE MATERIAL UTILIZADO	PASANTE LA MALLA N°4	PASANTE LA MALLA 3/8"	PASANTE LA MALLA 3/4"
N° DE CAPAS (N)	5	5	5
N° DE GOLPES (N)	25	25	56
DIÁMETRO DE MOLDE (CM)	10.16 \pm 0.04	10.16 \pm 0.04	10.16 \pm 0.04
ALTURA DE MOLDE (CM)	11.64 \pm 0.05	11.64 \pm 0.05	11.64 \pm 0.05
VOLUMEN DEL MOLDE V (CM ³)	944 \pm 0.04	944 \pm 0.04	944 \pm 0.04
PESO DEL MARTILLO W (KG)	4.54 \pm 0.01	4.54 \pm 0.01	4.54 \pm 0.01
ALTURAL CAIDA DEL MARTILLO (CM)	45.72 \pm 0.16	45.72 \pm 0.16	45.72 \pm 0.16
DIÁMETRO DEL MARTILLO (CM)	5.08 \pm 0.025	5.08 \pm 0.025	5.08 \pm 0.025
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (KG/CM) CM ³	27 \pm 485	27 \pm 485	27 \pm 363

Fuente: NTP 339.141, 1999.

B) California Bearing Ratio (Cbr)

Esta prueba se emplea para analizar la resistencia al corte de suelos compactados, como terraplenes, capas de pavimento y explanadas, además de su aplicación en la clasificación de suelos.

El índice CBR se determina como la relación entre la carga unitaria, expresada en kilogramos por centímetro cuadrado (o libras por pulgada cuadrada, psi), necesaria para que un pistón circular de 19.35 cm² de área penetre a una cierta profundidad en una muestra compactada de suelo, manteniendo constante el contenido de humedad y densidad. Esta relación se establece con respecto a la carga unitaria estándar requerido para lograr la misma penetración en una muestra estándar de material triturado. Normalmente, el CBR se calcula considerando una penetración de 2.54 mm (0.1"), aunque si el valor para una penetración de 5.08 mm (0.2") resulta mayor, se toma ese valor como referencia.

Ecuación 2.4. CBR.

$$CBR = 1 + \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100(\%)$$

El equipo requerido para llevar a cabo el ensayo incluye:

- Moldes cilíndricos de acero con un diámetro interno de 6 pulgadas, que poseen un collarín de 2 pulgadas de altura y una base perforada.
- Un disco espaciador circular de metal con un diámetro exterior de 5 15/16 pulgadas y un grosor de 2.1416 ± 0.005 pulgadas, empleado como falso fondo en el molde cilíndrico durante el proceso de compactación.
- Martillo de 10 libras con una altura de caída de 18 pulgadas, utilizado como pisón de compactación.
- Dispositivo medidor de expansión que consta de una placa de metal perforada con un diámetro de 5 7/8 pulgadas, con agujeros no mayores de 1/16 de pulgada, y un trípode con patas que pueden apoyarse en el borde del molde.

- Uno o dos anillos de metal con una masa total de 4.54 ± 0.02 kg.
- Diales con un recorrido mínimo de 1 pulgada.
- Tanque con capacidad suficiente para sumergir los moldes en agua durante el proceso de saturación.
- Estufa con capacidad para mantener una temperatura de 110 ± 5 °C de manera termostáticamente controlada.
- Balanzas de una capacidad de 20 kg, 1000 g con sensibilidad de 1 g y 0.1 g.
- Equipamiento misceláneo de uso común, como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel filtro del diámetro del molde, entre otros.

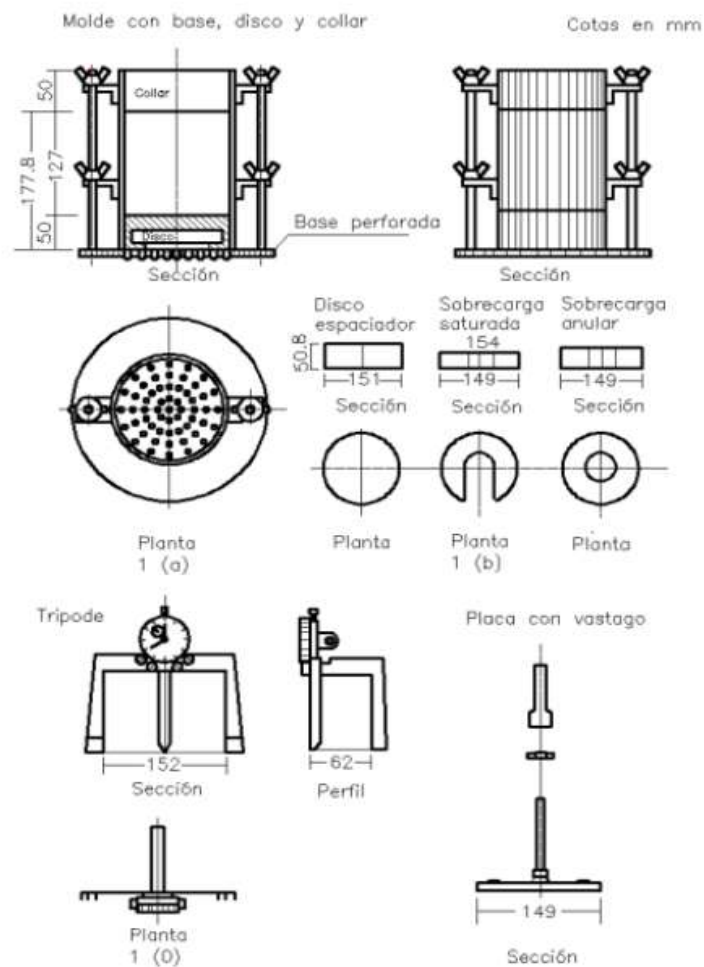


Figura 2.5. Equipo requerido para ensayo CBR. Fuente: ASTM D-1883, AASHTO T-193, J. E. Bowles.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Aceite Residual Automotriz

La mezcla de hidrocarburos se conoce como aceite residual automotriz porque contiene restos de la pérdida de rendimiento de los motores y mecanismo de transmisión de maquinaria pesada, que experimentan una pérdida de sus características originales para las que fueron producidas. (Cruz y Zevallos, 2021).

2.3.2. Módulo De Soporte

El módulo de soporte es la adaptación de un suelo que puede soportar las cargas requeridas para un diseño de construcción, considerando sus propiedades mecánicas del suelo.

2.3.3. Eficiencia Técnica

Es un aspecto relacionado con la capacidad de obtener mejores resultados utilizando una variedad de herramientas técnicas. La eficiencia técnica no se limita a la capacidad de los recursos tecnológicos y los aparatos; es, en realidad, una habilidad de quien los utiliza y sabe cómo maximizar su uso.

2.3.4. Efectividad Económica

- Precio unitario

Villegas (2015), menciona que es el valor económico asignado a una partida.

- Costo total

Villegas (2015), explica que es la suma de todos los costos fijos.

2.3.5. California Bearing Ratio (CBR)

Es la carga por unidad de área necesaria para una profundidad de inserción de 0.1" o 0.2", indicada en porcentaje en sus respectivos valores, se considera como una medida de la resistencia a la fractura del suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. Este ensayo proporciona un índice de la capacidad de soporte, que solo se aplica al estado del suelo durante el ensayo y no es constante para un suelo específico. (SISMID, 2008).

El CBR, aplicado en la elaboración de vías, fue pionero y establece que a medida que el CBR del suelo disminuye en la subrasante, se requerirá un incremento en la profundidad de las capas de la calzada. Este principio sugiere que los suelos con un CBR más bajo necesitarán más material de pavimentación para garantizar la suficiente resistencia y vida útil de la vía. Este vínculo está explicado en el (Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos de 2014, p20).

2.3.6. Proctor Modificado

En este tipo de ensayo se aplica una cantidad específica de energía modificada, que equivale a 2700 kN-m/m³ (56000 pie-lb/pie³), con el objetivo de optimizar las características del suelo, como la como la disminución de los espacios vacíos. Se describen tres enfoques (A, B y C). En el enfoque A, se emplea el elemento que atraviesa por la malla número 4, se compacta en un módulo de 4 pulgadas en cinco capas, y se aplican 25 golpetazos por cada capa. En el enfoque B, se utiliza el elemento que atraviesa la malla 3/8", se compacta en un módulo de 4 pulgadas en cinco capas y se realizan 25 golpetazos por capa. Por último, en el enfoque C, se emplea el elemento que atraviesa por la malla de 3/4", se compacta en un módulo de 6 pulgadas en cinco capas y se aplican 56 golpetazos por minuto por capa. Este proceso se encuentra detallado en la norma MTC E115.

2.3.7. Módulo de Elasticidad

Es una característica de los materiales elásticos que se define como una constante de relación directa entre la fuerza aplicada y el cambio resultante en la forma o estructura.

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Ecuación 2.5. Ecuación de Elasticidad

Esta característica de conducta es comúnmente observada en la mayor parte de los materiales de ingeniería dentro de un intervalo

específico de esfuerzo. Materiales como el concreto, el aluminio, el hierro, la madera, entre otros, son lineales en un rango de esfuerzo muy limitado.

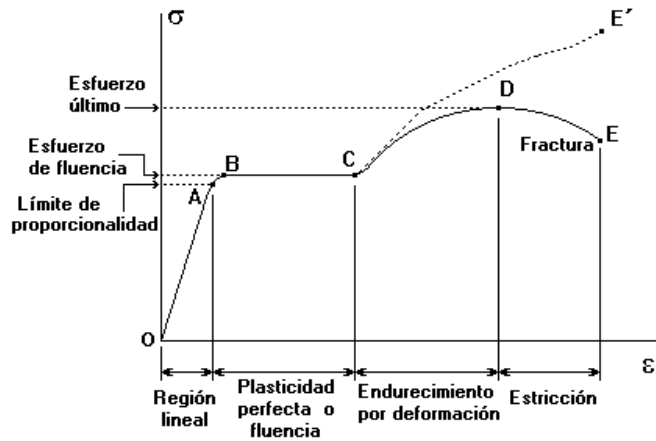


Figura 2.6. Curvas de Elasticidad. Fuente: estudiosgeotecnicos.info.

Existen dos métodos comunes para calcular el módulo de elasticidad a partir de curvas de esfuerzo-deformación no lineales.

- a) **Módulo de tangente.** Consiste en calcular el módulo de elasticidad utilizando la inclinación de la línea tangente a la curva esfuerzo-deformación en un punto específico.
- b) **Módulo secante.** Este método utiliza la pendiente de una línea secante para calcular el módulo de elasticidad. Una línea secante atraviesa la curva de esfuerzo-deformación en dos puntos. Al utilizar este método, los dos puntos generalmente están equidistantes desde el punto de esfuerzo de trabajo.

2.3.8. Ensayo de contenido de humedad

Se realizará con la finalidad de identificar la condición de saturación del terreno, tanto saturado como no saturado. También permitirá la clasificación de los materiales considerados finos, aquellos que pasan por el tamiz N.º 200. Este procedimiento se encuentra detallado en la norma (MTC E108).

2.3.9. Ensayo del límite líquido del suelo

Se emplea la cazuela de "copa de Casagrande" con el fin de evaluar la humedad del suelo mediante la ejecución de 25 golpes. (MTC E110).

2.3.10. Ensayo de límite plástico

El estudio se centra en determinar la humedad más baja a la que el suelo muestra fracturas tras la realización de cilindros de 3 mm de diámetro del material a tratar. Este método se detalla en la norma MTC E111.

Para categorizar los tipos de suelos se utilizan el límite líquido y el límite plástico, además se determina el índice de plasticidad (IP), que se define como la discrepancia entre el límite plástico y el límite líquido. Si no se logra decretar el límite líquido o el límite plástico, se considera que el terreno es no plástico (NP).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis General

La efectividad técnico-económica de las características visco-elásticas de óleos reutilizables inciden significativamente en el módulo de soporte de suelos cohesivos.

3.2 Hipótesis Específicas

1. La efectividad técnica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables inciden significativamente en el módulo de soporte de suelos cohesivos.
2. La efectividad económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables inciden significativamente en el módulo de soporte de suelos cohesivos.

3.3 Variables

3.3.1 Definición Conceptual De Variables

Variable 1 (X): Óleos Reutilizables

La palabra óleo deriva del latín (óleum), que significa aceite; es un término general utilizado para referirse a líquidos y fluidos grasos que no son solubles en agua. El óleo reciclado, es derivado del uso de aceites comerciales, combustibles y comestibles, para su posterior reutilización.

Variable 2 (Y): Módulo de soporte de suelos cohesivos

Este módulo conforma las características físicas del suelo, adecuadas para soportar las cargas necesarias de una traza de vía pavimentada o no pavimentada (Martinez,2019).

3.2.2 Definición operacional de variables

Variable independiente (x): Oleos Reutilizables

Se evaluará las propiedades visco-elásticas del aceite residual automotriz (ARA), en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% respecto al peso del material del suelo a fin de ser comparado con la muestra patrón al 0%.

Variable dependiente (y): Modulo De Soporte De Suelos Cohesivos

Se realizarán ensayos de CBR, Proctor modificado, granulometría, humedad, etc. Al suelo cohesivo, evaluando las propiedades visco-elásticas del óleo reciclado, con fin de evaluar el soporte del suelo y su efectividad técnica y económica en el uso para vías.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2.11. Operacionalización de variables

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES						
VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UND	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Oleos reutilizables.	La palabra óleo deriva del latín (óleum), que significa aceite. Es un término genérico para designar a líquidos y fluidos grasos que no se disuelven en el agua y que poseen menor densidad que esta. El óleo reciclado, es derivado del uso de aceites comerciales, combustibles y comestibles, para su posterior reutilización.	Se evaluará las propiedades visco-elásticas del aceite residual automotriz (ARA), en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% respecto al peso del material del suelo a fin de ser comparado con la muestra patrón al 0%.	Caracterización	Análisis Visco-elástico	Ns/m ²	Razón
			Porcentaje de ARA	0.0	%	Intervalo
				0.5	%	Intervalo
				1.0	%	Intervalo
				1.5	%	Intervalo
Variable dependiente: Módulo de soporte de suelos cohesivos	El módulo de soporte de un suelo, conforma las propiedades mecánicas del suelo, adecuadas para soportar las cargas necesarias de un diseño de vía pavimentada o no pavimentada.	Se realizarán ensayos de CBR, Proctor modificado, granulometría, humedad, etc. Al suelo cohesivo, evaluando las propiedades visco-elásticas del óleo reciclado, con fin de evaluar el soporte del suelo y su efectividad técnica y económica en el uso para vías.	Efectividad técnica	Granulometría	Pulg	Razón
				Módulo de elasticidad	%	Razón
				CBR	kg/m ³	Razón
			Efectividad económica	Precio unitario	S/	Razón
				Costo total	S/	Razón

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Método De Investigación

El método de investigación científico, son aquellas normas que se rigen bajo un procedimiento científico cuya finalidad en la práctica sea aceptada como válida científicamente (Bunge, 1996).

Para la investigación en materia se ha empleado el procedimiento científico; para obtener información verídica e importante; para comprender, comprobar, enmendar o emplear el intelecto en el desarrollo de una investigación.

4.2 Tipo De Investigación

Según Borja (2016), la investigación práctica o aplicada busca dar solución sobre alguna situación problemática que afecta a la población.

En el presente estudio se ha empleado la investigación aplicada, esto puesto que los resultados obtenidos tendrán utilidad en la resolución de problemas relacionados a la eficiencia técnico-económica del módulo de soporte de suelos cohesivos, utilizando oleos reutilizables de aceite residual automotriz.

4.3 Nivel De Investigación

Hernández, Fernández y Baptista (2006), describe que el grado de investigación, es de forma explicativo, pues tiene como propósito explicar los resultados técnicos y económicos al medir la relación que existe entre dos variables entre sí.

Por eso, el propósito de este estudio pretende explicar la efectividad técnico-económica entre las propiedades viscoelásticas de óleos reutilizables de aceite residual automotriz y el módulo de soporte del suelo cohesivo.

4.4 Diseño De La Investigación

Baena (2017), menciona que el diseño experimental está basado en la manipulación de una variable experimental cuyo fin es evaluar el impacto que tiene en la otra variable.

Hernández-Sampieri, Fernández-Collado y Baptista-Lucio (2013) indican que los diseños cuasiexperimentales los sujetos no se asignan aleatoriamente a los conjuntos, sino que dichos grupos ya están establecidos antes del inicio del ensayo.

En ese sentido, este estudio es de diseño cuasi-experimental, el cual se centra en manipular intencionalmente una de las variables a investigar; con el objetivo de verificar si la variable sufre modificaciones debido a la influencia de la primera. En ese sentido, realizaremos ensayos de laboratorio, los cuales tendrán como fin, comparar los diferentes resultados obtenidos al adicionar el aceite residual automotriz en: 0.5%, 1.0% y 1.5% en el material de suelo cohesivo.

GE	O ₁	X	O ₂
		
GC	O ₃		O ₄

Donde:

X= Variable experimental

O₁ O₃ = Mediciones pre-test de la variable 1

O₂ O₄ = Mediciones post-test de la variable 2

4.5 Población Y Muestra

4.5.1 Población

De acuerdo con Sampieri (2014), se describe como un grupo de elementos sobre el cual se investiga o se realizan los estudios correspondientes.

Nuestra población está conformada por 04 dosificaciones de óleo reciclado, ARA: 1 diseño patrón al 0% y 3 diseños en proporciones 0.5%, 1.0% y 1.5%, en el material del suelo cohesivo, con el propósito de contrastarlo con la muestra estándar sin ninguna adición (0%).

4.5.2 Muestra

Hernández Fernández (2006), explica que el proceso cuantitativo, la muestra consiste en un conjunto de individuos, circunstancias, comunidades, entre otros, sobre los cuales se reunirán los datos.

4.6 Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos

A) Observación Directa

El investigador estará presente en el momento de la realización del número de ensayos requeridos para este estudio. (Alan y Cortez,2018).

b) Revisión bibliográfica

Es un método para recopilar información a través de un registro estructurado, con el fin de que este sea más preciso y confiable (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado y Baptista-Lucio, 2013).

Pruebas estandarizadas. - El uso de estos servirá para contrastar las hipótesis planteadas, siendo necesario llevar a cabo las pruebas siguientes:

- Análisis Granulométrico por Tamizado (NTP 339.128.1999)
- Límites de Atterberg (NTP 339.129.1999)
- Peso Unitario Natural (NTP 339.167.2002)
- Peso Unitario Seco (NTP 339.167.2002)
- Contenido de Humedad (NTP 339.127.1998)
- Clasificación Unificada de Suelos SUCS (NTP 339.134.1999)
- Proctor Modificado (NTP 339.141.1999)
- CBR (NTP 339.145.1999)

Procesamiento de la Información

- Se realizarán ensayos en laboratorio para identificar su impacto en las características físico-mecánicas del pavimento.
- En base a los ensayos realizados se determinará si efectivamente cumple con los parámetros normativos.

4.7 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos

Etapa N°1. Trabajo de gabinete

Durante esta fase, se llevó a cabo la investigación sobre el tema mediante la utilización de diversas herramientas de apoyo:

- Tesis relacionadas al tema
- Páginas web

- Revistas científicas

Etapa N°2. Trabajo de campo

Durante este período se llevó a cabo la recopilación de los materiales que se usaron en el proceso de mejoramiento del suelo cohesivo.

- **Calicata:** La calicata se realizó en el distrito de Chilca, donde se excavo el suelo seleccionado, y se obtuvo una muestra.



Figura 3.1. Selección del lugar para la excavación del pozo de exploración.



Figura 3.2. Muestra de la profundidad calicata C-1.

Después de elegir la muestra, esta fue llevada al laboratorio para llevar a cabo los estudios requeridos.



Figura 3.3. Muestra C-1 de suelo cohesivo, llevado al laboratorio.

- **Oleo reutilizable:** para el óleo, utilizamos el aceite residual automotriz (ARA), obtenido de los cambios regulares de aceite de motor y de caja mecánica de vehículos livianos. Para ello se visitó el lubricentro de cambios de aceite de motor.



Figura 3.4. Lubricentro Vea.



Figura 3.5. Retiro de aceite del motor de un vehículo liviano.

- Luego del cambio y retiro de aceite del motor, se obtiene el aceite residual.

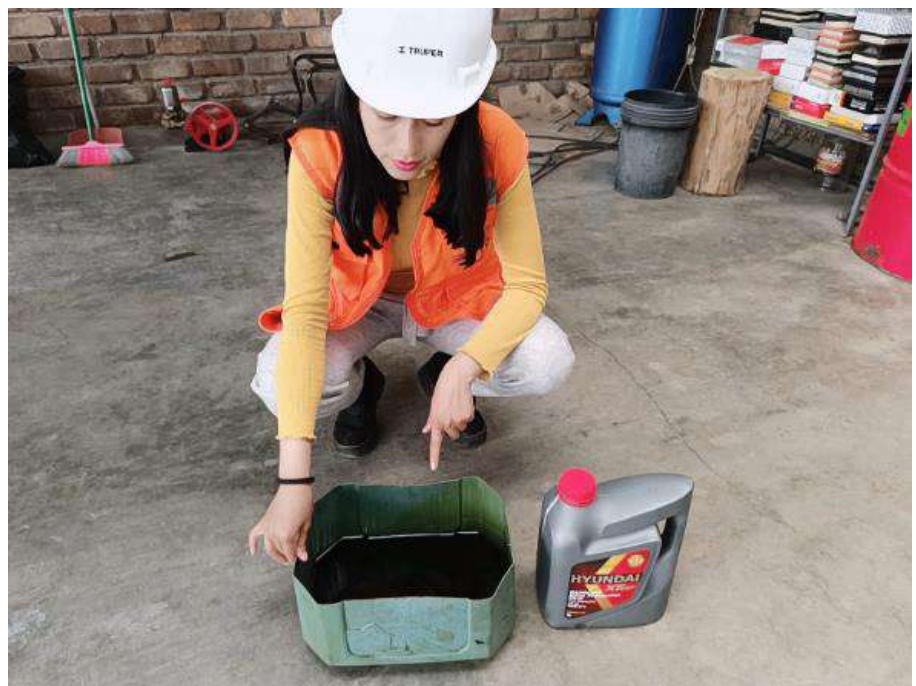


Figura 3.6. Aceite residual automotriz (ARA).

- Una vez tenido el aceite residual automotriz (ARA), se procedió a realizar un filtrado para eliminar residuos metálicos.



Figura 3.7. Diferentes aceites para vehículos livianos.

Etapa N°3. Laboratorio

- Se realizo el análisis granulométrico al suelo, muestra M-1.



Figura 3.8. Tamizado de la muestra.

- Se realizo el análisis límite de consistencia del suelo.



Figura 3.9. Prueba del límite líquido.



Figura 3.10. Prueba de limite plástico.

- Se realizo los diseños de mezcla requeridos para la dosificación, del 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, de acuerdo al peso del suelo.



Figura 3.11. Incorporación de aceite residual automotriz.

- Se realizo el ensayo de expansión del suelo dosificado para el CBR.



Figura 3.12. Ensayo de expansión del suelo CBR, con incorporación de ARA.



Figura 3.13. Ensayo de CBR, con incorporación de ARA.

Etapa N°4. Gabinete

- Se realizo la consolidación de los resultados derivados de las pruebas de laboratorio.
- Se utilizaron programas de análisis de datos, como Excel.
- Se desarrollo la verificación técnica y económica de la investigación.
- Y finalmente se obtuvieron las conclusiones y recomendación del tema investigado.

4.8 Aspectos Éticos de la Investigación

Los elementos éticos contemplados en este estudio son los siguientes:

- Diagramas de barras
- Gráficos estadísticos
- Programa Excel.
- Programa S10, costos unitarios.

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1 Ubicación Geográfica

5.1.1 Ubicación De La Zona De Estudio

El estudio se llevó a cabo en el distrito de Chilca, en la provincia de Huancayo, en el Departamento de Junín. Concretamente, se ubicó en el Pasaje Cantuta número #169.

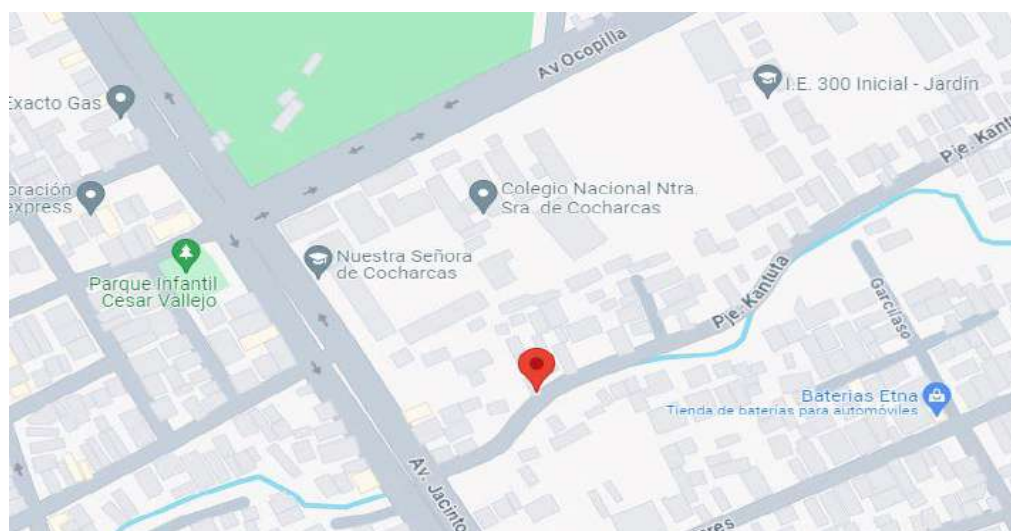


Figura 4.1. Ubicación del lugar de estudio. **Fuente:** Google Maps.

5.2 Eficiencia Técnica

5.2.1. Trabajo De Laboratorio

Se llevó a cabo una prueba de granulometría 01 (NTP 339.132, 2014), se recolectaron las muestras del suelo de Psj Cantuta, Chilca, con código C-1. Los suelos se clasificaron a través del sistema AASTHO (NTP 339.135, 2014) y SUCS (NTP 339.134, 2014). Se llevaron a cabo cuatro ensayos de límite de Atterberg

para calcular el índice de plasticidad del suelo en su condición natural, en los que se analizaron y estudiaron los límites líquidos (MTC E-110, 2016) y plásticos (MTC E-111, 2016), y luego se llevó a cabo una prueba para identificar el material que atravesó el tamiz n°200 utilizando el procedimiento "A" (NTP 339.132, 2014).

Las muestras se tomaron de la siguiente manera: para la muestra convencional y las muestras dosificadas con aceite residual de automóviles; también se realizaron 04 ensayos de Proctor modificado, con el fin de calcular su densidad seca y humedad. 01 ensayos con muestras de calicata M-01 en estado natural y 03 ensayos con muestras que incorporan 0,5%, 1,0 % y 1,5 % de aceite residual de vehículos. De manera similar, se llevaron a cabo 04 pruebas de penetración CBR (MTC E-132, 2000) para evaluar la fuerza que ofrece el suelo. Se tomaron muestras de la siguiente manera: 01 ensayos con calicatas M-01 en estado natural; 03 ensayos con muestras de tierra separadas con la integración de 0,5%, 1,0 % y 1,5 % de aceite residual de vehículos. Se realizaron las pruebas en el laboratorio ANCCOR S.A.C.

La muestra de suelo M-01 utilizada en esta tesis fue manipulada y transportada con gran cuidado para garantizar que sus resultados no se alteraran. Los estudios se llevaron a cabo siguiendo las normativas y las regulaciones de métodos normalizados y se llevaron a cabo en el laboratorio ANCCOR SAC. Los efectos de los análisis demostraron que se pudo examinar minuciosamente los atributos de todas las muestras de suelo extraídas del pozo de exploración.

5.2.2. GRANULOMETRÍA ASTM 422-MTC E107

Primero, se realizó la prueba de análisis de tamaño de grano (granulométrico) (ASTM-422, MTC E 107, NTP 339.134-2014). Esta prueba clasificó y separó la muestra terrosa M-01 en relación a su dimensión, utilizando mallas de variados tamaños para determinar el tamaño de las partículas.

Tabla 4.1. Resultados del análisis granulométrico, muestra M-1.

ANÁLISIS GRANULOMETRICO					
TAMIZ		PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
(pulg.)	(mm.)				
					100.0
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	9.2	0.3	0.3	99.7
1/2"	12.500	21.2	0.6	0.9	99.1
3/8"	9.500	53.1	1.5	2.4	97.6
N° 4	4.750	233.6	6.7	9.1	90.9
N° 8	2.360	224.8	6.4	15.5	84.5
N° 10	2.000	169.6	4.8	20.3	79.7
N° 16	1.190	118.5	3.4	23.7	76.3
N° 20	0.840	121.2	3.5	27.2	72.8
N° 30	0.600	114.6	3.3	30.5	69.5
N° 40	0.425	111.7	3.2	33.6	66.4
N° 50	0.300	72.4	2.1	35.7	64.3
N° 80	0.177	89.9	2.6	38.3	61.7
N° 100	0.150	119.5	3.4	42.7	58.3
N° 200	0.075	269.3	7.7	49.4	50.6
< N° 200	FONDO	1771.4	50.6	100.0	0.0

La tabla 4.1, que incluye el análisis de tamaño por grano de la muestra terrosa M-01, muestra que la proporción de granos que se retuvieron en el colador N°200 es del 7.7%. Esto demuestra que la muestra satisface los criterios establecidos estándar de la norma ASTM 422 MTC 107 y la norma NTP 339.132 de 2014, que establecen que el 50% o menos de las partículas se retuvieron en el tamiz N°200 para que la muestra sea considerada fina según su clasificación.

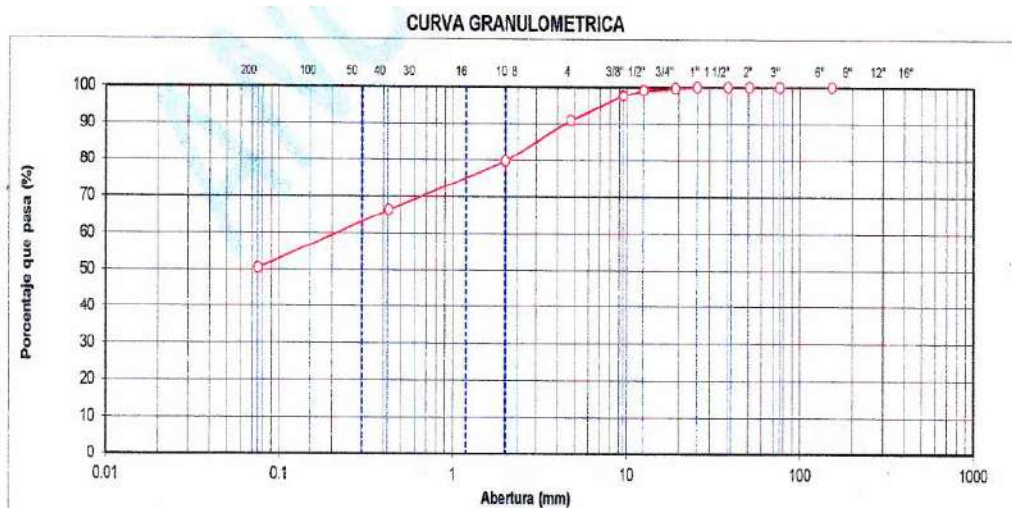


Figura 4.2. Curva granulométría muestra de calicata, en estado natural.

Según la estratigrafía de la Figura 4.1, se puede ver que en los tamices 3", 2" y 1" la proporción de granos que pasan es el 100% desde el punto inicial de la curva. En los tamices 3/4", 1/2" y 3/8", la proporción de granos que pasan es del 99.7%, el porcentaje de partículas que pasan es del 99.1%, la proporción de granos que pasan en el tamiz N°4 es del 45.3%, la proporción de granos que pasan en el tamiz N°200. La muestra M-01 sometida a prueba de laboratorio es suelo fino porque la proporción de granos que pasan es del 50.6% según las normas ASTM 422, que indican que el 50% o más de las partículas pasan por el tamiz N°200 debe ser considerado fino según su clasificación.

Se utilizó el sistema SUCS (NTP 339.134-2014) y AASHTO (NTP 339.135-2014) para determinar la clasificación del suelo de la muestra de suelo M-01 ensayada en laboratorio. El sistema SUCS dio el signo clásico CL-ML y el sistema AASHTO dio el signo A-4(0). Además, se logró determinar el contenido de humedad de la prueba de muestra M-01 en estado natural, como se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Resultado de clasificación SUCS, ASSTHO de muestra M-01.

Ítem	Identificación	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Contenido de Humedad
1.0	M-01 Suelo convencional	CL – ML	A-4 (0)	13.0%

5.2.3. LÍMITES DE ATTERBERG ASTM 4318

Las pruebas de límites de Atterberg (ASTM D4318, MTC E 1090-2000) son cruciales para determinar la categorización del suelo analizado., así como para determinar sus atributos físicos y mecánicos para mejorarlas, y para determinar los límites líquidos, plásticos e índices de plasticidad.

El índice de plasticidad de la muestra ensayada fue del 6%, límite líquido del 22% y un límite plástico del 16%. Además, se realizaron las pruebas de Atterberg en muestras con dosificaciones del 0,5%, 1,0 % y 1,5 %, los límites líquidos de las muestras ensayadas fueron del 18%, 13%, 10%, el límite plástico del 14%, 10%, 7% y el índice de plasticidad del 4%, 3%, 3%, respectivamente. Según la clasificación del suelo, corresponde a un suelo poco arcilloso y se encuentra en el rango de $IP < 7$, suelo de plasticidad baja.

a) Resumen de los ensayos de límite de Atterberg

Aquí se presenta un resumen de las pruebas del límite de Atterberg a la muestra M-01 de suelo convencional y con incorporación detallada líneas arriba.

Tabla 4.3. Resumen de las pruebas de Atterberg, realizados a la muestra M-01

Ítem	Identificación	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de Plasticidad (IP)
1.0	M-1 Suelo convencional	22.0%	16.0%	6.0%
2.0	M-1 + 0.5% Aceite residual automotriz	18.0%	14.0%	4.0%
3.0	M-1 + 1.0% Aceite residual automotriz	13.0%	10.0%	3.0%
4.0	M-1 + 1.5% Aceite residual automotriz	10.0%	7.0%	3.0%

Límites de Atterberg

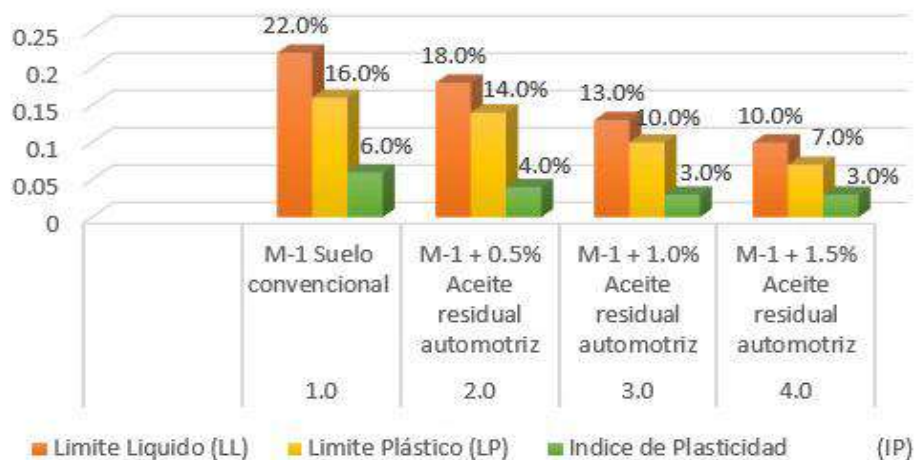


Figura 4.3. Diagrama de relación de los límites de Atterberg, en diferentes incorporaciones de aceite residual automotriz.

5.2.4. PROCTOR MODIFICADO ASTM D 1557

Se utilizó el método "A" como referencia y se determinó el contenido de humedad en mención con la densidad seca, esto permitió obtener la curva de compresión. Como paso inicial, es crucial determinar la densidad de la muestra M-01, así como con la inclusión de 0.5%, 1.0% y 1.5% de aceite residual automotriz. Esto nos permitirá determinar de manera precisa el punto de humedad ideal y la máxima densidad seca.

A) Ensayo de Proctor del suelo convencional sin incorporación de ARA.

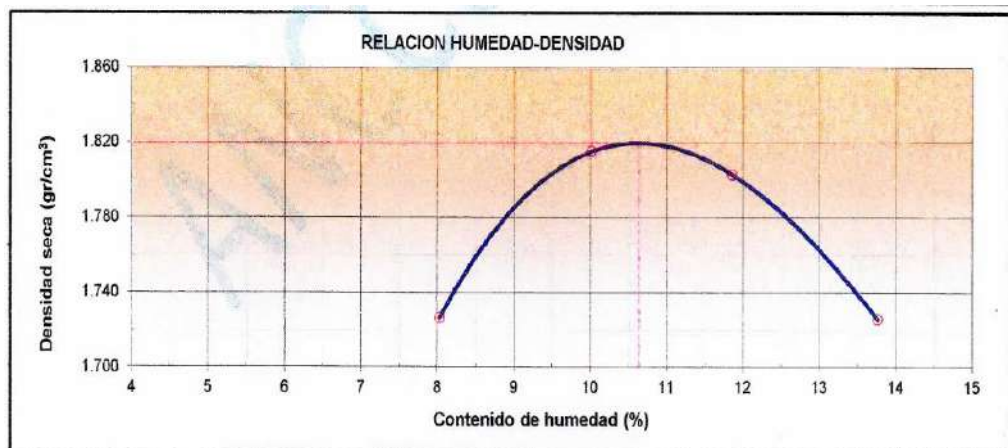


Figura 4.4. Relación humedad-densidad, suelo convencional.

En la figura 4.4 se representa el diagrama del suelo convencional sin la adición de aceite residual automotriz, se estableció que el nivel de humedad óptimo para esta muestra es del 10.63%, respecto a su volumen de masa máxima seca de 1.820 gramos por centímetro cúbico.

B) Ensayo de Proctor del suelo convencional incorporación de ARA al 0.5%.

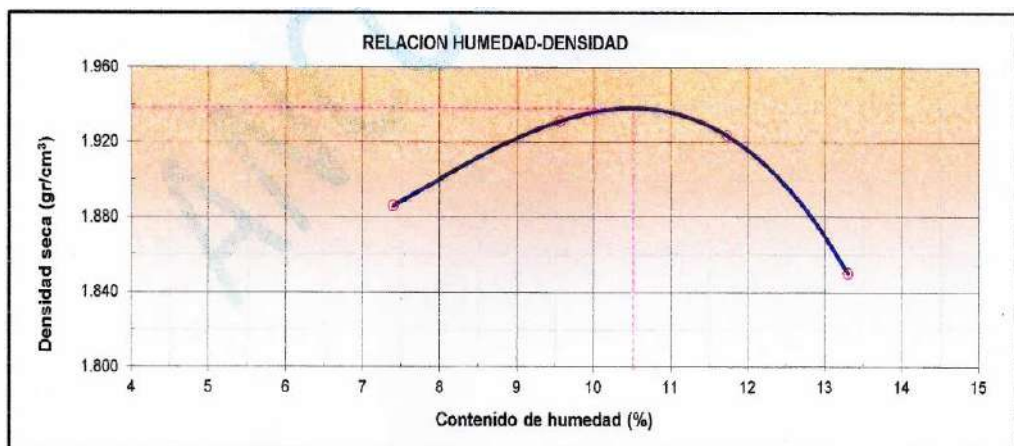


Figura 4.5. Relación humedad-densidad, suelo convencional + ARA al 0.5%.

En la figura 4.5 se representa el diagrama del suelo convencional con la incorporación de aceite residual automotriz al 0.5%, se concluyó que el nivel ideal de humedad para esta muestra es del 10.51%, con una densidad máxima de 1.938 gramos por centímetro cúbico.

C) Ensayo de Proctor del suelo convencional incorporación de ARA al 1.0%.

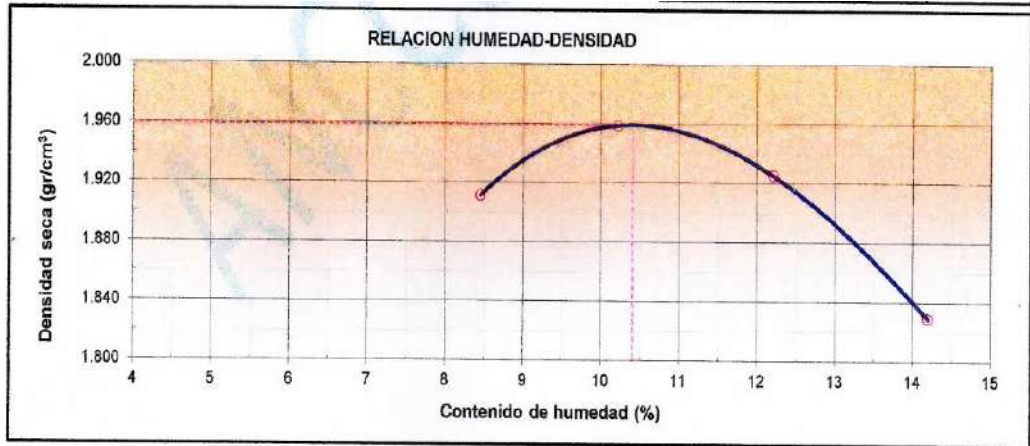


Figura 4.6. Relación humedad-densidad, suelo convencional + ARA al 1.0 %.

En el gráfico 4.6 se muestra el esquema del suelo convencional con la inclusión de aceite residual automotriz al 1.0%, se concluyó el contenido excelente de humedad para esta muestra es del 10.40%, con una densidad máxima seca de 1.959 g/cm³.

D) Ensayo de Proctor del suelo convencional incorporación de ARA al 1.5%.

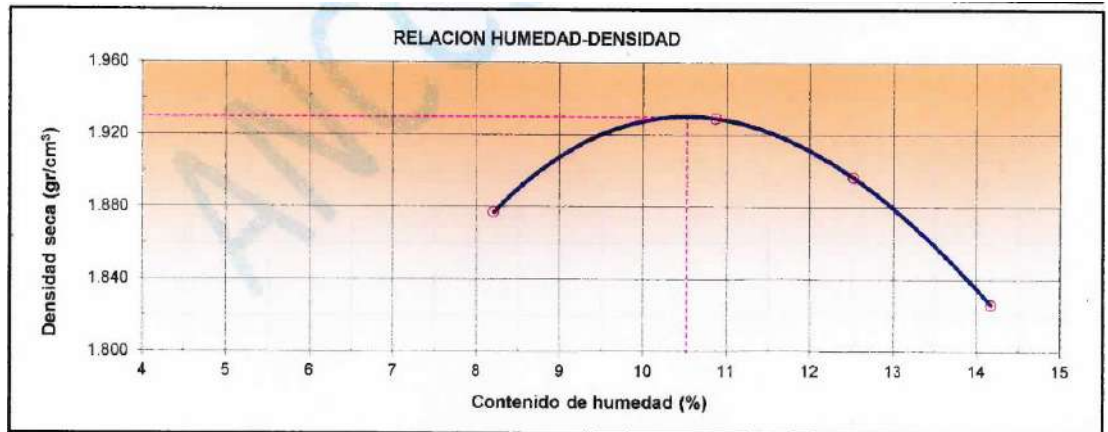


Figura 4.7. Relación humedad-densidad, suelo convencional + ARA al 1.0 %.

En el gráfico 4.7 se muestra el esquema del suelo convencional con la inclusión de aceite residual automotriz al 1.5%, se concluyó que el contenido ideal de humedad para esta muestra es del 10.52%, en relación con su densidad máxima seca de 1.930 gramos por centímetro cúbico.

E) Resumen de los ensayos de Proctor modificado

En el cuadro 4.5 se presenta una síntesis de los resultados del análisis realizado en la muestra de suelo convencional. Se concluyó que el contenido ideal de humedad es del 10.63%, con una densidad máxima seca de 1.820 gramos por centímetro cúbico.

Además, se muestran los resultados de la mezcla de la muestra de tierra con la incorporación del 0.5%, 1.0% y 1.5% de aceite residual automotriz (ARA). Los valores óptimos de humedad para estas muestras son 10.51%, 10.40% y 10.52%, respectivamente, en relación con sus densidades máximas secas de 1.938 gr/cm³, 1.959 gr/cm³ y 1.930 gr/cm³, según la dosificación detallada.

Tabla 4.4. Resumen de resultados de los ensayos de Proctor Modificado.

Ítem	Identificación	Humedad Óptima (%)	Densidad Máxima seca (gr/cm ³)
1.0	M-1 Suelo convencional	10.63	1.820
2.0	M-1 + 0.5% Aceite residual automotriz	10.51	1.938
3.0	M-1 + 1.0% Aceite residual automotriz	10.40	1.959
4.0	M-1 + 1.5% Aceite residual automotriz	10.52	1.930

a) Humedad óptima O.C.H

Se elaboró un gráfico de barras que muestra la humedad óptima de los suelos ensayados, en este gráfico se compararon la muestra convencional con las muestras que contenían adiciones de ARA al 0.5%, 1.0% y 1.5%.

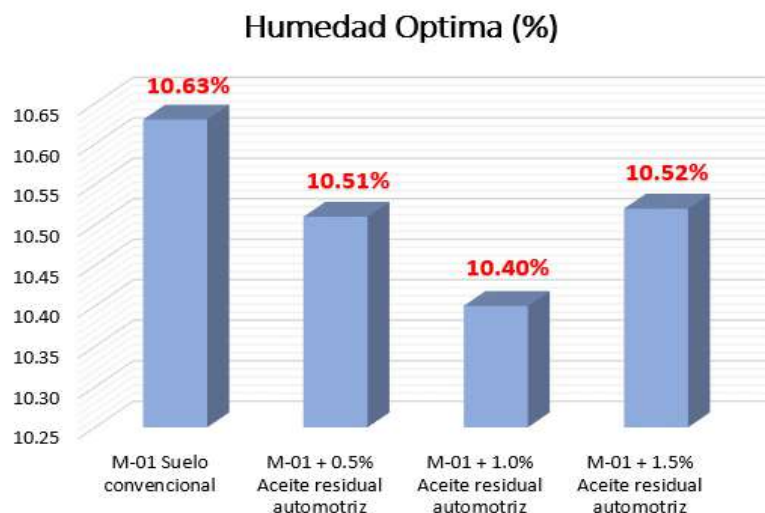


Figura 4.8. Diagrama de Humedad Óptima de muestras ensayadas.

Se observa que; al incorporar el aceite residual en porcentajes de 0.5% la humedad óptima disminuye un 1.12%, y al 1.0% de ARA, se reduce en 2.16%,

en relacion a la muestra patron. Al 1.5% de ARA, se incrementa con una diferencia del 1.03% en relacion a la muestra convencional, a mayor incorporacion del aceite residual automotriz, la humedad optima se incrementa, tal y como se ilustra en la imagen 4.8.

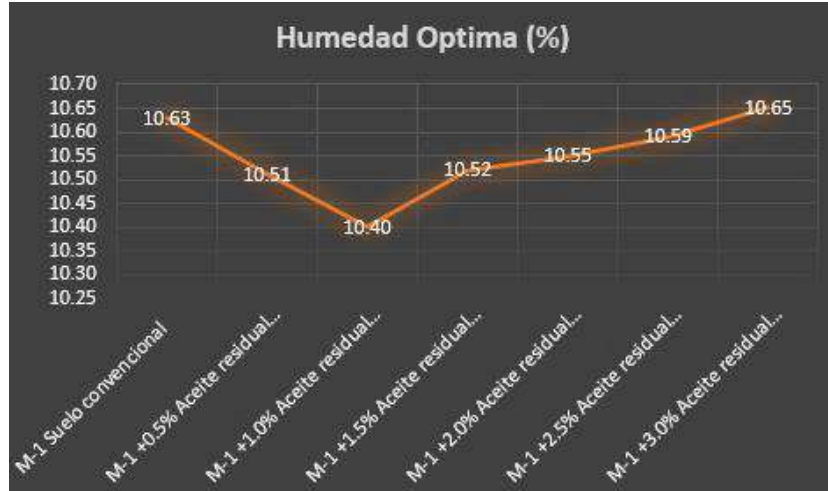


Figura 4.9. Diagrama de proyección de humedad optima de las muestras ensayadas.

En la figura 4.9. se realizó una proyección de los incrementos del 2.0%,2.5% y 3.0% de aceite residual a la muestra M-01, se observó que; a mayor incorporacion de ARA a la muestra, mayor es su humedad. Por la tanto la dosificacion adecuada para una O.C.H. óptimo es de 1.0% de de ARA.

b) Densidad máxima seca D.M.S.

Se realizo un diagrama de barras del máximo nivel de densidad en condiciones de sequedad de los suelos ensayados; la muestra fue objeto de comparación con las muestras incorporadas de ARA, al 0.5%, 1.0% y 1.5%.

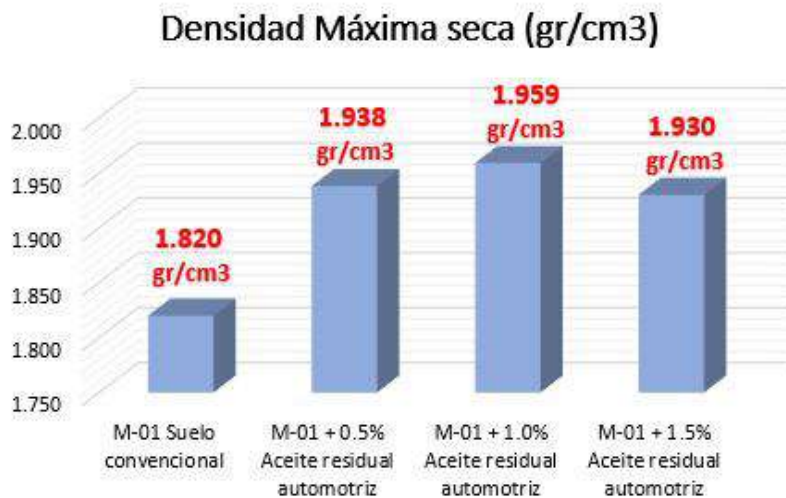


Figura 4.10. Diagrama de densidad máxima seca de las muestras ensayadas.

Se observa en la figura 4.10; al incorporar el aceite residual en porcentaje de 0.5% y 1.0%, la densidad máxima seca aumenta en un 6.08%, y 6.02%, respectivamente en relacion a la muestra patron. Al 1.5% de ARA, disminuye un 1.48% en relacion a la adicion anterior del 1.0. Esto se entiende que a mayor incorporacion del aceite residual automotriz, la densidad máxima seca disminuye, tal y como se evidencia en la figura 4.10.

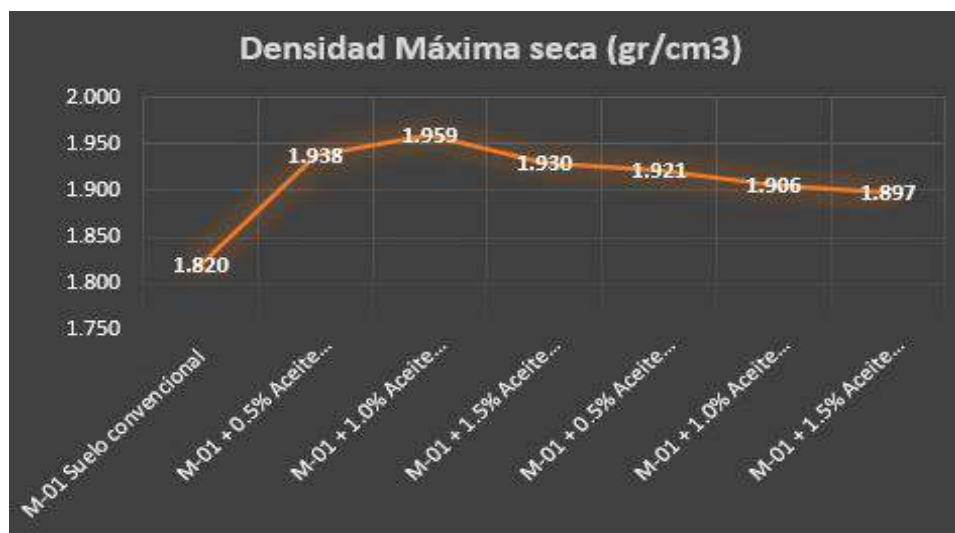


Figura 4.11. Diagrama de proyección de Densidad máxima seca de muestras ensayadas.

En la figura 4.11, se realizó una proyección de los incrementos del 2.0%, 2.5% y 3.0% de aceite residual a la muestra M-01, se observó que; a mayor incorporación de aceite usado de vehículos automotores a la muestra, es menor su densidad. Por lo tanto la dosificación adecuada para una D.M.S, óptimo es de 1.0% de incorporación de ARA.

5.2.5. CALIFORNIA BARING RATIO (CBR) ASTM D 1883

A) M-01 Muestra convencional

El ensayo realizado en la muestra de suelo convencional es crucial, ya que determina el módulo de soporte del suelo, lo que es crucial para su uso Como base para el diseño de vías. En el caso específico de la muestra M-01, se realizó la prueba de CBR con el fin de establecer su capacidad portante patrón. Para este propósito, se realizaron tres especímenes, cada uno sometido a distintos niveles de energía en función a golpes. El ejemplar N°01 se sometió a un nivel de energía de 27.7 Kg*cm/cm³ (equivalente a 56 golpes), el ejemplar N°02 a un nivel de energía de 12.2 Kg*cm/cm³ (equivalente a 25 golpes), y el ejemplar N°03 a un

nivel de energía de 6.1 Kg*cm/cm³ (equivalente a 12 golpes). Además, para los tres ejemplares se aplicó una sobrecarga de 4.53 kg.

Tabla 4.5. Resultados de CBR al suelo convencional.

Ítem	Identificación	Penetración	Valor CBR al 95%	Valor CBR al 100%
1.0	M-1 Suelo convencional	1"	3.1	5.1

En el recuadro 4.5 se muestra el resultado de la prueba realizado en la muestra M-01, el ensayo de CBR al 100% arrojó un valor de 5.1% de CBR para una penetración de 0.1", mientras que el ensayo de CBR al 95% mostró un valor de 3.1% de CBR para la misma penetración. Según lo establecido en el manual de carreteras (MTC), que indica que valores de CBR por debajo del 6% se consideran inadecuados para su uso como subrasante, se concluye que el suelo fino es considerado deficiente para tal fin.

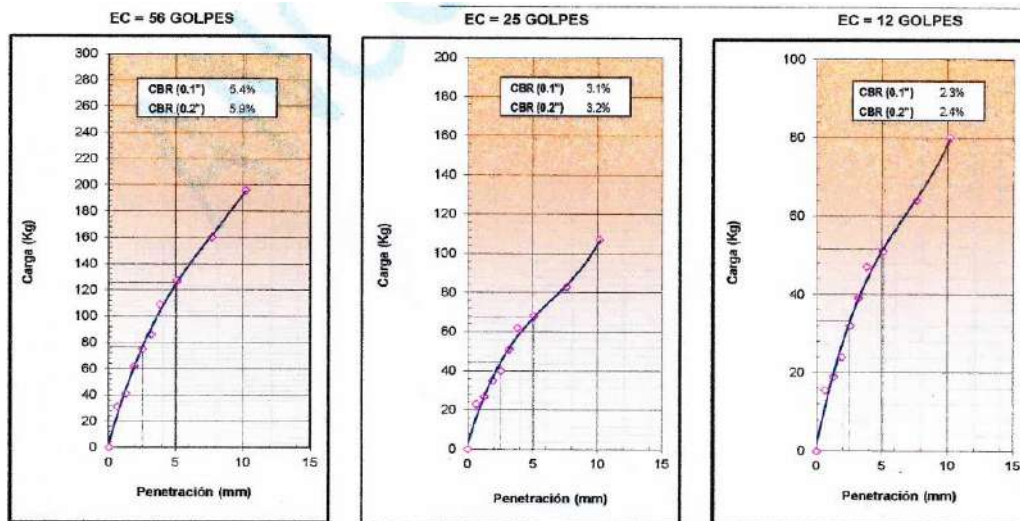


Figura 4.12. Diagramas de CBR de tres especímenes de la muestra, suelo convencional.

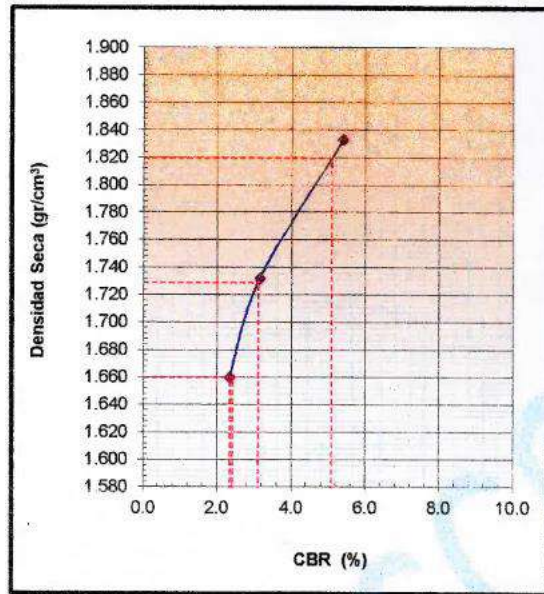


Figura 4.13. Diagrama de ensayo CBR de la muestra convencional.

La figura 4.13 exhibe la curva que relaciona el valor de CBR con relación a la densidad del suelo en condiciones de sequedad, se observa que la máxima densidad seca alcanzada es de 1.820 g/cm³. En este punto, el valor de CBR es del 5.1% para un ingreso de 0.1". Estos resultados indican que la sub-rasante es de baja calidad o pobre.

B) M-02 Muestra convencional + 0.5% de incorporación de ARA

Tabla 4.6. Resultados de CBR al suelo convencional con incorporación ARA al 0.5%.

Ítem	Identificación	Penetración	Valor CBR al 95%	Valor CBR al 100%
2.0	M-1 + 0.5% Aceite residual automotriz	1"	9.9	14.7

En el recuadro 4.6 se muestra el resultado de la prueba realizada en la muestra M-02, la cual contiene una incorporación de 0.5% de aceite residual automotriz (ARA). El ensayo de CBR al 100% arrojó un valor de 14.7% de CBR para una inserción de 0.1", mientras que el ensayo de CBR al 95% mostró un valor de 9.9% de CBR para la misma penetración. Según el manual de carreteras, que indica que valores de CBR por encima del 10% se consideran adecuados para su uso como sub-rasante, se concluye que el ejemplar de tierra con una incorporación del 0.5% de ARA se estima buena para dicho propósito.

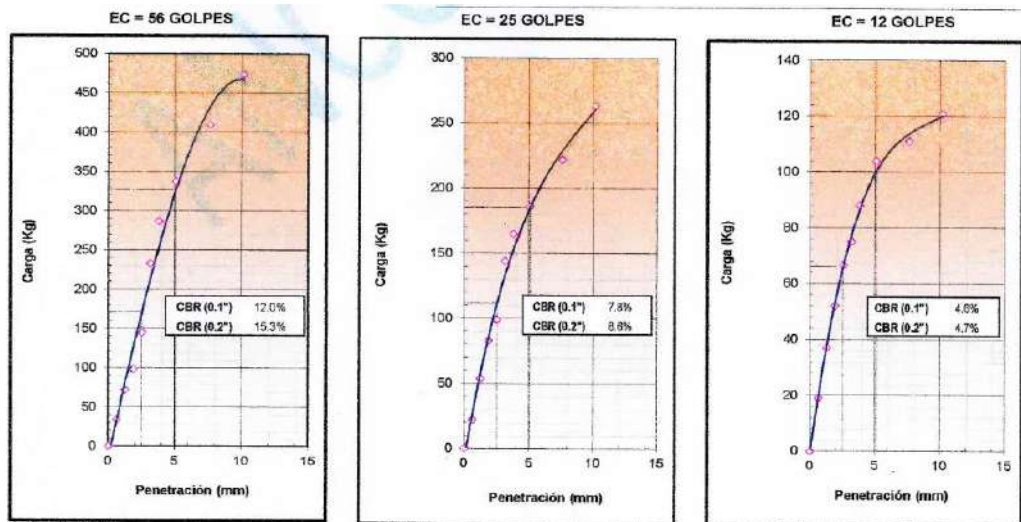


Figura 4.14. Diagramas de CBR de tres especímenes de suelo convencional + ARA al 0.5%.

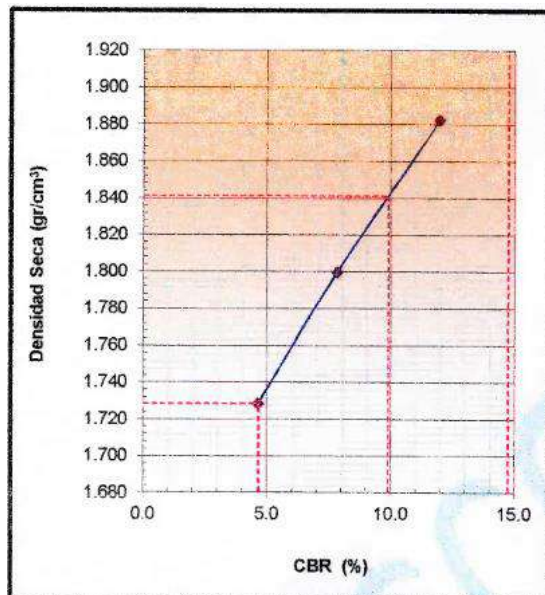


Figura 4.15. Diagrama de ensayo CBR de la muestra convencional + ARA al 0.5%.

En la figura 4.10 se representa la curva que muestra la correlación entre el índice de CBR y la densidad seca del suelo. Según la información recolectada para el ensayo de CBR al 100%, se alcanza una máxima densidad seca de 1.940 g/cm³. En este punto, el valor de CBR es del 14.7% para una inserción de 0.1". Estos resultados indican que la sub-rasante es de buena calidad.

C) M-03 Muestra convencional + 1.0% de incorporación de ARA

Tabla 4.7. Resultados de CBR al suelo convencional con incorporación ARA al 1.0%.

Ítem	Identificación	Penetración	Valor CBR al 95%	Valor CBR al 100%
3.0	M-1 + 1.0% Aceite residual automotriz	1"	17.3	29.3

En el recuadro 4.7 se evidencia el resultado de la prueba realizada en la muestra M-03, la cual contiene una incorporación de 1.0% de aceite residual automotriz (ARA). El ensayo de CBR al 100% arrojó un valor de 29.3% de CBR para una penetración de 0.1", mientras que la prueba de CBR al 95% mostró un valor de 17.3% de CBR para la misma penetración. De acuerdo con el manual de carreteras, que indica datos por encima del 20% se consideran adecuados para su uso como sub-rasante, se concluye que la muestra de suelo con una incorporación del 1.0% de ARA es vista como muy buena para dicho propósito.

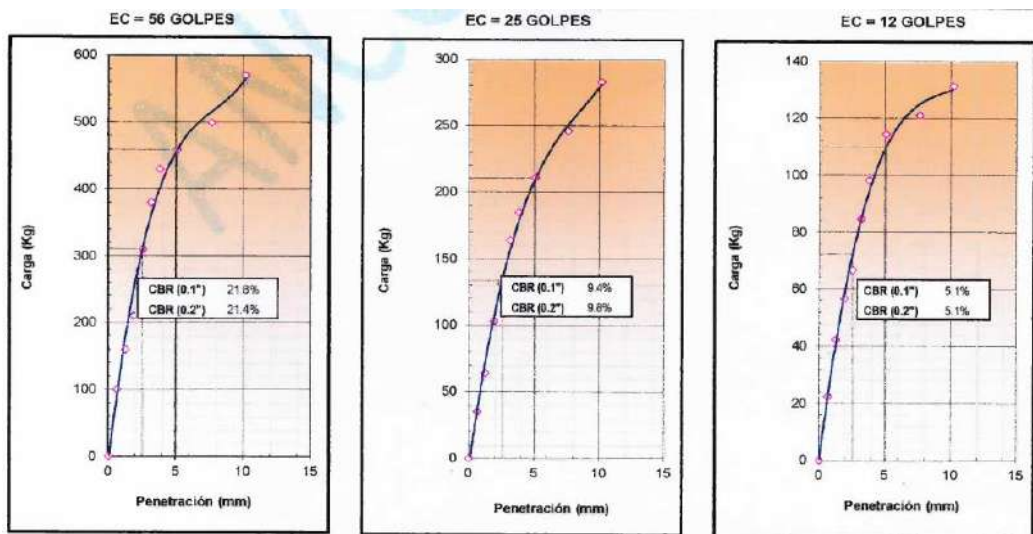


Figura 4.16. Diagramas de CBR de tres especímenes de suelo convencional + ARA al 1.0%.

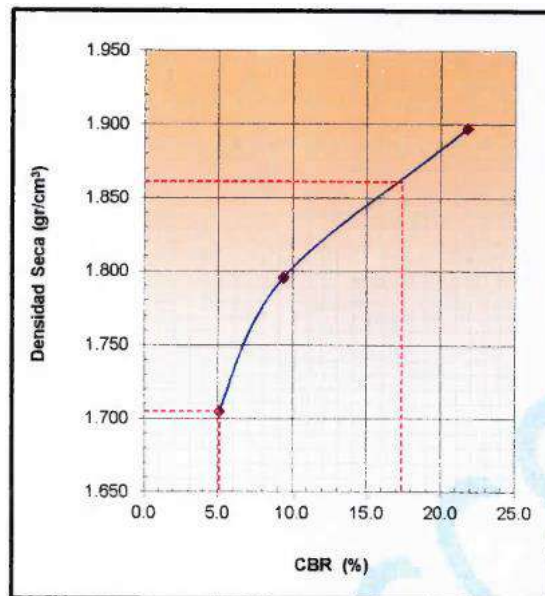


Figura 4.17. Diagrama de ensayo CBR de la muestra convencional + ARA al 1.0%.

En la figura 4.17 se muestra la curva que representa la conexión entre el índice de CBR y la densidad del suelo en condiciones de sequedad según la

información recopilada para el ensayo de CBR al 100%, se alcanza una máxima consistencia de 1.960 g/cm³. En este punto, el valor de CBR es del 29.3% para una inserción de 0.1". Estos resultados indican que la sub-rasante es de muy buena calidad.

D) M-04 Muestra convencional + 1.5% de incorporación de ARA

Tabla 4.8. Resultados de CBR al suelo convencional con incorporación ARA al 1.5%.

Ítem	Identificación	Penetración	Valor CBR al 95%	Valor CBR al 100%
4.0	M-1 + 1.5% Aceite residual automotriz	1"	17.1	28.4

En el recuadro 4.8 se presentan los resultados obtenidos del experimento en la muestra con una adición de 1.5% de aceite residual automotriz (ARA). Según la información recopilada, se obtuvo un valor de 28.4% de CBR para una penetración de 0.1", mientras que la prueba de CBR al 95% arrojó un valor de 17.1% de CBR para la misma penetración. De acuerdo con las especificaciones del manual de carreteras (MTC), que determina que los valores de CBR por encima del 20% se consideran adecuados para su uso como sub-rasante, se concluye que la muestra de suelo con una adición del 1.5% de ARA se considera muy buena para dicho propósito.

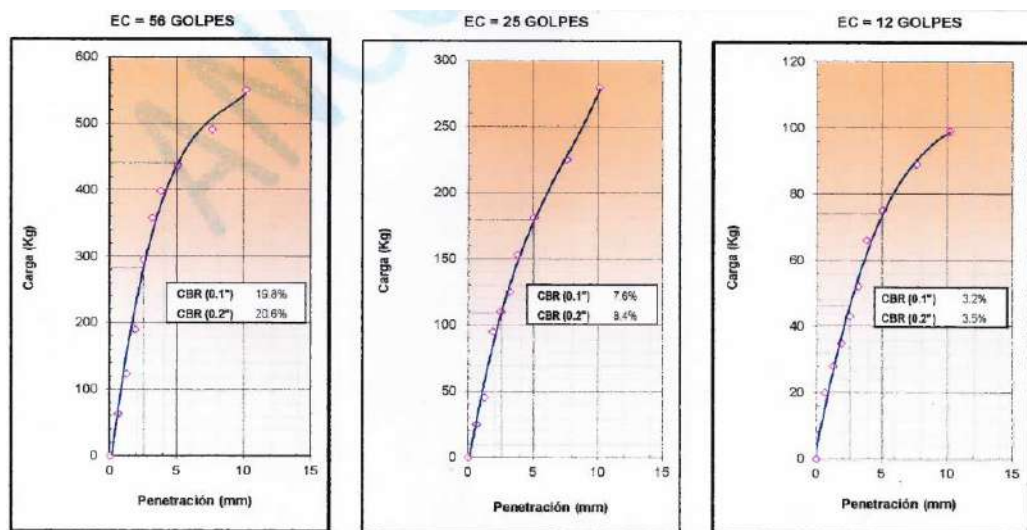


Figura 4.18. Diagramas de CBR de tres especímenes de suelo convencional + ARA al 1.5%.

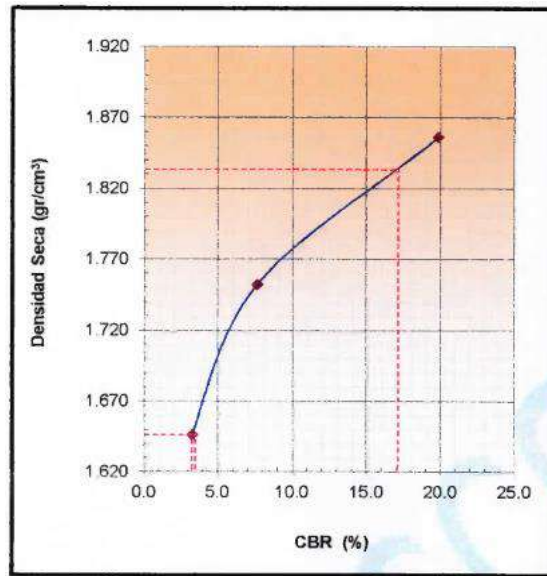


Figura 4.19. Diagrama de ensayo CBR de la muestra convencional + ARA al 1.5%.

En la figura 4.19 se representa la curva que ilustra la conexión entre el índice de CBR y la densidad del suelo en estado seco., según los resultados obtenidos para el ensayo de CBR al 100%, se alcanza una máxima densidad seca de 1.930 g/cm³. En este punto, el valor de CBR es del 28.4% para una inserción de 0.1". Estos valores indican que la sub-rasante es de muy buena calidad.

E) Resumen de los ensayos de C.B.R.

Tabla 4.9. Resumen de resultados de los ensayos de C.B.R.

Ítem	Identificación	Penetración	Valor CBR al 95%	Valor CBR al 100%
1.0	M-1 Suelo convencional	1"	3.1	5.1
2.0	M-1 + 0.5% Aceite residual automotriz	1"	9.9	14.7
3.0	M-1 + 1.0% Aceite residual automotriz	1"	17.3	29.3
4.0	M-1 + 1.5% Aceite residual automotriz	1"	17.1	28.4

Se realizó un diagrama de barras del C.B.R al 100%, de los suelos ensayados; la muestra fue objeto de comparación con los modelos incorporados de ARA, al 0.5%, 1.0% y 1.5%.

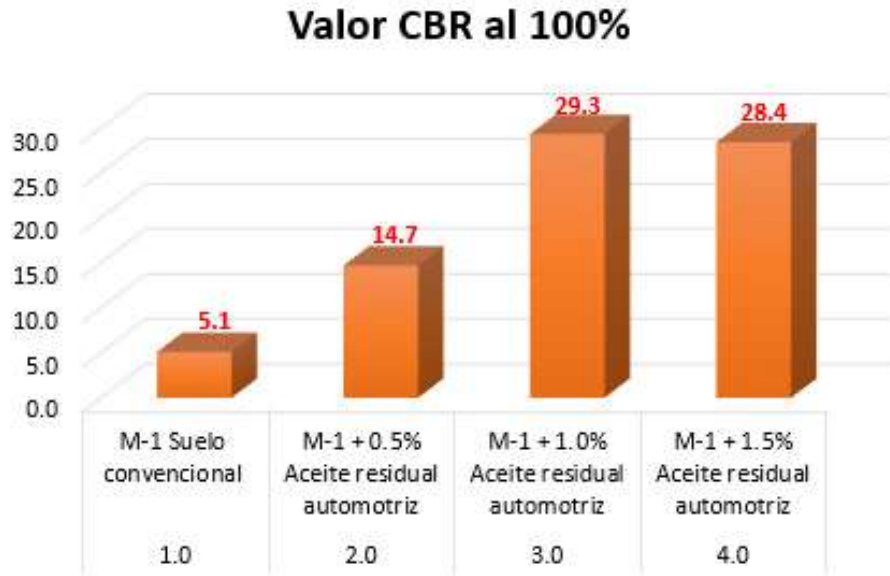


Figura 4.20. Diagrama de C.B.R. de muestras ensayadas.

En la figura 4.20, se observa que; al incorporar el aceite residual en porcentajes de 0.5%, el CBR incrementa un 65.3% en relación a la muestra convencional. Y al incorporar 1.0%, el CBR incrementa un 82.6% en relación a la muestra convencional y 49.8% .en relacion a la muestra con 0.5%. Se observa el contraste al incorporar 1.5% de aceite residual, al disminuir un 3.1% en relacion a la muestra anterior de 1.0%, sin embargo mantiene un incremento significativo de un 79.5% en relación a la muestra convencional, sin ARA.



Figura 4.21. Diagrama de proyección de CBR de las muestras ensayadas.

En la figura 4.21. se realizó una proyección de los incrementos del 2.0%,2.5% y 3.0% de aceite residual a la muestra M-01, se observó que; a mayor incorporacion de ARA a la muestra, el CBR disminuye progresivamente. Por lo

tanto la dosificación adecuada para un CBR y lograr un óptimo módulo de soporte del suelo es de 1.0%, de incorporación con un valor de 29.3%.

5.3. EFICIENCIA ECONÓMICA

5.3.1. COSTOS UNITARIOS

La, partida presupuestal, se desarrolló para evaluar los costos unitarios de la elaboración del suelo de la subrasante del Psj. Cantuta en el distrito de Chilca-Huancayo.

Tabla 4.10. Costos unitarios de subrasante para M-1 suelo convencional.

Análisis de precios unitarios							
Presupuesto	0201012					Fecha presupuesto	8/12/2023
Subpresupuesto	001 AFIRMADO CARRETERA						
Partida	01.01			PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB RASANTE EN PAVIMENTO CONVENCIONAL			
Rendimiento	m2/DIA	1,500.0000	EQ. 1,500.0000	Costo unitario directo por : m2		4.77	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
101010003	OPERARIO		hh	1.0000	0.0053	26.14	0.14
0101010005	PEON		hh	4.0000	0.0213	18.59	0.40
0.54							
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.54	1.62
03011000060003	RODILLO VIB. LISO AUTOPROPULSADO 101-135 HP, 10-12 ton		hm	1.0000	0.0053	240.00	1.27
0301200002	MOTONIVELADORA 125 HP		hm	1.0000	0.0053	260.00	0.84
3.73							
Subcontratos							
0429010002	ENSAYO DE CBR		und		0.0010	500.00	0.50
0.50							

En la tabla 4.10, se muestra el costo unitario para el suelo convencional sin incorporación de aceite residual automotriz, con un valor de S/ 4.77 por m2 de suelo de subrasante.

Tabla 4.11. Costos unitarios de subrasante para M-1 + 0.5% de aceite residual automotriz.

Partida	01.02	INCORPORACION DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ AL 0.5% EN LA SUBRASANTE					
Rendimiento	m2/DIA	1,500.0000	EQ. 1,500.0000	Costo unitario directo por : m2	5.80		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra							
101010003	OPERARIO		hh	1.0000	0.0053	26.14	0.14
0101010005	OFICIAL		hh	1.0000	0.0053	20.56	0.11
101010006	PEON		hm	2.0000	0.0107	18.59	0.20
0.45							
Materiales							
0207070003	ACEITE RESIDUAL		gln		0.0500	15.00	0.75
0.75							
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.45	1.35
03011000060003	RODILLO VIB. LISO AUTOPROPULSADO 101-135 HP, 10-12 ton		hm	1.0000	0.0053	240.00	1.27
0301200002	MOTONIVELADORA 125 HP		hm	1.0000	0.0053	280.00	1.48
4.10							
Subcontratos							
0429010002	ENSAYO DE CBR		und		0.0010	500.00	0.50
0.50							

En la tabla 4.11, se muestra el costo unitario para el suelo con incorporación de aceite residual automotriz del 0.5%, con un valor de S/ 5.80 por m2 de suelo de subrasante.

Tabla 4.12. Costos unitarios de subrasante para M-1 + 1.0% de aceite residual automotriz.

Partida	01.03	INCORPORACION DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ AL 1.00% EN LA SUBRASANTE					
Rendimiento	m2/DIA	1,500.0000	EQ. 1,500.0000	Costo unitario directo por : m2	6.55		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra							
101010003	OPERARIO		hh	1.0000	0.0053	26.14	0.14
0101010005	OFICIAL		hh	1.0000	0.0053	20.56	0.11
101010006	PEON		hm	2.0000	0.0107	18.59	0.20
0.45							
Materiales							
0207070003	ACEITE RESIDUAL		gln		0.1000	15.00	1.50
1.50							
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.45	1.35
03011000060003	RODILLO VIB. LISO AUTOPROPULSADO 101-135 HP, 10-12 ton		hm	1.0000	0.0053	240.00	1.27
0301200002	MOTONIVELADORA 125 HP		hm	1.0000	0.0053	280.00	1.48
4.10							
Subcontratos							
0429010002	ENSAYO DE CBR		und		0.0010	500.00	0.50
0.50							

En la tabla 4.12, se muestra el costo unitario para el suelo con incorporación de aceite residual automotriz del 1.0%, con un valor de S/ 6.55 por m2 de suelo de subrasante.

Tabla 4.13. Costos unitarios de subrasante para M-1 + 1.5% de aceite residual automotriz.

Período	01.04 INCORPORACION DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ AL 1.5% EN LA SUBRASANTE						
Rendimiento	m2/DIA	1,500.0000	EQ. 1,500.0000	Costo unitario directo por : m2		7.30	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
101010003	OPERARIO		hh	1.0000	0.0053	26.14	0.14
0101010005	OFICIAL		hh	1.0000	0.0053	20.56	0.11
101010006	PEON		hh	2.0000	0.0107	18.69	0.20
0.45							
Materiales							
0207070003	ACEITE RESIDUAL		gln		0.1500	15.00	2.25
2.25							
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.45	1.35
03011000060003	RODILLO VIB. LISO AUTOPROPULSADO 101-135 HP, 10-12 ton		hm	1.0000	0.0053	240.00	1.27
0301200002	MOTONIVELADORA 125 HP		hm	1.0000	0.0053	260.00	1.46
4.10							
Subcontratos							
0429010002	ENSAYO DE CBR		und		0.0010	500.00	0.50
0.50							

En la tabla 4.13, se muestra el costo unitario para el suelo convencional con incorporación de aceite residual automotriz del 1.5%, con un valor de S/ 7.30 por m2 de suelo de subrasante.

A) Resumen de costos unitarios

Se realiza un resumen con los costos unitarios del suelo convencional y del suelo con incorporación de aceite residual automotriz en dosificaciones del 0.5%, 1.0% y 1.5%.

Tabla 4.14. Resumen de costos unitarios del suelo

Ítem	Identificación	Costo unitario (m2)
1.0	M-1 Suelo convencional	S/ 4.77
2.0	M-1 + 0.5% Aceite residual automotriz	S/ 5.80
3.0	M-1 + 1.0% Aceite residual automotriz	S/ 6.55
4.0	M-1 + 1.5% Aceite residual automotriz	S/ 7.30

En la tabla 4.14, se detallan los costos unitarios de la elaboración del suelo, se observa que; al incorporar el aceite residual en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5%, el costo va subiendo en S/ 5.80, S/ 6.55, S/ 7.30, respectivamente en relación a la dosificación de ARA. Asimismo se tiene un incremento del 17.75% en el costo, al incrementar un 0.5% de aceite residual a la muestra convencional, 27.17% del costo, al 1.0% de ARA, y un 34.65% de incremento en el costo al 1.5% de aceite, en relación a la muestra de suelo natural.

Costo unitario (m2)

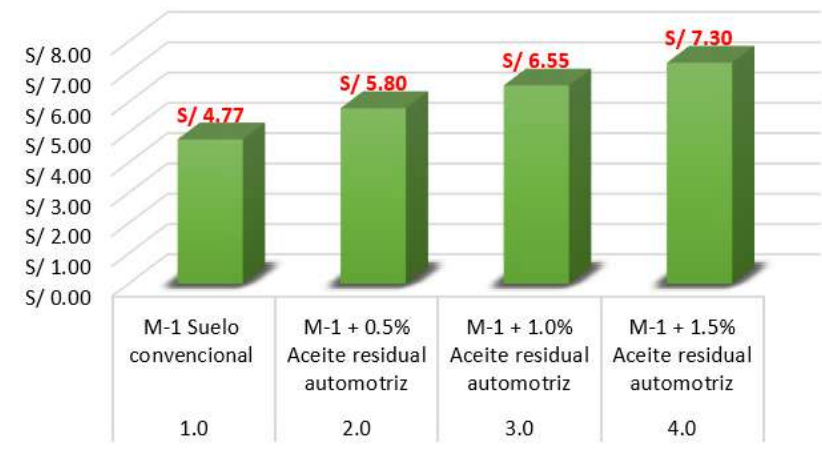


Figura 4.22. Diagrama de costos unitarios.

En la figura del 4.22. se realizó el diagrama de los costos unitarios, detallando, que, a mayor incorporación del aceite residual automotriz al suelo convencional, su costo aumenta proporcionalmente a la dosificación.

5.4 PRUEBA DE HIPOTESIS

La presente investigación no cuenta con prueba de hipótesis, es una investigación de comprobación técnica numérica, de nivel descriptivo-correlacional. Sin embargo, se correlacionaron las variables 1 y 2, para la determinación de la eficiencia técnica y económica. Por tanto, según un óptimo rendimiento del aceite para el suelo, se es eficazmente óptimo una dosificación del 1.0% de ARA, para lograr una eficiencia técnica numérica y económicamente sostenible.

Con respecto a la problemática general siguiente: ¿Cuál es la efectividad técnico-económica de las propiedades visco-elásticas de aceites reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos?, cuyo objetivo es determinar dicha relación en base a la prueba de hipótesis específicas, se plantea las siguientes hipótesis nula (H_0) y alterna (H_1) respectivamente:

- H_0 : La efectividad técnica de las propiedades visco-elásticas de aceites reutilizables inciden significativamente en el módulo de soporte de suelos cohesivos.

- H_1 : La efectividad económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables inciden significativamente en el módulo de soporte de suelos cohesivos.

En relación con este tema, la tabla 5.38 proporciona un resumen de las pruebas de hipótesis específicas A y B, en las cuales se validó la hipótesis alterna (H_1), es decir que su rendimiento del aceite para el suelo afecta significativamente en la efectividad técnica en porcentajes de 1.0% de ARA.

De igual manera, se presenta el resumen de la prueba correspondiente a la hipótesis específica B, donde se confirmó la validez de la Hipótesis Nula (H_0), indicando que no tiene un impacto significativo en la efectividad económica.

Tabla 5.1. *Resumen de las pruebas de hipótesis específicas A y B*

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
A: ¿Cómo incide la efectividad técnica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos?	A: Analizar la efectividad técnica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos.	H_1 : La efectividad técnica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables inciden significativamente en el módulo de soporte de suelos cohesivos.
B: ¿Cómo incide la efectividad técnica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos?	B: Evaluar la efectividad económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos.	H_0 : La efectividad económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables inciden significativamente en el módulo de soporte de suelos cohesivos.

CAPITULO VI

ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Discusión

Después de exponer detalladamente los resultados de la investigación experimental a nivel descriptivo, relacionados con la incorporación de aceite residual de vehículos livianos en el módulo de soporte del suelo cohesivo en la zona de Chilca, Psj Cantuta, basándose en un proceso investigativo exhaustivo que abarcó los resultados de los ensayos así como la interpretación de los antecedentes nacionales e internacionales, este capítulo se centra en analizar los hallazgos y observaciones, siguiendo el mismo orden de presentación previamente establecido.

A) Discusión 1

Los resultados técnicos obtenidos en esta investigación, con las dosificaciones óptimas mostradas: 10.40% de óptimo contenido de humedad (O.C.H), una densidad máxima seca (D.M.S.) de 1.959 gr/cm³ y un CBR del 29.3%, correspondientes a la incorporación del 1.0% de aceite residual automotriz, muestran diferencias significativas en comparación con el criterio establecido por Ipanaque y Carrasco (2021), en su estudio acerca de la influencia del aditivo de aceite sulfonado en la estabilización de subrasantes en los accesos al puente Santa Rosa, situado en el distrito y provincia de Huanta, Huancavelica, se propusieron mejorar las propiedades mecánicas del suelo de la subrasante. En

los ensayos de Índice de Soporte California (CBR) realizados en la muestra en su estado natural, se registró un valor mínimo de 19.6% para un suelo granular. Al agregar un 5% de cemento junto con 0.30 litros por metro cúbico de aceite sulfonado, lograron alcanzar un valor máximo de 100.2%, considerado como la dosificación óptima para mejorar la capacidad de soporte del suelo.

La presente investigación difiere en gran medida de la realizada por Ipanaque y Carrasco (2021) debido a las diferencias en los tipos de muestras de suelo utilizadas. Mientras que en nuestro estudio se trabajó con un suelo cohesivo CL-ML, en el estudio anterior se empleó un suelo granular. Esta distinción fundamental afecta significativamente la capacidad de soporte del suelo, ya que el suelo granular tiende a mostrar una mayor capacidad de soporte en comparación con el suelo cohesivo CL-ML que utilizamos en nuestra investigación. A pesar de las disparidades observadas, ambos estudios comparten el objetivo central de potenciar las características del suelo a través de la inclusión de aditivos oleosos. Esta coincidencia resalta la importancia y la efectividad de esta estrategia para mejorar las características mecánicas del suelo, independientemente del tipo específico de suelo utilizado.

B) Discusión 2

Gómez y Silva (2020) en su estudio sobre la influencia del aceite sulfonado y el cemento Portland tipo 1 en la estabilización de la vía Huaylillas – Buldibuyo en la provincia de Pataz, Trujillo introdujeron diferentes proporciones de cemento (0.5%, 2%, 3.5% y 5%) junto con 0.30 L/m³ de aceite sulfonado en cada porcentaje, con el objetivo de mejorar las características del suelo. Como resultado de estas adiciones, observaron un aumento en el Índice de Soporte California (CBR) desde un 5.8% hasta un 103.8% en la subrasante.

Nuestra presente investigación conto con las incorporaciones: 0.5%, 1.0% y 1.5% de aceite residual automotriz, obteniendo resultados con la óptima dosificación al 1.0% de ARA: O.C.H=10.40%; D.M.S.=1.959gr/cm³; C.B.R.=29.3%. Los hallazgos de ambos estudios concuerdan; no obstante, presentan valores diferentes, los cuales se atribuyen a las variaciones en los tipos de suelo presentes en las muestras analizadas, pero que mantienen la intención

inicial de la estabilización de suelos mediante la incorporación de aceites residuales y sulfonados, siendo estos eficientemente técnicos.

C) Discusión 3

Yaya y Osorio (2018) En su tesis sobre la mejora del suelo con fines de cimentación mediante la utilización de afirmado y aceite reciclado de motores en la ciudad de Chimbote, introdujeron aceite reciclado de motores en un 4% a la zona de cimentación, con un porcentaje de H₂O del 4.08%. Durante la evaluación del contenido de aceite y su correspondiente contenido de humedad, lograron alcanzar la humedad óptima estimada necesaria. Como resultado, la densidad del suelo mejoró a 2.283 gr/cm³, lo que a su vez mejoró sus propiedades físico-mecánicas. La capacidad portante del terreno natural también experimentó una mejora, pasando de 0.57 kg/cm² a 1.99 kg/cm².

Estos datos coinciden con el criterio de nuestra presente investigación, que incorporo aceite residual automotriz en dosificaciones controladas del: 0.5%, 1.0% y 1.5%; teniendo como los resultados: O.C.H=10.40%; D.M.S.=1.959gr/cm³; C.B.R.=29.3%; respectivamente a la incorporación del 1.0% de aceite residual automotriz, mejorando la capacidad de soporte del suelo de un 5.1% a 29.3% de C.B.R, con un porcentaje de 82.59% en relación a la muestra convencional. Por lo tanto, la presente investigación resulta ser de mayor amplitud y relevancia que el criterio de Yaya y Osorio (2018), C.B.R de 0.57 kg/cm² a 1.99 kg/cm², con un porcentaje de 71.35%.

D) Discusión 4

Santa Cruz (2018), en su estudio sobre cómo el aceite quemado afecta las características mecánicas de suelos cohesivos, examinó los impactos de este producto en el comportamiento del suelo, en la ciudad de Satipo, desarrollo la incorporación de aceite quemado en porcentajes al 5%,10%y 15% al suelo cohesivo; los resultados fueron óptimos mejorando las propiedades del suelo, al 3.22%, 6% y 2.60% respectivamente,

Sin embargo, en la presente tesis, incorporó dosificaciones menores al 5%, y tuvo resultados más favorables con la incorporación del 1.0% de aceite residual automotriz, mejorando la capacidad de soporte del suelo de un 5.1% a un 29.3% de C.B.R, con un porcentaje de 82.59% de mejora, en relación al suelo natural.

CONCLUSIONES

1. El Ensayo de Proctor Modificado – Método A, para el Óptimo Contenido de Humedad del suelo convencional, llega a un porcentaje de 10.63%, son reducidos con el incremento de aceite residual al 0.5% y 1.0 %, disminuye al 10.51% y 10.40% respectivamente, en contraste a la muestra patrón. Sin embargo, el OHC, se incrementa a un 10.52% al incorporar 1.5% de ARA. La adición de aceite residual automotriz incide positivamente en el mejoramiento del óptimo contenido de humedad del suelo, a una dosificación del 1.0%
2. La efectividad técnica se presenta al incrementar el aceite residual automotriz en una dosificación controlada, para el módulo de soporte del suelo cohesivo, con valores de: O.C.H=10.40%; D.M.S.=1.959gr/cm³; C.B.R.=29.3%; respectivamente a la incorporación del 1.0% de aceite residual automotriz. Asimismo, presenta una disminución en la mayoría de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, cuando se incorpora el ARA de 1.5% a más.
3. La efectividad económica se presenta, al incorporar el aceite residual en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5%, el costo va subiendo en S/ 5.80, S/ 6.55, S/ 7.30, respectivamente en relación a la dosificación de ARA. Sin embargo se tiene un incremento del 27.17% en el costo, al incorporar un 1.0% de aceite residual a la muestra convencional. Se concluye que mayor incorporación del ARA al suelo convencional, su costo aumenta proporcionalmente a la dosificación. Y que la óptima dosificación de aceite residual es del 1.0%, pues a ese porcentaje los beneficios de las propiedades del suelo son efectivamente técnicos y económicos, pues no se requirió de un costo significativamente alto, en relación al uso de aditivos especializados, que cumplen la misma función de estabilizar el suelo.

RECOMENDACIONES

1. La investigación, de la eficacia técnica-económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos, tienen las siguientes recomendaciones.
2. Se recomienda utilizar aceite residual automotriz de vehículos livianos en dosificaciones controladas, pequeñas cantidades del 0.5% al 1.0% para mejorar el módulo de soporte de suelos cohesivos y obtener un C.B.R óptimo, y sea definido como un suelo con subrasante buena o excelente.
3. Se recomienda utilizar el aceite residual automotriz a pequeña escala, pues la demanda de estos oleos es escasa y se requiere de una cultura formativa para el rehusó de estos aceites, de tal manera, contribuir a la reducción de la brecha de contaminación ambiental generados por la mala disposición de estos aceites. El costo de estos aceites es inferior en contraste a otros aditivos, que cumplen la misma función de estabilizar suelos cohesivos.
4. Se recomienda para investigaciones futuras de estabilización de suelos cohesivos, la aplicación de óleos reutilizables, como el aceite residual automotriz y aceites derivados, que, por sus propiedades viscosas y elásticas, tienen mayor adherencia a los suelos arcillosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRÁFICAS

GUTIERREZ, C. Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del Cloruro de Magnesio (Bischofita) frente al Cloruro de Calcio. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2010, 161 pp. [fecha de consulta: 12 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/116>.

IPANAQUÉ, E. Influencia del aditivo aceite sulfonado para estabilización de subrasante en los accesos del puente Santa Rosa, ubicado en el distrito y provincia de Huanta. Huancavelica. Perú. 2021. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Piura: Universidad Nacional de Piura, 2022, 133 pp. [fecha de consulta: 12 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/3382/ICIV-IPA-CAR-2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

PONCE, D. Uso del Cloruro de Calcio para estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la Avenida Ccoripaccha - Puyhuan Grande – Huancavelica. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2018, 150 pp. [fecha de consulta: 12 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1414>.

SAMAME, V. Aplicación de los aditivos PROES y CONAID y su relación con la mejora del CBR en la subrasante de la Carretera Pilluana - Paraíso, Provincia de Picota, Departamento de San Martín. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Tarapoto: Universidad Científica del Perú, 2021, 105 pp. [fecha de consulta: 09 de agosto de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1642/HIDALGO%20ALVA%20KAREN%20LISBETH%20Y%20CADENILLAS%20LOZANO%20JOSE%20SAMUEL%20-%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

TERRONES, A. Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante en el sector Barraza, Trujillo – 2018. Tesis

(Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Privada del Norte, 2018, 383pp. [fecha de consulta: 09 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/14971>.

REVISTAS

FONG, W.; QUIÑONES, E Y TEJADA, C. Caracterización físico-química de aceites usados de motores para su reciclaje. Revista Prospectica [en línea]. Junio 2016-junio 2017, Vol. 15, N° 2, 135-144. [fecha de consulta: 09 de agosto de 2023] ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46750925002.pdf>

PÁGINAS WEB

BLATEM Pinturas. ¿Pintura plástica o esmalte sintético? Cuando y por qué aplicarlos. 2016 [fecha de consulta: 11 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://www.blatem.com/es/actualidad/noticias/pintura-plastica-o-esmalte-sintetico-cuando-y-por-que-aplicarlos>.

LEYROYMERLIN. ¿Qué brocha y rodillo usar para cada pintura? 2020 [fecha de consulta: 11 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/BricopediaDecoraci%C3%B3n/Qu%C3%A9-brocha-y-rodillo-usar-para-cada-pintura/ta-p/209750>

ANEXOS

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES						
VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UND	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable independiente: óleos reutilizables.	La palabra óleo deriva del latín (óleum), que significa aceite. Es un término genérico para designar a líquidos y fluidos grasos que no se disuelven en el agua y que poseen menor densidad que esta. El óleo reciclado, es derivado del uso de aceites comerciales, combustibles y comestibles, para su posterior reutilización.	Se evaluará las propiedades visco-elásticas del aceite residual automotriz (ARA), en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% respecto al peso del material del suelo a fin de ser comparado con la muestra patrón al 0%.	Caracterización	Análisis Visco-elástico	Ns/m ²	Razón
			Porcentaje de ARA	0.0	%	Intervalo
				0.5	%	Intervalo
				1.0	%	Intervalo
				1.5	%	Intervalo
Variable dependiente: Módulo de soporte de suelos cohesivos	El módulo de soporte de un suelo, conforma las propiedades mecánicas del suelo, adecuadas para soportar las cargas necesarias de un diseño de vía pavimentada o no pavimentada.	Se realizarán ensayos de CBR, Proctor modificado, granulometría, humedad, etc. Al suelo cohesivo, evaluando las propiedades visco-elásticas del óleo reciclado, con fin de evaluar el soporte del suelo y su efectividad técnica y económica en el uso para vías.	Efectividad técnica	Granulometría	Pulg	Razón
				Módulo de elasticidad	%	Razón
				CBR	kg/m ³	Razón
			Efectividad económica	Precio unitario	S/.	Razón
				Costo total	S/.	Razón

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título del Proyecto:	Efectividad técnico-económica de propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos.				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	OPERACIONALIZACION		METODOLOGIA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	DIMENSIONES	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: * General: Científico. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN: * Explicativo. TIPO DE INVESTIGACIÓN: * Aplicada. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: * Experimental (Cuasi-experimental). POBLACIÓN Y MUESTRA: * POBLACIÓN 4 dosificaciones de óleo reutilizable: 1 diseño patrón al 0 % y 3 diseños con incorporación de aceite residual automotriz comercial al: 0.5%, 1.0% y 1.5%. * MUESTRA: La muestra es dirigida o intencional , el número total de ensayos, es el mismo número de la población (censal). TECNICAS DE INVESTIGACIÓN: * Observación directa. * Análisis documental. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS: * Formatos estandarizados de ensayos. (NTP 339.145, NTP 339.129, NTP 339.127, NTP 319.054)
¿Cuál es la efectividad técnico-económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos?	Determinar la efectividad técnico-económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables en el módulo de soporte de suelos cohesivos.	La efectividad técnico-económica de las propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables inciden significativamente en el módulo de soporte de suelos cohesivos.	INDEPENDIENTE:	Caracterización	
			Variable independiente: Propiedades visco-elásticas de óleos reutilizables.		
				Porcentaje de incorporación	
			DEPENDIENTE:	Efectividad técnica	
			Variable dependiente: Módulo de soporte de suelos cohesivos.	Efectividad económica	



ANCCOR S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Emisión : SET 2023
Páginas : 01 de 01
Realizado por : C.A.
Certificado N° : N 194 - 23

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E-107, E-204)

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : CONVENCIONAL
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

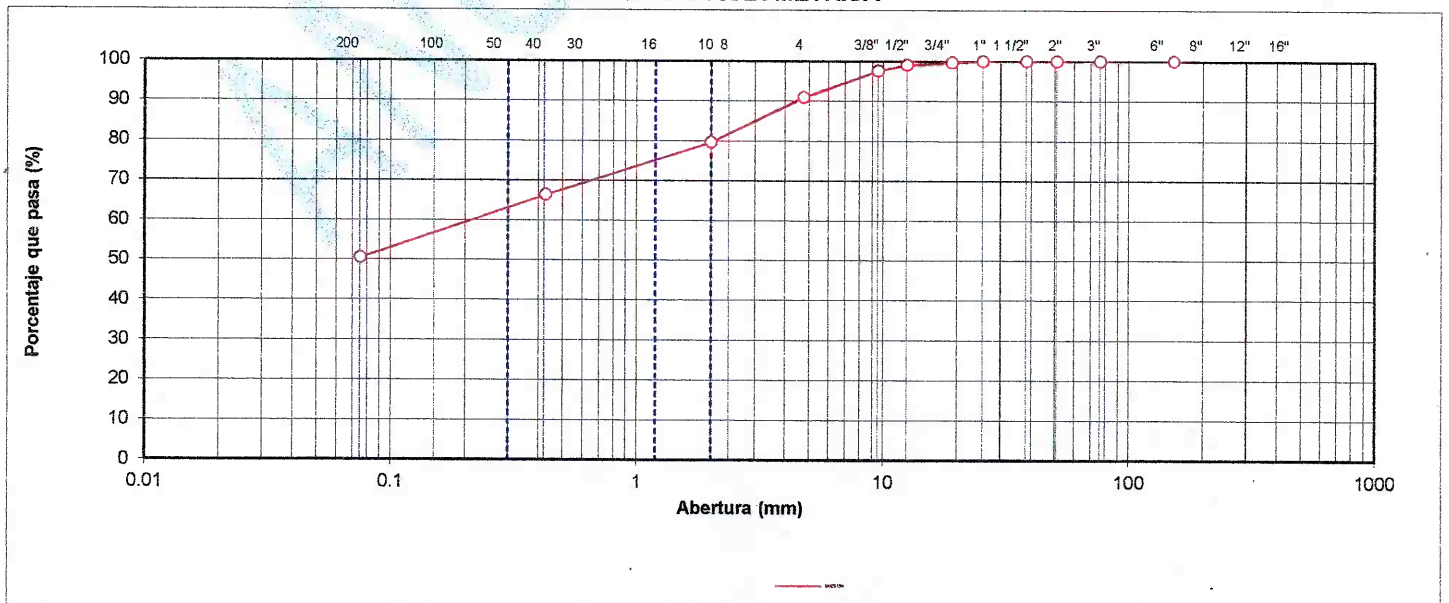
MUESTRA : M - 01 (Muestreo por el cliente) Peso inicial seco : 3500.0
CLASIF. SUCS : CL - ML CLASIF. AASHTO : A-4(0)
DESCRIPCIÓN : ARCILLA LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD TAMAÑO MAXIMO : 3/4"

TAMIZ		PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE
(pulg)	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA
					100.0
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	9.2	0.3	0.3	99.7
1/2"	12.500	21.2	0.6	0.9	99.1
3/8"	9.500	53.1	1.5	2.4	97.6
Nº 4	4.750	233.6	6.7	9.1	90.9
Nº 8	2.360	224.8	6.4	15.5	84.5
Nº 10	2.000	169.6	4.8	20.3	79.7
Nº 16	1.190	118.5	3.4	23.7	76.3
Nº 20	0.840	121.2	3.5	27.2	72.8
Nº 30	0.600	114.6	3.3	30.5	69.5
Nº 40	0.425	111.7	3.2	33.6	66.4
Nº 50	0.300	72.4	2.1	35.7	64.3
Nº 80	0.177	89.9	2.6	38.3	61.7
Nº 100	0.150	119.5	3.4	41.7	58.3
Nº 200	0.075	269.3	7.7	49.4	50.6
< Nº 200	FONDO	1771.4	50.6	100.0	0.0

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO (NTP 339.127)	
Peso de recipiente (g)	15
Peso de recipiente + suelo húmedo (g)	5092
Peso de recipiente + suelo seco (g)	4710
Peso del agua (g)	382.00
Peso del suelo seco (g)	4695.00
Porcentaje de Humedad (%)	8.14

GRUPOS SEGÚN EL SISTEMA UNIFICADO CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)	
Grava 2" - 3/8" :	9.1
Arena 3/8" - Nº 200 :	40.3
Finos < Nº 200 :	50.6

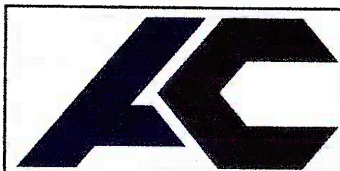
CURVA GRANULOMETRICA



ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Anccasi Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881





ANCCOR S.A.C.

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS**

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Emisión : SET 2023
Páginas : 01 de 01
Realizado por : C.A.
Certificado N° : N 195-23

**LIMITES DE CONSISTENCIA QUE PASA LA MALLA N°40
(NORMA MTC E-110, E-111)**

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : CONVENCIONAL
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

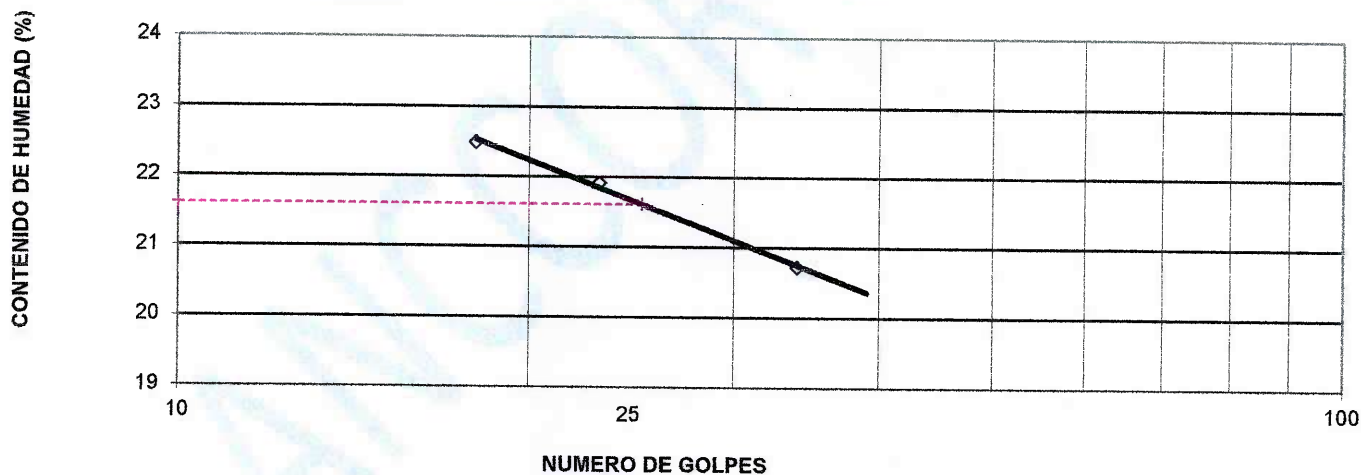
ESTRUCTURA : SUBRASANTE

MUESTRA M - 01 (muestreo por el cliente)

LIMITES DE CONSISTENCIA QUE PASA LA MALLA N° 200

N° TARRO	Und	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
		1	2	3	6	7	Promedio
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	68.10	68.70	65.40	21.00	24.60	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	58.90	59.10	56.00	20.00	23.50	
PESO DE AGUA	(g)	9.20	9.60	9.40	1.00	1.10	
PESO DEL TARRO	(g)	14.50	15.30	14.20	13.70	16.50	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	44.40	43.80	41.80	6.30	7.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.7	21.9	22.5	15.9	15.7	16
NUMERO DE GOLPES	-	34	23	18	-	-	-

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	22
LIMITE PLASTICO	16
INDICE DE PLASTICIDAD	6



ANCCOR S.A.C.
**LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS**

Ing. Carlos A. Anccasi Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS,
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Ems. : SET 2023
Páginas : 01 de 01
Realizado por : C.A.
Certificado N° : N 196 - 23

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO
(NORMA MTC E-115, ASTM D-1557)

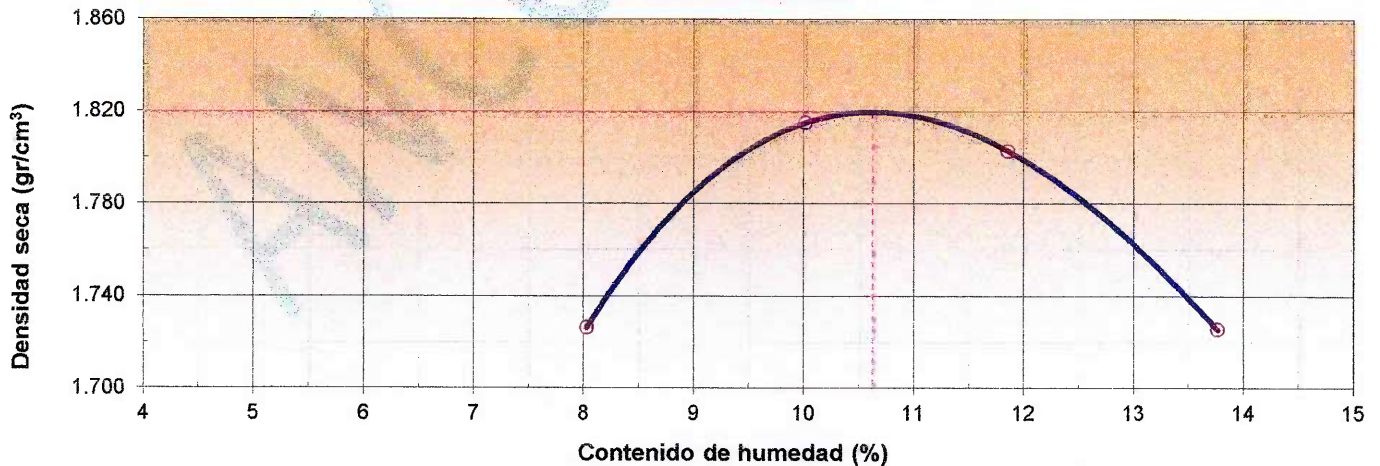
TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : CONVENCIONAL
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

ESTRUCTURA : SUBRASANTE MUESTRA M - 01 (muestreo por el cliente)

Peso suelo + molde	gr	7059.0	7300.0	7342.0	7229.0	
Peso molde	gr	3097.0	3097.0	3097.0	3097.0	
Peso suelo húmedo compactado	gr	3962.0	4203.0	4245.0	4132.0	
Volumen del molde	cm ³	2124.4	2104.9	2104.9	2104.9	
Peso volumétrico húmedo	gr	1.865	1.997	2.017	1.963	
Recipiente N°		T1	T2	T3	T4	
Peso del suelo húmedo+tara	gr	325.8	500.7	416.7	488.2	
Peso del suelo seco + tara	gr	306.0	467.6	387.0	445.7	
Tara	gr	59.4	137.1	136.6	137.0	
Peso de agua	gr	19.8	33.1	29.7	42.5	
Peso del suelo seco	gr	246.6	330.5	250.4	308.7	
Contenido de agua	%	8.03	10.02	11.86	13.77	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.726	1.815	1.803	1.725	
Densidad máxima (gr/cm ³)						1.820
Humedad óptima (%)						10.63

RELACION HUMEDAD-DENSIDAD



ANCCOR SAC.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Anccasi Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881



**ANCCOR S.A.C.**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Emis. : SET 2023
Páginas : 01 de 02
Realizado por : C.A.
Certificado N° : 197 - 23RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA NTP 399.145)TESIS : "EFFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : CONVENCIONAL
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

ESTRUCTURA : SUBRASANTE

MUESTRA : M - 01 (muestreo por el cliente)

COMPACTACION

Molde N°	1		2		3	
	5		5		5	
Capas N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11913.0	12000.0	11681.0	11978.0	11851.0	12106.0
Peso de molde (g)	7583.00	7583.0	7633.00	7633.0	7964.00	7964.0
Peso del suelo húmedo (g)	4330.0	4417.0	4048.0	4345.0	3887.0	4142.0
Volumen del molde (cm ³)	2125.00	2125.0	2111.90	2111.9	2110.90	2110.9
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.050	2.079	1.918	2.057	1.829	1.949
Tara (N°)	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6
Peso suelo húmedo + tara (g)	83.2	70.7	76.4	70.4	73.4	66.4
Peso suelo seco + tara (g)	76.5	65.5	70.7	65.1	67.2	60.8
Peso de tara (g)	16.50	17.90	17.30	17.10	10.60	11.20
Peso de agua (g)	6.7	5.2	5.7	5.3	6.2	5.6
Peso de suelo seco (g)	60.0	47.6	53.4	48.0	56.6	49.6
Contenido de humedad (%)	11.17	10.92	10.67	11.04	10.95	11.29
Densidad seca (g/cm ³)	1.833	1.874	1.732	1.853	1.660	1.763

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
25/09/2023	12:10	0	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
26/09/2023	12:10	24	3.20	0.081	0.070	3.30	0.084	0.073	3.60	0.091	0.079
27/09/2023	12:10	48	3.30	0.084	0.073	3.50	0.089	0.077	7.00	0.178	0.154
28/09/2023	12:10	72	5.60	0.142	0.123	6.10	0.155	0.134	7.20	0.183	0.158
29/09/2023	12:10	96	5.80	0.147	0.128	6.50	0.165	0.143	7.80	0.198	0.172

PENETRACION

PENETRACION: mm	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0				0				0		
0.635			31				23				16		
1.270			41				27				19		
1.905			62				35				24		
2.540	70.5		75	77.0	5.4		40	44.8	3.1		32	33.4	2.3
3.180			86				51				39		
3.810			109				62				47		
5.080	105.7		127	125.7	5.9		68	67.5	3.2		51	51.7	2.4
7.620			160				83				64		
10.160			196				107				80		

ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOSIng. Carlos A. Ancasí Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881



ANCCOR S.A.C.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Emis. : SET 2023
Páginas : 02 de 02
Realizado por : C.A.
Certificado N° : 197 - 23

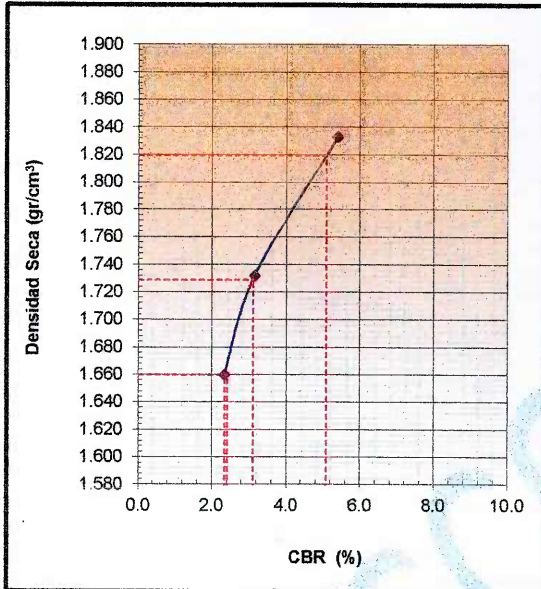
RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA NTP 399.145)

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : CONVENCIONAL
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : M - 01 (muestreo por el cliente)
PROFUNDIDAD : SUBRASANTE

CLASF. (SUCS) : CL - ML
CLASF. (AASHTO) : A-4(0)



METODO DE COMPACTACION : NTP 399.145
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.82
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 10.63
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.729

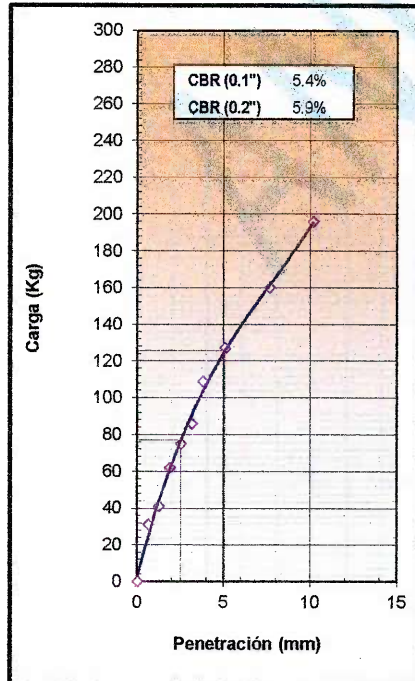
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	5.1
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	3.1

RESULTADOS:

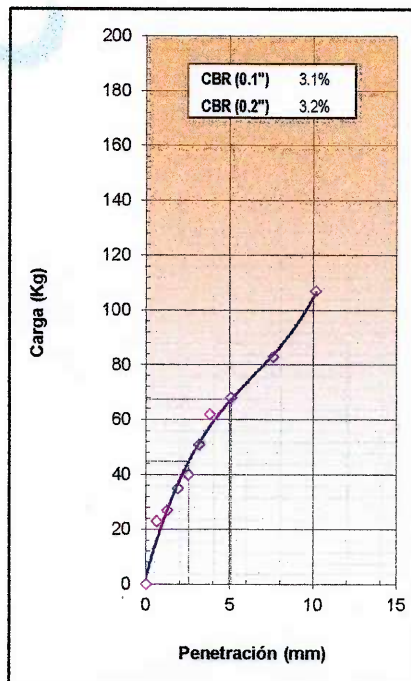
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 5.1 (%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 3.1 (%)

OBSERVACIONES:

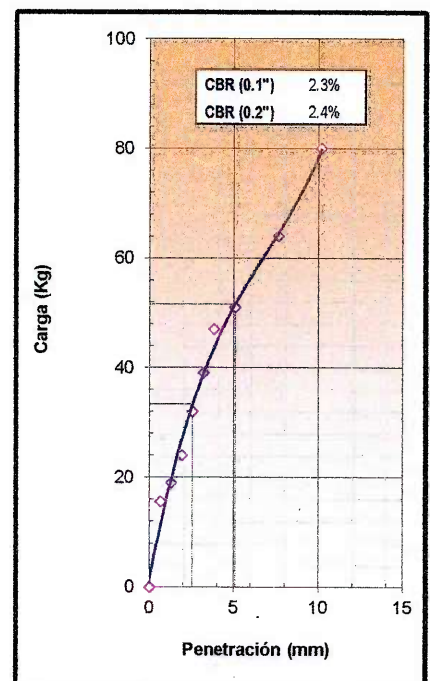
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS





ANCCOR S.A.C.

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS**

Informe N° : CC SET 23

Fecha de Emisión : SET 2023

Páginas : 01 de 01

Realizado por : C.A.

Certificado N° : N 198 - 23

**LIMITES DE CONSISTENCIA QUE PASA LA MALLA N°40
(NORMA MTC E-110, E-111)**

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : INCORPORACIÓN DEL 0.5% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRÍZ
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

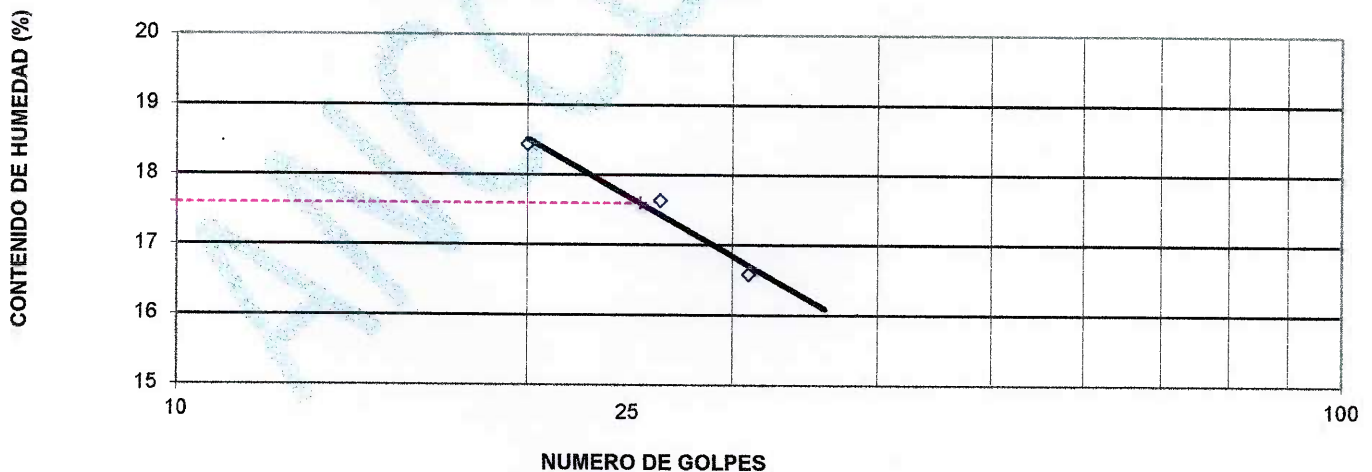
ESTRUCTURA : SUBRASANTE

MUESTRA M - 02 (muestreo por el cliente)

LIMITES DE CONSISTENCIA QUE PASA LA MALLA N° 200

N° TARRO	Und	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		Promedio
		1	2	3	7	8	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	65.30	64.70	61.70	22.30	22.70	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	57.30	57.40	54.90	21.30	21.60	
PESO DE AGUA	(g)	8.00	7.30	6.80	1.0	1.1	
PESO DEL TARRO	(g)	13.90	16.00	13.90	14.30	14.00	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	43.4	41.4	41.0	7.0	7.6	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	18.4	17.6	16.6	14.3	14.5	14
NUMERO DE GOLPES	-	20	26	31	-	-	-

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	18
LIMITE PLASTICO	14
INDICE DE PLASTICIDAD	4



ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Ancasi Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881





ANCCOR S.A.C.

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS,
CONCRETOS Y PAVIMENTOS**

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Ems. : SET 2023
Páginas : 01 de 01
Realizado por : C.A.
Certificado N° : 199 - 23

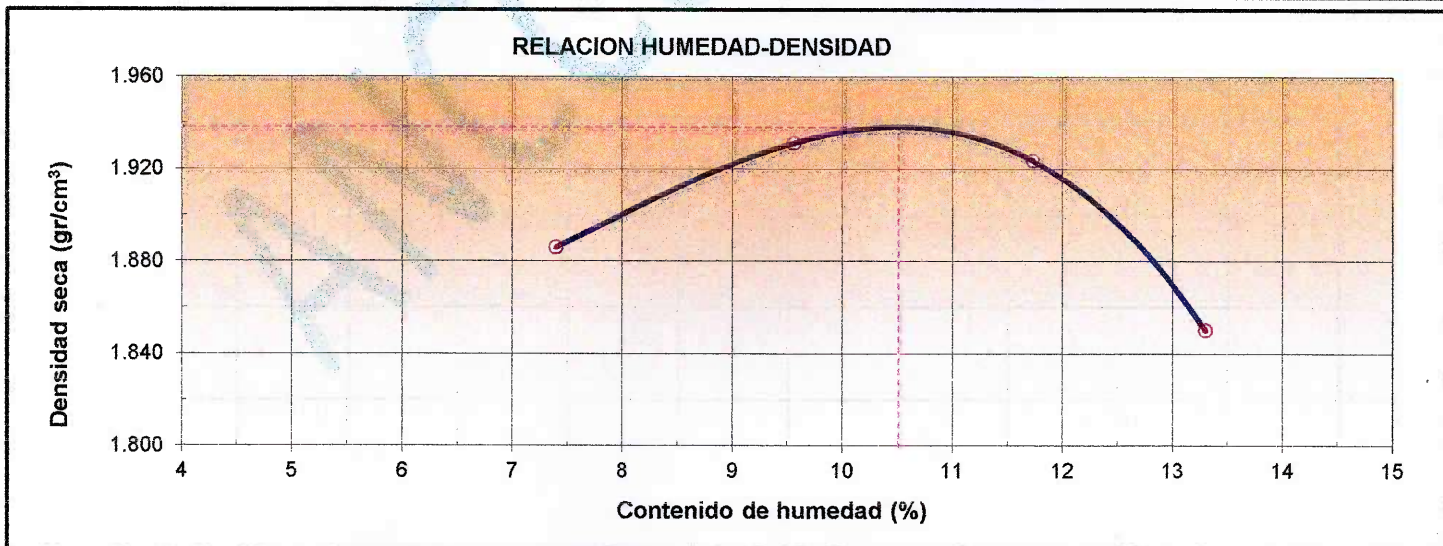
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO
(NORMA MTC E-115, ASTM D-1557)

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : INCORPORACIÓN DEL 0.5% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRÍZ
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

ESTRUCTURA : SUBRASANTE MUESTRA M - 02 (muestreo por el cliente)

Peso suelo + molde	gr	7400.0	7592.0	7663.0	7550.0	
Peso molde	gr	3097.0	3097.0	3097.0	3097.0	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4303.0	4495.0	4566.0	4453.0	
Volumen del molde	cm ³	2124.4	2124.4	2124.4	2124.4	
Peso volumétrico húmedo	gr	2.026	2.116	2.149	2.096	
Recipiente N°		T1	T2	T3	T4	
Peso del suelo húmedo+tara	gr	570.6	411.0	376.5	531.8	
Peso del suelo seco + tara	gr	540.7	379.9	343.0	485.0	
Tara	gr	136.6	54.6	57.5	133.2	
Peso de agua	gr	29.9	31.1	33.5	46.8	
Peso del suelo seco	gr	404.1	325.3	285.5	351.8	
Contenido de agua	%	7.40	9.56	11.73	13.30	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.886	1.931	1.924	1.850	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	1.938
					Humedad óptima (%)	10.51



ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Anccasi Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881





ANCCOR S.A.C.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Emis. : SET 2023
Páginas : 01 de 02
Realizado por : C.A.
Certificado N° : N 200 - 23

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA NTP 399.145)

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : INCORPORACIÓN DEL 0.5% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRÍZ
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

ESTRUCTURA : SUBRASANTE

MUESTRA : M - 02 (muestreo por el cliente)

COMPACTACION

Molde N°	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11412.0	11785.0	11484.0	11785.0	11232.0	12231.0
Peso de molde (g)	7014.00	7014.0	7301.00	7301.0	7157.00	7157.0
Peso del suelo húmedo (g)	4398.0	4771.0	4183.0	4484.0	4075.0	5074.0
Volumen del molde (cm ³)	2129.60	2129.6	2125.90	2125.9	2136.60	2136.6
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.069	2.240	1.958	2.109	1.914	2.383
Tara (N°)	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6
Peso suelo húmedo + tara (g)	72.2	72.9	68.2	89.7	81.1	77.7
Peso suelo seco + tara (g)	67.3	67.3	63.9	82.9	75.1	71.3
Peso de tara (g)	16.80	17.30	17.80	18.00	17.10	16.60
Peso de agua (g)	4.9	5.6	4.3	6.8	6.0	6.4
Peso de suelo seco (g)	50.5	50.0	46.1	64.9	58.0	54.7
Contenido de humedad (%)	9.70	11.20	9.33	10.48	10.34	11.70
Densidad seca (g/cm ³)	1.883	2.015	1.800	1.909	1.728	2.126

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
25/09/2023	03:40	0	0.09	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
26/09/2023	03:40	24	1.50	0.038	0.033	3.90	0.099	0.086	7.00	0.178	0.154
27/09/2023	03:40	48	2.30	0.058	0.051	5.10	0.130	0.112	7.20	0.183	0.158
28/09/2023	03:40	72	2.70	0.069	0.059	5.50	0.140	0.121	7.40	0.188	0.163
29/09/2023	03:40	96	3.00	0.076	0.066	6.00	0.152	0.132	7.60	0.193	0.167

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0				0				0		
0.635			34				22				19		
1.270			72				54				37		
1.905			98				83				52		
2.540	70.5		145	170.7	12.0		99	111.7	7.8		67	66.3	4.6
3.180			233				144				75		
3.810			287				165				88		
5.080	105.7		337	327.0	15.3		186	185.3	8.6		104	100.2	4.7
7.620			409				222				111		
10.160			474				263				121		



ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Ancasí Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881





ANCCOR S.A.C.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Emis. : SET 2023
Páginas : 02 de 02
Realizado por : C.A.
Certificado N° : N 200 - 23

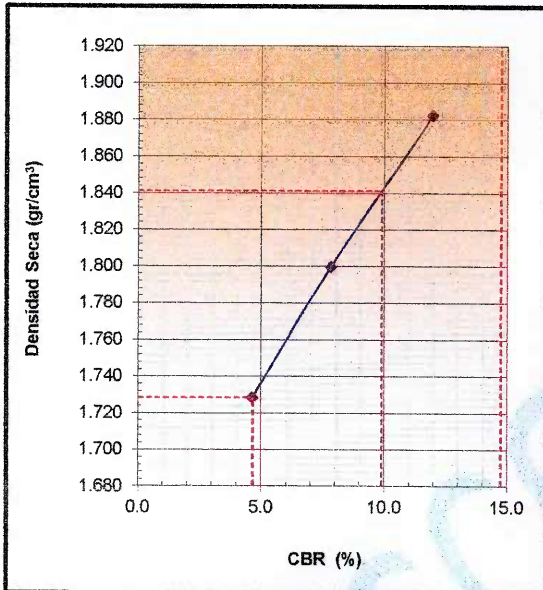
RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA NTP 399.145)

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : INCORPORACIÓN DEL 0.5% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRÍZ
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : M - 02 (muestreo por el cliente)
ESTRUCTURA : SUBRASANTE

CLASF. (SUCS) : CL - ML
CLASF. (AASHTO) : A-4(0)



METODO DE COMPACTACION : NTP 399.145
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.94
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 10.51
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.841

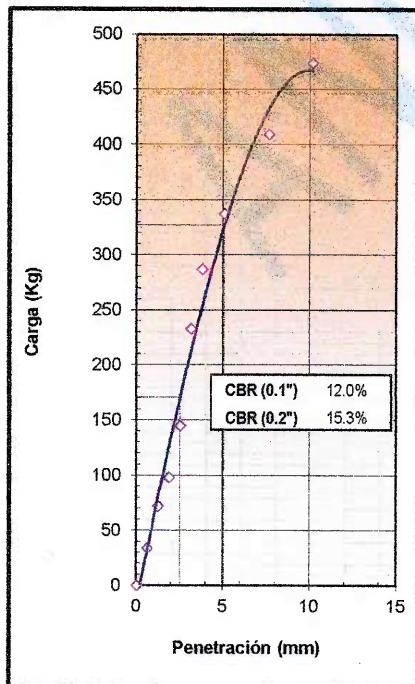
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	14.7
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	9.9

RESULTADOS:

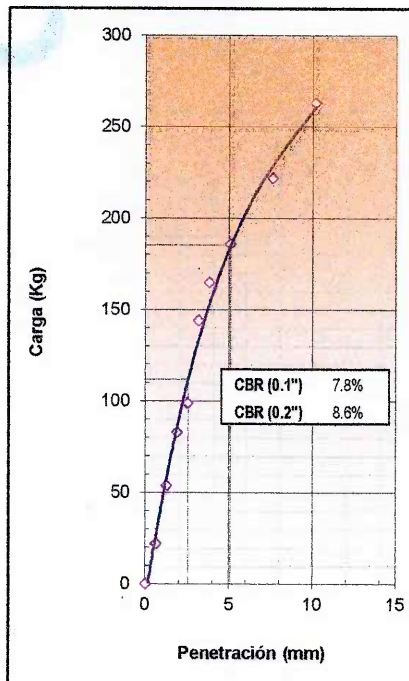
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 14.7 (%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 9.9 (%)

OBSERVACIONES:

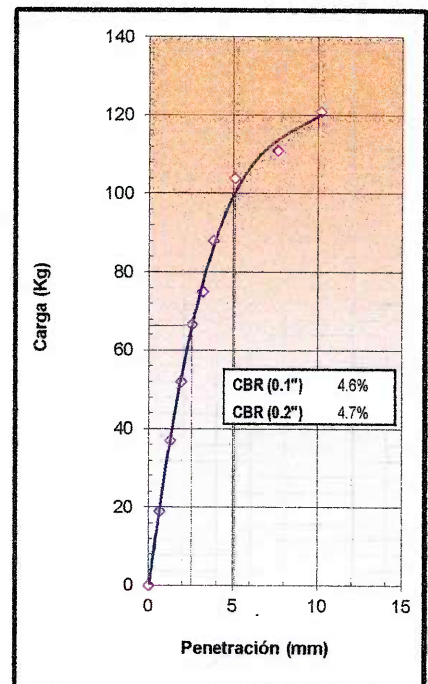
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Ancasí Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881





ANCCOR S.A.C.

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS**

Informe N° : CC SET 23

Fecha de Emisión : SET 2023

Páginas : 01 de 01

Realizado por : C.A.

Certificado N° : N 201 - 23

**LIMITES DE CONSISTENCIA QUE PASA LA MALLA N°40
(NORMA MTC E-110, E-111)**

TESIS : "EL ACEITE SULFONADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN EL TRAMO QUILCAS - COLPAR DE LA PROVINCIA HUANCAYO"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : INCORPORACIÓN DEL 1.0% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRÍZ
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

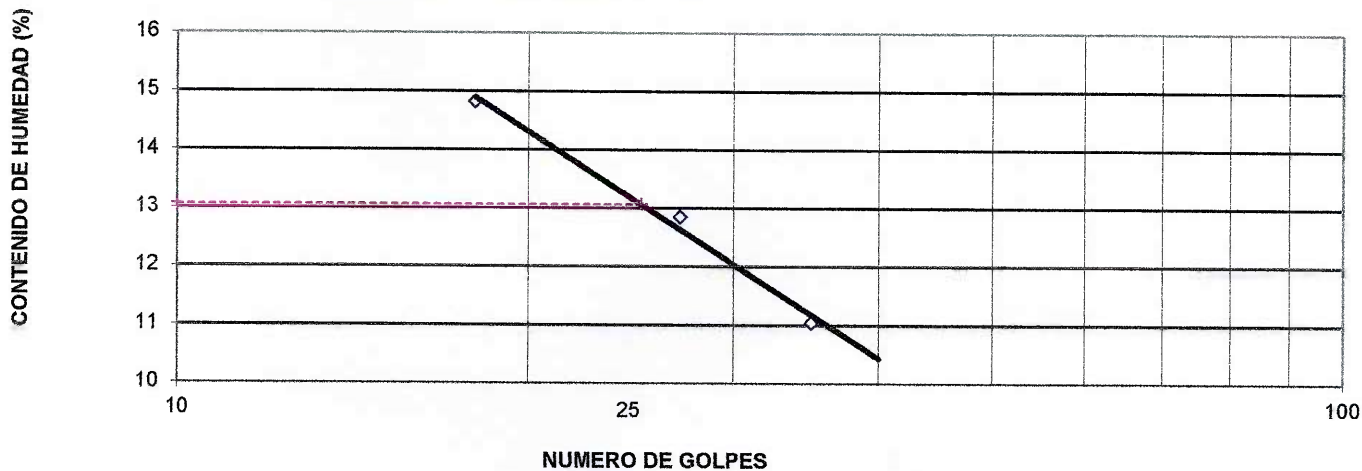
ESTRUCTURA : SUBRASANTE

MUESTRA M - 03 (muestreo por el cliente)

LIMITES DE CONSISTENCIA QUE PASA LA MALLA N° 200

N° TARRO	Und	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		Promedio
		1	2	3	7	8	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	68.00	62.90	66.90	24.10	21.10	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	61.20	57.30	61.60	23.50	20.50	
PESO DE AGUA	(g)	6.80	5.60	5.30	0.6	0.6	
PESO DEL TARRO	(g)	15.30	13.70	13.60	17.20	14.40	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	45.9	43.6	48.0	6.3	6.1	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	14.8	12.8	11.0	9.5	9.8	10
NUMERO DE GOLPES	-	18	27	35	-	-	-

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



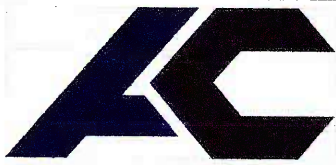
CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	13
LIMITE PLASTICO	10
INDICE DE PLASTICIDAD	3



ANCCOR SAC.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Ancasi Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881



ANCCOR S.A.C.

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS,
CONCRETOS Y PAVIMENTOS**

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Ems. : SET 2023
Páginas : 01 de 01
Realizado por : C.A.
Certificado N° : 202 - 23

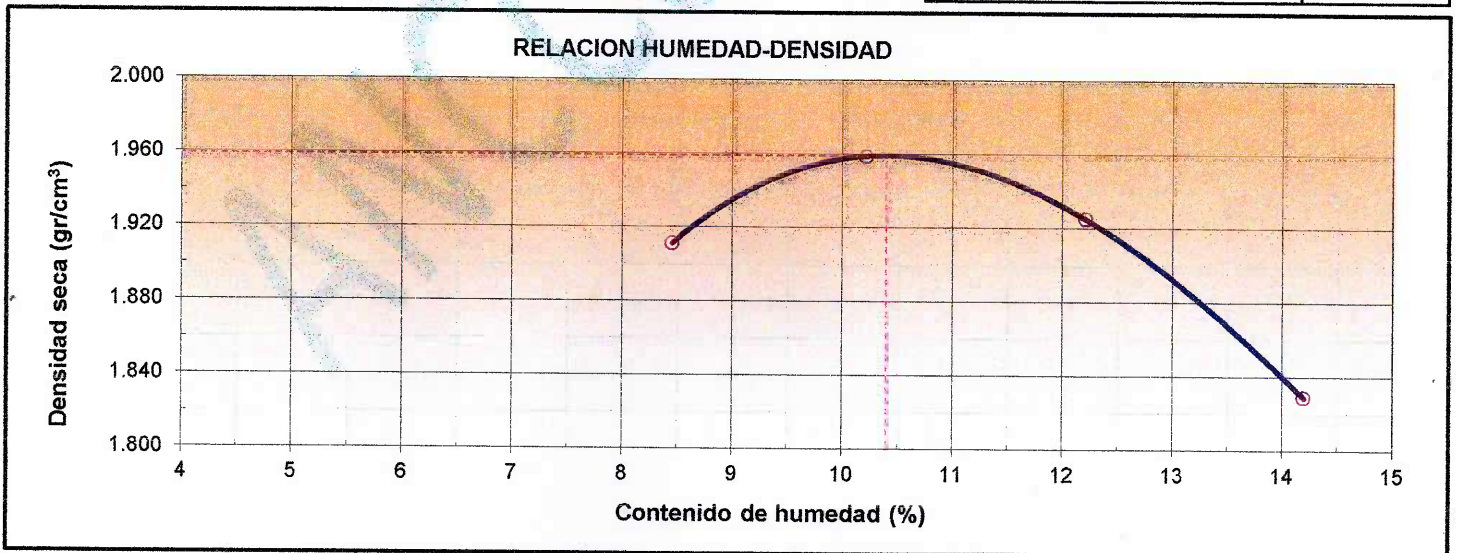
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO
(NORMA MTC E-115, ASTM D-1557)

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : INCORPORACIÓN DEL 1.0% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRÍZ
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

ESTRUCTURA : SUBRASANTE MUESTRA M - 03 (muestreo por el cliente)

Peso suelo + molde	gr	7500.0	7683.0	7686.0	7534.0	
Peso molde	gr	3097.0	3097.0	3097.0	3097.0	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4403.0	4586.0	4589.0	4437.0	
Volumen del molde	cm ³	2124.4	2124.4	2124.4	2124.4	
Peso volumétrico húmedo	gr	2.073	2.159	2.160	2.089	
Recipiente N°		T1	T2	T3	T4	
Peso del suelo húmedo+tara	gr	384.3	532.0	546.8	550.4	
Peso del suelo seco + tara	gr	359.3	495.1	502.2	499.0	
Tara	gr	63.6	133.9	137.0	136.9	
Peso de agua	gr	25.0	36.9	44.6	51.4	
Peso del suelo seco	gr	295.7	361.2	365.2	362.1	
Contenido de agua	%	8.45	10.22	12.21	14.19	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.911	1.959	1.925	1.829	
Densidad máxima (gr/cm ³)						1.959
Humedad óptima (%)						10.40



ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Anccasi Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881



**ANCCOR S.A.C.**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Emis. : SET 2023
Páginas : 01 de 02
Realizado por : C.A.
Certificado N° : N 203 - 23RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA NTP 399.145)TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : INCORPORACIÓN DEL 1.0% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRÍZ
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

ESTRUCTURA : SUBRASANTE

MUESTRA : M - 03 (muestreo por el cliente)

COMPACTACION

Molde N°	1		2		3	
	5		5		5	
Capas N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11485.0	11555.0	11155.0	11312.0	10896.0	11130.0
Peso de molde (g)	7040.00	7040.0	6995.00	6995.0	6942.00	6942.0
Peso del suelo húmedo (g)	4445.0	4515.0	4160.0	4317.0	3954.0	4188.0
Volumen del molde (cm ³)	2126.00	2126.0	2118.00	2118.0	2122.00	2122.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.099	2.124	1.960	2.038	1.860	1.970
Tara (N°)	A-1	A-6	A-3	A-5	A-2	A-4
Peso suelo húmedo + tara (g)	76.6	76.8	69.8	71.2	63.1	83.1
Peso suelo seco + tara (g)	70.7	69.0	65.1	64.0	58.6	74.3
Peso de tara (g)	12.80	10.30	15.00	11.10	10.20	11.30
Peso de agua (g)	5.9	7.8	4.7	7.2	4.5	8.8
Peso de suelo seco (g)	57.9	58.7	50.1	52.9	48.4	63.0
Contenido de humedad (%)	10.19	13.29	9.38	13.61	9.30	13.97
Densidad seca (g/cm ³)	1.897	1.875	1.796	1.794	1.705	1.732

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/09/2023	09:30	0	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
27/09/2023	09:30	24	1.40	0.036	0.031	1.80	0.046	0.040	2.00	0.051	0.044
28/09/2023	09:30	48	1.80	0.046	0.040	2.00	0.051	0.044	2.60	0.066	0.057
29/09/2023	09:30	72	2.50	0.064	0.055	2.70	0.069	0.059	3.10	0.079	0.068
30/09/2023	09:30	96	2.80	0.071	0.062	2.90	0.074	0.064	3.30	0.084	0.073

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0				0				0		
0.635			100				35				22		
1.270			160				64				42		
1.905			210				103				57		
2.540	70.5		310	310.9	21.8		131	133.7	9.4		67	72.4	5.1
3.180			380				164				85		
3.810			430				185				98		
5.080	105.7		458	458.7	21.4		211	210.6	9.8		114	110.0	5.1
7.620			499				246				121		
10.160			570				283				131		

ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOSIng. Carlos A. Anccasi Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881

RUC: 20608578189

DIRECCIÓN: AV. GENERAL CORDOVA # 322 CHILCA - HUANCAYO

(ALTURA DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES).

TELF.: 974222748 - (064)602348

ANCCORSAC@GMAIL.COM





ANCCOR S.A.C.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Emis. : SET 2023
Páginas : 02 de 02
Realizado por : C.A.
Certificado N° : N 203 - 23

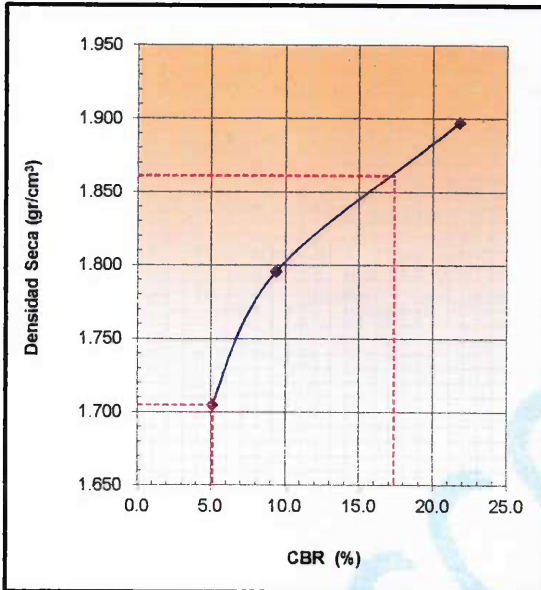
RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA NTP 399.145)

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : INCORPORACIÓN DEL 1.0% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : M - 03 (muestreo por el cliente)
ESTRUCTURA : SUBRASANTE

CLASF. (SUCS) : CL - ML
CLASF. (AASHTO) : A-4(0)



METODO DE COMPACTACION : NTP 399.145
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.96
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 10.40
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.861

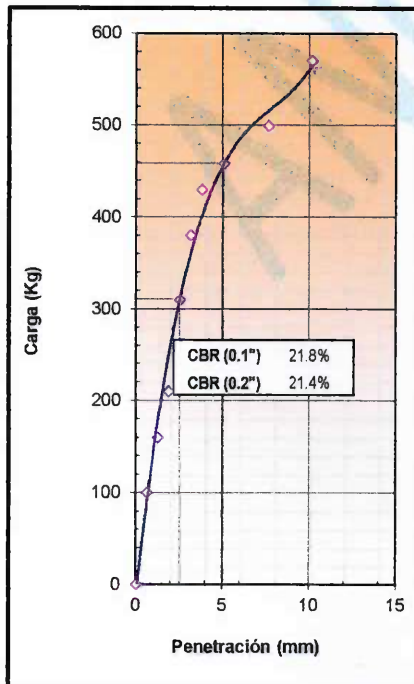
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	29.3
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	17.3

RESULTADOS:

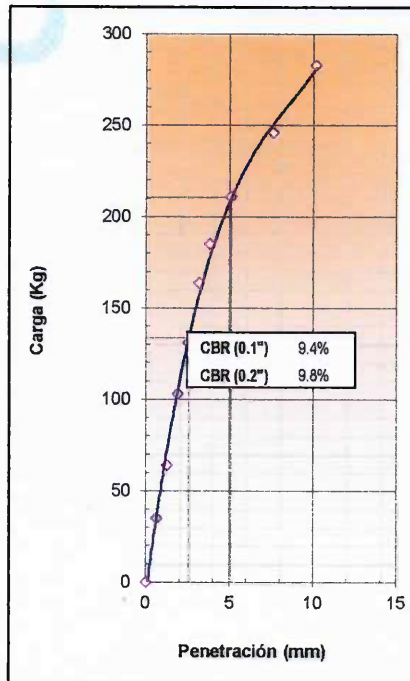
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 29.3 (%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 17.3 (%)

OBSERVACIONES:

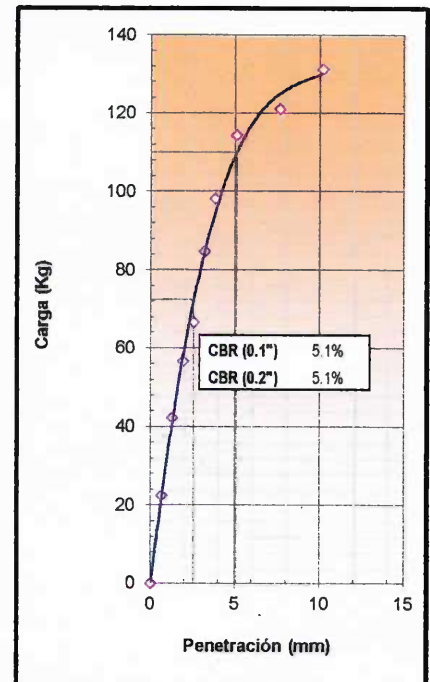
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Ancasí Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881





ANCCOR S.A.C.

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS**

Informe N° : CC SET 23

Fecha de Emisión : SET 2023

Páginas : 01 de 01

Realizado por : C.A.

Certificado N° : N 204 - 23

**LIMITES DE CONSISTENCIA QUE PASA LA MALLA N°40
(NORMA MTC E-110, E-111)**

TESIS	: "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE	: BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL	: INCORPORACIÓN DEL 1.5% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRÍZ
UBICACIÓN	: CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

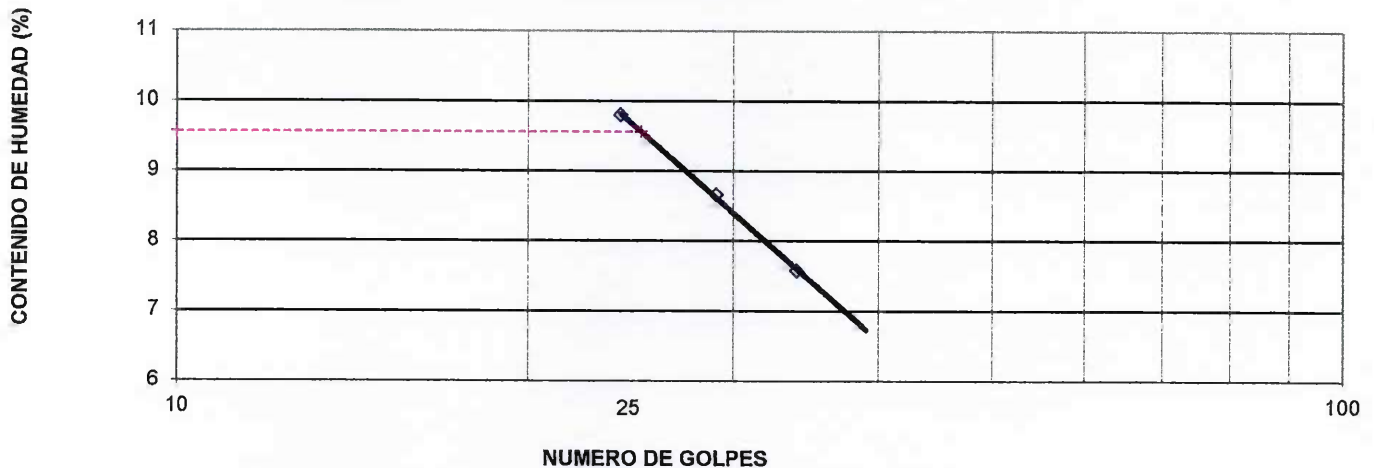
ESTRUCTURA : SUBRASANTE

MUESTRA : M - 04 (muestreo por el cliente)

LIMITES DE CONSISTENCIA QUE PASA LA MALLA N° 200

N° TARRO	Und	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
		1	2	3	7	8	Promedio
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	68.80	69.30	60.00	21.60	21.70	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	63.90	64.90	56.90	21.10	21.20	
PESO DE AGUA	(g)	4.90	4.40	3.10	0.5	0.5	
PESO DEL TARRO	(g)	13.90	14.10	16.00	14.10	13.90	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	50.0	50.8	40.9	7.0	7.3	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	9.8	8.7	7.6	7.1	6.8	7
NUMERO DE GOLPES	-	24	29	34	-	-	-

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



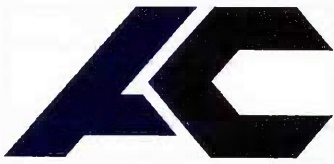
CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	10
LIMITE PLASTICO	7
INDICE DE PLASTICIDAD	3



ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

.....
Ing. Carlos A. Anccasi Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881



ANCCOR S.A.C.

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS,
CONCRETOS Y PAVIMENTOS**

Informe N° : CC SET 23

Fecha de Ems. : SET 2023

Páginas : 01 de 01

Realizado por : C.A.

Certificado N° : 205 - 23

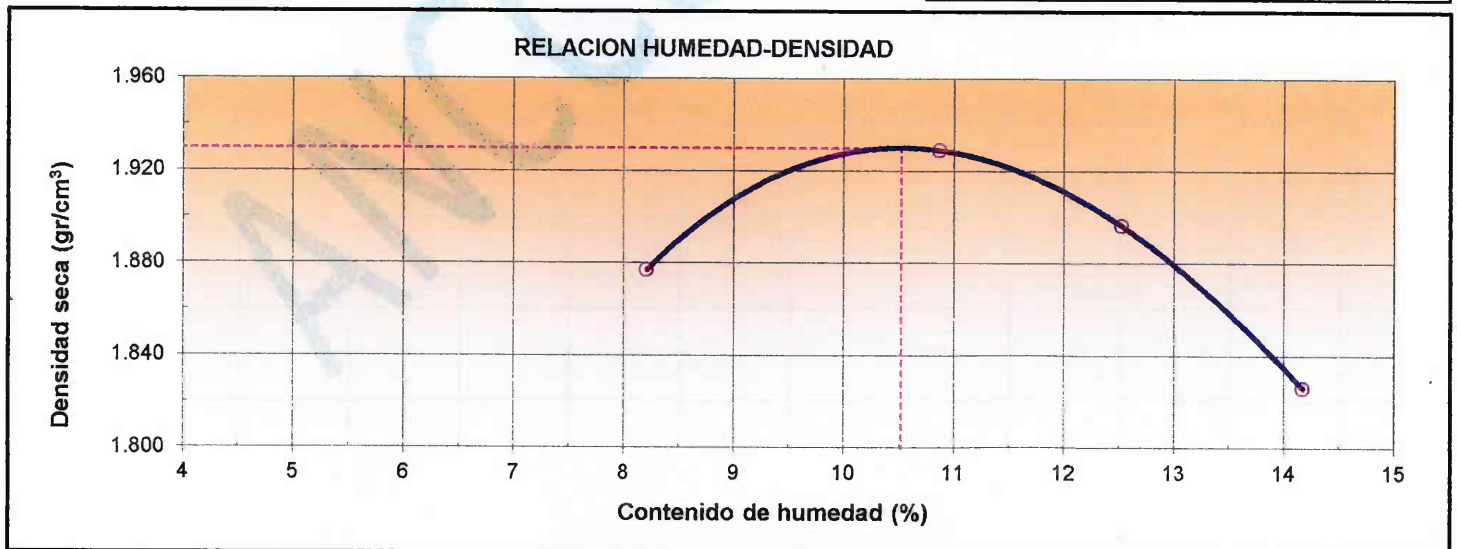
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO
(NORMA MTC E-115, ASTM D-1557)

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : INCORPORACIÓN DEL 1.5% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRÍZ
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

ESTRUCTURA : SUBRASANTE **MUESTRA** M - 04 (muestreo por el cliente)

Peso suelo + molde	gr	7412.0	7640.0	7630.0	7526.0	
Peso molde	gr	3097.0	3097.0	3097.0	3097.0	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4315.0	4543.0	4533.0	4429.0	
Volumen del molde	cm ³	2124.4	2124.4	2124.4	2124.4	
Peso volumétrico húmedo	gr	2.031	2.139	2.134	2.085	
Recipiente N°		T1	T2	T3	T4	
Peso del suelo húmedo+tara	gr	546.7	390.0	477.0	486.0	
Peso del suelo seco + tara	gr	522.2	357.4	438.8	442.2	
Tara	gr	223.8	57.5	133.8	133.1	
Peso de agua	gr	24.5	32.6	38.2	43.8	
Peso del suelo seco	gr	298.4	299.9	305.0	309.1	
Contenido de agua	%	8.21	10.87	12.52	14.17	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.877	1.929	1.896	1.826	
<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>						1.930
<i>Humedad óptima (%)</i>						10.52



ANCCOR SAC.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Anccasi Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881





ANCCOR S.A.C.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Emis. : SET 2023
Páginas : 01 de 02
Realizado por : C.A.
Certificado N° : N 206 - 23

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA NTP 399.145)

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : INCORPORACIÓN DEL 1.5% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRÍZ
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

ESTRUCTURA : SUBRASANTE MUESTRA : M - 04 (muestreo por el cliente)

COMPACTACION

Molde N°	1		2		3	
	5		5		5	
Capas N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11748.0	11740.0	11354.0	11417.0	10832.0	11012.0
Peso de molde (g)	7366.00	7366.0	7188.00	7188.0	6845.00	6845.0
Peso del suelo húmedo (g)	4382.0	4374.0	4166.0	4229.0	3987.0	4167.0
Volumen del molde (cm ³)	2110.00	2110.0	2114.30	2114.3	2126.00	2126.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.073	2.073	1.960	2.000	1.890	1.975
Tara (N°)	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6
Peso suelo húmedo + tara (g)	69.6	81.7	65.1	73.4	68.9	78.2
Peso suelo seco + tara (g)	63.9	74.6	59.0	67.0	62.6	70.2
Peso de tara (g)	15.90	17.00	10.00	17.10	17.30	16.80
Peso de agua (g)	5.7	7.1	6.1	6.4	6.3	8.0
Peso de suelo seco (g)	48.0	57.6	49.0	49.9	45.3	53.4
Contenido de humedad (%)	11.88	12.33	12.45	12.83	13.91	14.98
Densidad seca (g/cm ³)	1.856	1.846	1.752	1.773	1.646	1.705

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/09/2023	12:15	0	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
27/09/2023	12:15	24	1.20	0.030	0.026	3.60	0.091	0.079	6.60	0.168	0.145
28/09/2023	12:15	48	2.10	0.053	0.046	5.00	0.127	0.110	7.00	0.178	0.154
29/09/2023	12:15	72	2.30	0.058	0.051	5.40	0.137	0.119	7.10	0.180	0.156
30/09/2023	12:15	96	2.40	0.061	0.053	5.50	0.140	0.121	7.20	0.183	0.158

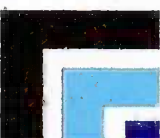
PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°				
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		
		mm	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg
0.000			0				0				0			
0.635			63				25				20			
1.270			123				45				28			
1.905			190				95				35			
2.540	70.5		295	283.0	19.8		110	108.8	7.6		43	46.2	3.2	
3.180			358				125				52			
3.810			398				153				66			
5.080	105.7		437	440.2	20.6		181	179.3	8.4		75	74.0	3.5	
7.620			491				225				89			
10.160			550				279				99			



ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Ancasí Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881





ANCCOR S.A.C.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Informe N° : CC SET 23
Fecha de Emis. : SET 2023
Páginas : 02 de 02
Realizado por : C.A.
Certificado N° : N 206 - 23

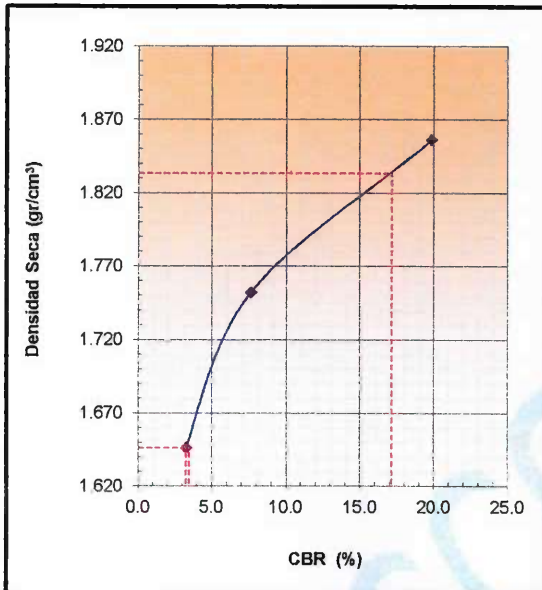
RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA NTP 399.145)

TESIS : "EFECTIVIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE PROPIEDADES VISCO-ELÁSTICAS DE ÓLEOS REUTILIZABLES EN MÓDULO DE SOPORTE DE SUELOS COHESIVOS"
CLIENTE : BACH. CINTHYA YOMIRA CRISOSTOMO LLALLICO
MATERIAL : INCORPORACIÓN DEL 1.5% DE ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRÍZ
UBICACIÓN : CHILCA - HUANCAYO - JUNIN

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : M - 04 (muestreo por el cliente)
ESTRUCTURA : SUBRASANTE

CLASF. (SUCS) : CL - ML
CLASF. (AASHTO) : A-4(0)



METODO DE COMPACTACION : NTP 399.145
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.93
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 10.52
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.833

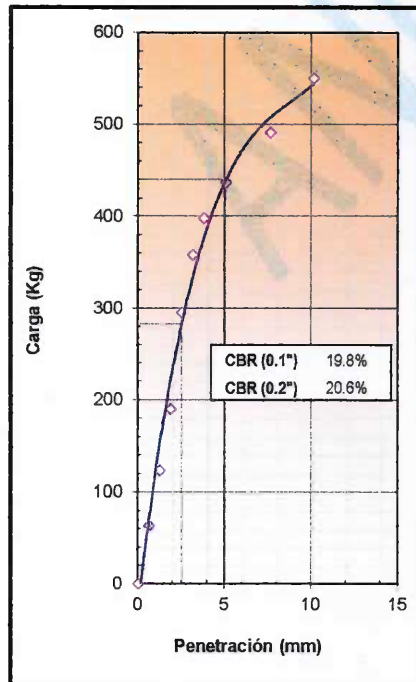
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	28.4
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	17.1

RESULTADOS:

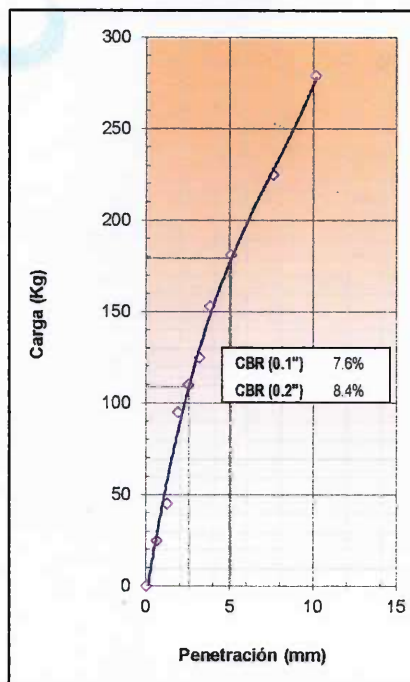
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 28.4 (%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 17.1 (%)

OBSERVACIONES:

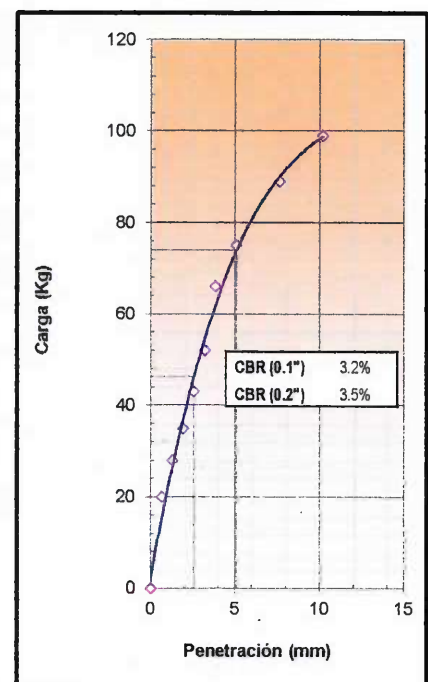
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



ANCCOR S.A.C.
LAB. MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Carlos A. Ancasi Rojas
Jefe de Laboratorio CIP. 148881

RUC: 20608578189

DIRECCIÓN: AV. GENERAL CORDOVA # 322 CHILCA - HUANCAYO
(ALTURA DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES).
TELF.: 974222748 - (064)602348
ANCCORSAC@GMAIL.COM

