

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Evaluación en Laboratorio de las Características de un Suelo
Arcilloso de Baja Compresibilidad Reforzado con Inclusiones
de Fibras de Polipropileno**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORA:

Carol Estefani Liendo Luque

ASESOR:

Marko Antonio López Bendezú

Lima, enero 2024


Informe de Similitud

Yo, **Marko Antonio López Bendezú**, docente de la **Facultad de Ciencias e Ingeniería** de la Pontificia

Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada: **Evaluación en Laboratorio de las Características de un Suelo Arcilloso de Baja Compresibilidad Reforzado con Inclusiones de Fibras de Polipropileno**, de la autora **Carol Estefani Liendo Luque** dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 16%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 21/01/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: San Miguel, Lima, domingo 21 de enero.

Apellidos y nombres del asesor: <u>López Bendezú, Marko Antonio</u>	
DNI: 41165322	 Firma:
ORCID: /0000-0003-0335-1693	

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo es evaluar el comportamiento mecánico de un suelo arcilloso con inclusiones de fibras de polipropileno, con la finalidad de mejorar las propiedades del suelo aumentando los valores de sus parámetros de resistencia y retrasando la proliferación de grietas por la disminución en sus cambios volumétricos. Las fibras de polipropileno son utilizadas como refuerzo de una arcilla extraído del distrito de Wanchaq en Cusco. Las fibras de polipropileno son de 0.88 mm de diámetro y 5 mm de longitud en diferentes porcentajes: 0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2% respecto al peso seco del suelo. Se realizaron ensayos en laboratorio tales como la humedad, granulometría por tamizado, gravedad específica de sólidos, límites de consistencia, ensayo de compactación Proctor modificado, CBR y corte directo. Como resultado, se obtuvo que la arcilla de baja compresibilidad y reforzada con 0.3% y 0.6% de fibras, pasó de clasificación de subrasante insuficiente a subrasante regular, según el Manual de Carreteras del MTC, y de subrasante regular a subrasante buena, según la norma CE.010 Pavimentos Urbanos. También se obtuvo que la arcilla reforzada con 0.3% de fibras obtuvo una mejora de los parámetros de resistencia al corte, de ángulo de fricción y cohesión del 34% y 71%, respectivamente, con respecto al suelo sin reforzamiento.

Palabras clave: ensayos geotécnicos, fibras de polipropileno, suelo arcilloso, reforzamiento.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento, de manera muy especial, a mis papás Mabel e Iván, por todo el amor incondicional y apoyo que me han brindado a lo largo de toda mi vida, por confiar en mí y por ser ejemplos a seguir.

A mis familiares, a mis hermanitos Fabian, Micaela y Adriana, quienes sin darse cuenta me inspiran a ser una mejor persona. A mi tía Lourdes que me brindó consejos, cariño y me hizo sentir como en casa cuando inicié mi vida universitaria en una ciudad nueva.

A mis docentes y a los amigos que conocí en la universidad, que contribuyeron en mi formación académica y en mi desarrollo personal.

A mi enamorado William, por ser mi compañero y soporte en toda situación.

Finalmente, al ingeniero Marko López por su conocimiento, su paciencia y su guía en el desarrollo de esta tesis.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	4
1.3. Hipótesis	4
1.4. Objetivos	5
1.5. Delimitación de la investigación.....	5
2. Marco teórico	6
2.1. Refuerzo con adición de fibras	6
2.2. Suelos finos.....	6
2.2.1. Principales propiedades	7
2.2.2. Problemas asociados.....	7
2.3. Parámetros mecánicos del suelo.....	8
2.3.1. Parámetros de compactación	8
2.3.2. Parámetros de resistencia al corte.....	9
2.3.3. Parámetro de capacidad de soporte	9
2.4. Ensayos de laboratorio.....	10
2.4.1. Contenido de agua	10
2.4.2. Peso específico relativo de los sólidos	10
2.4.3. Análisis granulométrico.....	11
2.4.4. Límites de Atterberg.....	11
2.4.5. Ensayo de compactación Proctor modificado	13
2.4.6. Ensayo de corte directo.....	14
2.4.7. Ensayo de capacidad de soporte	16
2.5. Polímeros.....	17
2.5.1. Identificación de polímeros	17
2.5.2. Polipropileno	18
2.6. Revisión bibliográfica	18
3. Materiales y métodos	21
3.1. Fibras de refuerzo	21
3.2. Ubicación de la extracción de suelo	22

3.3. Programa de ensayos de laboratorio	23
4. Resultados.....	24
4.1. Parámetros físicos del suelo natural	24
4.1.1. Contenido de agua	24
4.1.2. Peso específico de los sólidos.....	24
4.1.3. Análisis granulométrico.....	24
4.1.4. Límites de consistencia.....	25
4.2. Parámetros mecánicos del suelo natural.....	27
4.2.1. Ensayo de compactación modificado	27
4.2.2. Ensayo CBR	27
4.2.3. Ensayo de corte directo.....	29
4.3. Parámetros mecánicos del suelo reforzado	31
4.3.1. Ensayo de compactación del suelo reforzado.....	31
4.3.2. Ensayo CBR del suelo reforzado.....	32
4.3.3. Ensayo de corte directo del suelo reforzado	38
5. Discusión de resultados.....	47
5.1. Caracterización del suelo natural	47
5.2. Parámetros mecánicos del suelo natural y reforzado	47
5.2.1. Parámetros de compactación	47
5.2.2. Parámetros de capacidad de soporte.....	48
5.2.3. Parámetros de resistencia al corte.....	49
5.3. Comparación con resultados de revisión bibliográfica.....	51
6. Conclusiones	52
Bibliografía	53
Anexo A: Evidencias de los ensayos en laboratorio	56
Anexo B: Panel fotográfico	87

Lista de figuras

Figura 1.1: Estabilización con cal, tratamiento químico (Castellanos, 2011).	1
Figura 1.2: Reemplazo de suelo blando con el uso de una mototrailla (Yepes, 2021).....	2
Figura 1.3: Instalación de geosintéticos en pavimentos (Baamonde et al., 2011).	2
Figura 1.4: Fibras de a) polipropileno b) poliéster c) polietileno d) nailon e) vidrio	3
Figura 1.5: Reforzamiento del terraplén con fibras de polipropileno en la autopista <i>President George Bush Turnpike</i> (Gregory G. , 2006).	3
Figura 2.1: Límites de Atterberg (Das, 2013).....	12
Figura 2.2: Cuchara de Casagrande.	13
Figura 2.3: Molde de 4" (101.6 mm) para ensayo Proctor (Das, 2013).	14
Figura 2.4: Arreglo para ensayo de corte directo (Das, 2013).....	15
Figura 2.5: Máquina de corte directo.	15
Figura 2.6: a) Molde de compactación de CBR b) Pesas c) Máquina manual para CBR.	17
Figura 2.7: Símbolos de los seis polímeros sintéticos (Coreño & Méndez, 2010).....	18
Figura 3.1: Fibras de polipropileno empleadas.....	21
Figura 3.2: Ubicación de calicatas.	22
Figura 3.3: Geología de la zona.	23
Figura 4.1: Curva granulométrica.	25
Figura 4.2: Diagrama de fluidez: número de golpes vs humedad.....	26
Figura 4.3: Curva de compactación del suelo natural.....	27
Figura 4.4: Expansión del suelo natural.....	28
Figura 4.5: Curvas de penetración versus esfuerzo del suelo natural.....	28
Figura 4.6: CBR vs. densidad seca del suelo natural.....	29
Figura 4.7: Deformación horizontal vs. deformación vertical del suelo natural.	30
Figura 4.8: Deformación horizontal vs. esfuerzo cortante del suelo natural.	30
Figura 4.9: Criterio de falla del suelo natural.	31
Figura 4.10: Curvas de compactación en función del suelo reforzado.....	32
Figura 4.11: Expansión del suelo con 0.3% PP.	32
Figura 4.12: Curvas de penetración vs. esfuerzo del suelo con 0.3% PP.	33
Figura 4.13: CBR vs. densidad seca del suelo con 0.3% PP.	33
Figura 4.14: Expansión del suelo con 0.6% PP.	34
Figura 4.15: Curvas de penetración vs. esfuerzo del suelo con 0.6% PP.	34

Figura 4.16: CBR vs. densidad seca del suelo con 0.6% PP.	35
Figura 4.17: Expansión del suelo con 0.9% PP.	35
Figura 4.18: Curvas de penetración vs. esfuerzo del suelo con 0.9% PP.	36
Figura 4.19: CBR vs. densidad seca del suelo con 0.9% PP.	36
Figura 4.20: Expansión del suelo con 1.2% PP.	37
Figura 4.21: Curvas de penetración vs. esfuerzo del suelo con 1.2% PP.	37
Figura 4.22: CBR vs. densidad seca del suelo con 1.2% PP.	38
Figura 4.23: Deformación horizontal vs. deformación vertical del suelo con 0.3% PP.	39
Figura 4.24: Deformación horizontal vs. esfuerzo cortante del suelo con 0.3% PP.	39
Figura 4.25: Envolvente de falla del suelo con 0.3% PP.	40
Figura 4.26: Deformación horizontal vs. deformación vertical del suelo con 0.6% PP.	41
Figura 4.27: Deformación horizontal vs. esfuerzo cortante del suelo con 0.6% PP.	41
Figura 4.28: Envolvente de falla del suelo con 0.6% PP.	42
Figura 4.29: Deformación horizontal vs. deformación vertical del suelo con 0.9% PP.	43
Figura 4.30: Deformación horizontal vs. esfuerzo cortante del suelo con 0.9% PP.	43
Figura 4.31: Envolvente de falla del suelo con 0.9% PP.	44
Figura 4.32: Deformación horizontal vs. deformación vertical del suelo con 1.2% PP.	45
Figura 4.33: Deformación horizontal vs. esfuerzo cortante del suelo con 1.2% PP.	45
Figura 4.34: Envolvente de falla del suelo con 1.2% PP.	46
Figura 5.1: a) Densidad máxima seca y b) humedad optima en función de suelo reforzado. .	48
Figura 5.2: CBR y clasificación de subrasante según: a) Manual de carreteras del MTC y b) CE.010 pavimentos urbanos	48
Figura 5.3: Deformación horizontal vs. esfuerzo cortante en función del porcentaje de fibras para: a) σ_n : 0.4 kg/cm ² b) σ_n : 0.8 kg/cm ² c) σ_n : 1.6 kg/cm ²	50
Figura 5.4: Deformación horizontal vs. deformación vertical en función del porcentaje de fibras para: a) σ_n : 0.4 kg/cm ² b) σ_n : 0.8 kg/cm ² c) σ_n : 1.6 kg/cm ²	51

Lista de tablas

Tabla 2.1: Clasificación según tamaño de suelos (adaptado de Das, 2013).	7
Tabla 2.2: Tamaños de los tamices estándar (adaptado de Das, 2013).....	11
Tabla 2.3: Resumen según método de ensayo Proctor modificado.	14
Tabla 3.1: Características técnicas de las fibras de refuerzo (FCM, 2022).	21
Tabla 3.2: Resumen de cantidad de ensayos.....	23
Tabla 4.1: Contenido de agua del suelo natural.....	24
Tabla 4.2: Gravedad específica del suelo natural.	24
Tabla 4.3: Análisis granulométrico por tamizado.....	25
Tabla 4.4: Ensayo de límite líquido del suelo natural.....	26
Tabla 4.5: Ensayo de límite plástico del suelo natural.....	26
Tabla 4.6: Ensayo de Proctor modificado del suelo natural.	27
Tabla 4.7: Ensayo de penetración del suelo natural.....	28
Tabla 4.8: Ensayo de CBR del suelo natural.	29
Tabla 4.9: Ensayo de corte directo del suelo natural.	30
Tabla 4.10: Ensayo de corte directo del suelo natural.	31
Tabla 4.11: Ensayo de penetración del suelo con 0.3% PP.	33
Tabla 4.12: Ensayo de CBR del suelo con 0.3% PP.....	34
Tabla 4.13: Ensayo de penetración del suelo con 0.6% PP.	34
Tabla 4.14: Ensayo de CBR del suelo con 0.6% PP.....	35
Tabla 4.15: Ensayo de penetración del suelo con 0.9% PP.	36
Tabla 4.16: Ensayo de CBR del suelo con 0.9% PP.....	37
Tabla 4.17: Ensayo de penetración del suelo con 1.2% PP.	37
Tabla 4.18: Ensayo de CBR del suelo con 1.2% PP.....	38
Tabla 4.19: Ensayo de corte directo del suelo con 0.3% PP.....	39
Tabla 4.20: Ensayo de corte directo del suelo con 0.3% PP.....	40
Tabla 4.21: Ensayo de corte directo del suelo con 0.6% PP.....	40
Tabla 4.22: Ensayo de corte directo del suelo con 0.6% PP.....	41
Tabla 4.23: Ensayo de corte directo del suelo con 0.9% PP.....	42
Tabla 4.24: Ensayo de corte directo del suelo con 0.9% PP.....	43
Tabla 4.25: Ensayo de corte directo del suelo con 1.2% PP.....	44
Tabla 4.26: Ensayo de corte directo del suelo con 1.2% PP.....	45

Tabla 5.1: Características físicas del suelo natural	47
Tabla 5.2: Parámetros de compactación.	47
Tabla 5.3: Porcentajes de incremento de CBR del suelo reforzado.....	49
Tabla 5.4: Parámetros de resistencia al corte con sus porcentajes de incremento.	49



1. Introducción

1.1. Antecedentes

La noción de mejorar las características de un suelo cuya capacidad de carga sea baja o que sea susceptible a asentamientos no es reciente. Se sabe que, en la antigüedad, incluso antes de Cristo, se utilizaban materiales vegetales con el fin de brindar mayor resistencia a ladrillos de arcillas y evitar la formación de grietas (Hurtado, 2017). Desde ese entonces, la ingeniería ha buscado diversas formas de mejorar la calidad del suelo, el cual es base para las cimentaciones de todas las estructuras.

La arcilla es un suelo que presenta una capacidad portante y una resistencia al corte bajas en comparación con los otros suelos, debido a la presencia de agua, su plasticidad y la expansividad que presenta. Este tipo de suelo se constituye por partículas finas de tamaño menor a 0.002 mm y de formas alargadas, planas y laminares (Junco & Tejeda, 2013).

Actualmente existen varias alternativas para el mejoramiento de suelos arcillosos, tales como reemplazo, tratamientos químicos, estabilización térmica, electrotratamientos, estabilización biotécnica y reforzamiento. En la Figura 1.1 y la Figura 1.2 se muestran algunos métodos de mejoramiento de suelos finos.



Figura 1.1: Estabilización con cal, tratamiento químico (Castellanos, 2011).



Figura 1.2: Reemplazo de suelo blando con el uso de una mototrailla (Yepes, 2021).

El método de reforzamiento consiste en diseñar un sistema de suelo mejorado en el lugar a través de inclusiones de elementos resistentes a la tracción para mejorar las propiedades de resistencia al esfuerzo cortante y capacidad portante del suelo natural. Estas mejoras se deben a que estos elementos ejercen una fuerza de tracción en suelos cuya resistencia a tracción en la mayoría de los casos es prácticamente nula.

Los materiales para el reforzamiento del suelo pueden presentarse como inclusiones continuas orientadas previamente, como los geosintéticos, así también como inclusiones discretas orientadas aleatoriamente (Sherwell, 2014). En la Figura 1.3 se muestra la instalación de geosintéticos para el reforzamiento de un pavimento como ejemplo de inclusiones continuas previamente orientadas.



Figura 1.3: Instalación de geosintéticos en pavimentos (Baamonde et al., 2011).

Para inclusiones discretas orientadas aleatoriamente se usa fibras de refuerzo que, por lo general, son fabricadas de materiales artificiales caracterizados por una alta resistencia mecánica y durabilidad (Vettorelo & Clariá, 2014). En la Figura 1.4 se muestran diferentes variedades de fibras sintéticas (polipropileno, poliéster, polietileno, nailon y vidrio).

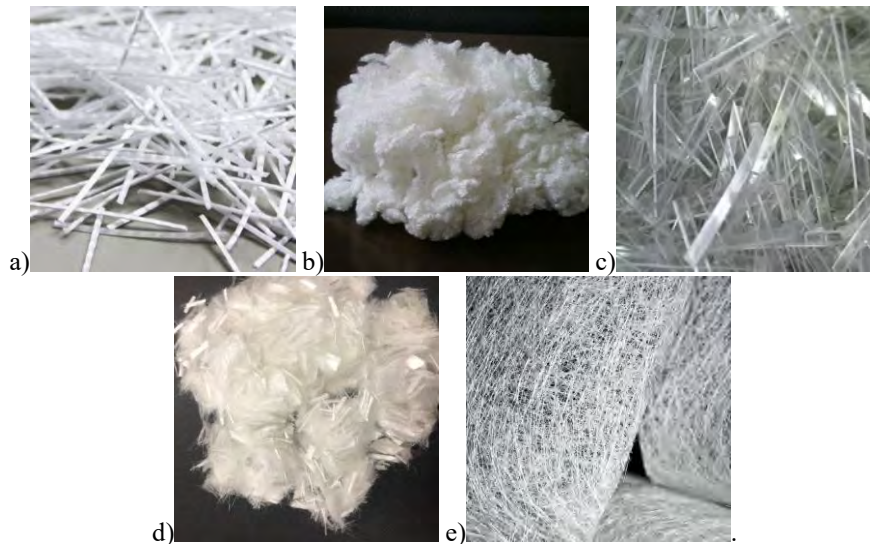


Figura 1.4: Fibras de a) polipropileno b) poliéster c) polietileno d) nailon e) vidrio

Algunas de las aplicaciones de suelos reforzados mediante la incorporación de fibras son las siguientes: el mejoramiento de suelos con potencial de licuación alto, la construcción de terraplenes, la estabilización de taludes, el mejoramiento de subrasantes y el refuerzo de bases de pavimentos (Vettorelo & Clariá, 2014). Un ejemplo del uso de suelo mejorado mediante inclusiones de fibras de polipropileno es el proyecto de la construcción de la vía *President George Bush Turnpike* en Texas (en EE.UU.), la cual pasaba a través de una zona de suelos residuales, en donde se construyó un terraplén con material del lugar. Para evitar fallas superficiales en el relleno, se incorporó fibras de polipropileno a la fracción superior del suelo con el objetivo de reforzarlo, como se muestra en la Figura 1.5.



Figura 1.5: Reforzamiento del terraplén con fibras de polipropileno en la autopista *President George Bush Turnpike* (Gregory G. , 2006).

El polipropileno, material usado en el ejemplo mencionado, es un tipo de plástico que tiene una amplia gama de aplicaciones en diferentes sectores debido a sus propiedades mecánicas, térmicas, químicas, etc. Cualidades importantes como su alta resistencia

mecánica, baja densidad y tiempo de degradación muy lento convierten al polipropileno en un potencial material de refuerzo en suelos arcillosos (Amaya et al., 2018). Por otro lado, en la ciudad de Cusco se tiene registro de diversos tipos de suelos en los que predominan las arcillas y los limos en los distritos de Santiago, San Sebastián y Wanchaq (Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres - SIGRID, 2004). Así mismo, según el más reciente censo elaborado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018), la tasa de crecimiento promedio anual de la población del departamento de Cusco es de 0.3%. Este crecimiento crea el requerimiento de la habilitación de viviendas y, a su vez, de creación de vías y accesos. Es así que en la presente investigación se considera importante que se evalúe el impacto de la inclusión de fibras de polietileno como material que sirva de refuerzo en suelos arcillosos en una ciudad como Cusco, en donde este suelo impera y que cada año crece poblacionalmente.

1.2. Justificación

Uno de los métodos de mejoramiento que ha estado adquiriendo relevancia en los años más recientes es el de los suelos reforzados con inclusiones de fibras. Actualmente existen dos formas: inclusiones continuas previamente orientadas e inclusiones discretas orientadas aleatoriamente. En contraposición con los geosintéticos más usuales como las geomallas o los geotextiles que configuran las inclusiones continuas previamente orientadas, algunas ventajas de usar inclusiones de fibras son las siguientes (Rosales, 2014):

- Las fibras orientadas aleatoriamente pueden reforzar el suelo en diferentes planos potenciales de debilitamiento.
- Las fibras son simplemente colocadas y agregadas al suelo, como las mezclas de suelo con cal, cemento u otras sustancias.

Como parte de la exploración de materiales novedosos que sirvan de refuerzo y que cumplan con características mecánicas y de durabilidad apropiadas, surge el planteamiento de usar fibras de polipropileno, del cual se tiene ejemplos de aplicaciones en otros países como el mencionado en Texas en EE.UU.

La importancia de esta investigación radica básicamente en evaluar en laboratorio diferentes mezclas de suelos cohesivos con fibras para su reforzamiento, y que en un futuro no muy distante se aplique en la región.

1.3. Hipótesis

Las inclusiones de fibras de polipropileno en porcentaje adecuado actúan como elementos de tracción que mejoran las características mecánicas de arcillas de baja

compresibilidad extraídas de Cusco. Se cuantificará la influencia de los valores de sus parámetros de resistencia a la compactación, al corte y de soporte, y se discutirá si retrasa la proliferación de grietas por la disminución en sus cambios volumétricos.

1.4. Objetivos

El objetivo general es analizar los parámetros de compactación, de resistencia al corte y de capacidad de soporte de un suelo fino arcilloso de baja compresibilidad con y sin inclusiones de fibras de polipropileno en diferentes porcentajes (0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2% del peso seco).

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Determinar la caracterización geotécnica del suelo arcilloso.
- Comparar los resultados experimentales del suelo analizado con los resultados obtenidos en los antecedentes bibliográficos.
- Determinar los parámetros de resistencia cortante y capacidad de soporte del suelo arcilloso reforzado con diferentes contenidos (0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2%) de fibras de polipropileno y la mejora respecto a los valores del suelo sin refuerzo.
- Identificar los porcentajes adecuados de fibras para el mejor comportamiento mecánico del suelo fino arcilloso reforzado.

1.5. Delimitación de la investigación

El presente trabajo de investigación tiene como alcance realizar un estudio experimental mediante diferentes ensayos de laboratorio de suelos tales como granulometría por tamizado, límites de Atterberg, ensayo de compactación, capacidad de soporte y corte directo, con el propósito de determinar la caracterización geotécnica del suelo arcilloso escogido y, a su vez, analizar cómo las inclusiones de fibras de polipropileno mejoran los parámetros mecánicos de resistencia y capacidad de soporte del suelo. Además, los resultados obtenidos se comparan con la literatura encontrada, de forma que se discute y se realizan comentarios más precisos debido a que se cuenta con un mayor rango información sobre el tema.

2. Marco teórico

2.1. Refuerzo con adición de fibras

El mejoramiento de un suelo es el procedimiento artificial o mecánico a través de cual se pretende que el suelo cumpla con los requisitos mínimos de resistencia, estabilidad volumétrica y permeabilidad. Varios factores influyen en la decisión del ingeniero geotécnico al elegir la técnica adecuada, ya que el tipo de mejoramiento para un suelo podría desfavorecer a otro. Además, influyen varios aspectos como el económico, la disponibilidad de recursos, entre otros.

Según Ingles y Metcalf (1972), existen tres posibles decisiones que el ingeniero debe tomar respecto a un suelo que no sea adecuado para los requerimientos de un determinado fin:

- i. Reconocer el estado del material tal como se encuentre, pero tomando en cuenta de manera realista su calidad en el diseño a realizar.
- ii. Excluir el material no adecuado y reemplazarlo por otro de mejores características.
- iii. Mejorar las características del suelo existente, a fin de que sea capaz de cumplir requerimientos superiores.

La última posibilidad da lugar a las diversas alternativas de mejoramiento de suelos, y entre las propiedades más frecuentes que son estudiadas por dificultades de estabilización se tienen las siguientes: resistencia, permeabilidad, estabilidad volumétrica, compresibilidad y durabilidad.

Al suelo combinado con elementos de propiedades más resistentes se le denomina suelo reforzado. El principal propósito de un reforzamiento es disminuir los asentamientos, aumentar la estabilidad y la resistencia cortante o la tensión. Típicamente, estos elementos de refuerzo han sido franjas de metal, barras, mallas, placas o fibras, las cuales se mezclan de manera aleatoria en la matriz del suelo (Gil & Nuñez, 2018).

Las fibras empleadas como elementos de refuerzo pueden ser de fuentes artificiales o naturales. Estas últimas, pueden ser de procedencia animal o vegetal y son biodegradables, y deberán ser utilizadas únicamente en casos que se solicite esta cualidad. Por otra parte, las fibras de reforzamiento de origen artificial pueden ser derivadas de metales como alambres, de carbono, de vidrio o de polímeros.

2.2. Suelos finos

Se le llama distribución granulométrica de un suelo a la división de este en diferentes partes, separadas por el tamaño de sus partículas. La separación de estas se realiza a través

de mallas de dimensiones establecidas, separando los suelos gruesos y finos. Los suelos gruesos son aquellos cuyo porcentaje retenido por la malla N° 200 (0.075 mm) es mayor del 50% (Das, 2013). Los suelos gruesos pueden ser gravas o arenas. En cuanto a los suelos finos, son aquellos cuyo porcentaje retenido por la malla N°200 es menor del 50%. Los suelos finos pueden ser limos o arcillas, siendo estos últimos los de diámetro o tamaño más pequeño. En la Tabla 2.1, se muestran los límites de tamaño de suelos según cuatro organizaciones, de las cuales se hará referencia a las dos últimas (AASHTO y SUCS) en el presente trabajo de investigación. Es así como los suelos se clasifican en dos grandes conjuntos: granulares o gruesos, y cohesivos o finos.

Tabla 2.1: Clasificación según tamaño de suelos (adaptado de Das, 2013).

Nombre de la institución	Tamaño de la partícula (mm)			
	Suelos gruesos		Suelos finos	
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
MIT - Instituto Tecnológico de Massachusetts	> 2	2 - 0.06	0.06 - 0.002	< 0.002
USDA - Departamento de Agricultura de Estados Unidos	> 2	2 - 0.05	0.05 - 0.002	< 0.002
AASHTO - Asociación Americana de funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales	76.2 - 2	2 - 0.075	0.075 - 0.002	< 0.002
SUCS - Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	76.2 - 4.75	4.75 - 0.075	< 0.075	

2.2.1. Principales propiedades

Las partículas que conforman el suelo fino no son visibles a simple vista puesto que son muy pequeñas; sin embargo, su forma puede ser achatada y alargada. La resistencia de este suelo depende mayormente de las fuerzas eléctricas de atracción superficial entre sus partículas, es decir, depende esencialmente de la cohesión (Das, 2013). Algunas otras características principales de los suelos finos son las siguientes: baja permeabilidad y resistencia baja a media. Estas particularidades tienen un efecto significativo en el comportamiento del suelo.

2.2.2. Problemas asociados

Usualmente los terrenos más problemáticos para cimentar son los terrenos arcillosos. Estos constituyen una fuente interminable de problemas de estabilidad en varias obras de construcción, puesto que, por lo general, no satisfacen las especificaciones necesarias para proyectos de pavimentación, presas o terraplenes (Gil & Nuñez, 2018). Esto se debe a sus propiedades ya mencionadas, que traen como consecuencia una baja capacidad de soporte y grandes deformaciones (Rosales, 2014).

En Estados Unidos se estima que el costo anual por los perjuicios totales causados por suelos finos es de 15 mil millones de dólares estadounidenses, más del doble del costo por daños causados por fenómenos naturales; mientras que, según la Asociación de Aseguradores Británicos (ABI), la cantidad anual promedio asociada a los efectos negativos causados por suelos finos es de aproximadamente 400 millones de libras, lo que los convierte en el riesgo geológico más perjudicial en el Reino Unido (Carrillo, 2019).

Así mismo, los suelos que se expanden y se reducen a causa de las variaciones de la cantidad de humedad de los mismos son más conocidos como suelos expansivos, que son suelos finos arcillosos inestables. Es necesario que las presiones de expansión sean controladas, ya que estas pueden llegar a inclinar postes, levantar pavimentos, fracturar muros, romper tuberías, etc. Por lo tanto, es importante localizar los suelos finos expansivos y determinar el método de mejoramiento más apropiado para eludir los problemas mencionados (Hernández et al., 2016).

Los problemas y daños relacionados a suelos finos son recurrentes en todo el mundo (Rosales, 2014). El Perú no es la excepción, notándose su presencia en provincias como Cusco, Pasco, Lima, La Libertad, etc.

2.3. Parámetros mecánicos del suelo

2.3.1. Parámetros de compactación

La compactación incrementa los valores de los parámetros de resistencia de los suelos al aumentar su capacidad de carga de las cimentaciones sobre ellos. En múltiples proyectos de construcción, los suelos sueltos se tienen que compactar para aumentar su densidad (Das, 2013).

Cuando se agrega agua al suelo, actúa como un lubricante natural entre las partículas, ayudando a reacomodarlas en un estado más denso bajo una energía mecánica de la compactación. En caso se añada una medida reducida de agua a una masa de suelo y después se compacte, el suelo poseerá un cierto peso específico, y conforme el contenido de humedad del mismo suelo aumente con la misma energía de compactación, el peso específico seco aumentará gradualmente hasta que alcanzará un valor máximo. Al nivel de humedad que alcanza el peso específico seco máximo se le conoce como contenido de humedad óptimo (Das, 2013)

Para determinar los parámetros de compactación, se pueden realizar dos pruebas de laboratorio: Proctor estándar y Proctor modificada. Esta última se elabora para la presente tesis, debido a que la energía de compactación usada para la prueba Proctor modificada representa mejor las condiciones de campo.

2.3.2. Parámetros de resistencia al corte

Al someter a cualquier suelo a un aumento de esfuerzos o presiones producidos por alguna infraestructura, se producen esfuerzos en el suelo que intentan conservar el equilibrio que antes existía. En ocasiones, las cargas externas tienen un valor que sobrepasa a la suma de los esfuerzos internos de la masa de suelo, lo que provoca que se rompa el equilibrio existente y, al mismo tiempo, se producen los planos de falla o de deslizamiento (Leoni, 1987). Esta resistencia interna de la masa del suelo por unidad de área que puede ofrecer en los planos de falla y deslizamiento se le conoce como resistencia al corte de un suelo (Das, 2013).

La resistencia al corte, en términos generales, es una función que depende del contenido de agua (humedad), presión intersticial del agua en la masa del suelo, la cohesión y la resistencia a la fricción entre las partículas.

Para la mayoría de casos, es suficiente una función lineal para aproximarse al esfuerzo de corte, como se muestra en la ecuación siguiente, conocida como el criterio de falla de Morh-Coulomb (Das, 2013). Para hallar sus parámetros, como la cohesión y el ángulo de fricción, se pueden realizar dos pruebas de laboratorio: prueba triaxial y prueba de corte directo. Esta última se realizó en la presente investigación.

$$\tau = c + \sigma \times \tan \phi$$

Donde: τ es el esfuerzo cortante en el plano de falla, c es la cohesión, σ es el esfuerzo normal en el plano de falla y ϕ es el ángulo de fricción interna.

2.3.3. Parámetro de capacidad de soporte

En carreteras, la capacidad de soporte de un suelo se explica como la carga que este es capaz de soportar sin que se produzcan asentamientos excesivos. Los suelos que contienen gran cantidad de partículas finas presentan, por lo general, baja capacidad de soporte.

El valor de CBR es el indicador para cuantificar y calificar la capacidad de soporte en vías. Este se determina mediante un ensayo semiempírico para estimar la calidad de un suelo basado en su resistencia al corte. El CBR se explica como la relación entre la presión requerida para que el pistón se introduzca en el suelo una profundidad definitiva con la penetración de una muestra estándar de grava triturada y se expresa en porcentaje (Bañón y Beviá, 2000).

2.4. Ensayos de laboratorio

2.4.1. Contenido de agua

Es un ensayo de laboratorio basado en la norma ASTM D2216. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC (2016), el contenido de agua se define como el peso del agua del suelo entre por el peso de las partículas sólidas. Este valor juega un rol fundamental en el comportamiento físico y químico. Por ejemplo, en un suelo fino, la consistencia depende de su humedad.

Para medir el contenido de agua o humedad, se procede de forma siguiente:

- i. Se registra el peso de una cápsula seca y limpia.
- ii. Se selecciona un espécimen característico del suelo.
- iii. Se coloca la muestra húmeda en la cápsula y se pesa.
- iv. Se coloca la capsula con la muestra en un horno a 110 ± 5 °C durante aproximadamente 24 horas.
- v. Trascurrido el tiempo, se retira del horno y se determina el peso de la cápsula con la muestra seca.

2.4.2. Peso específico relativo de los sólidos

Es una prueba de laboratorio fundamentada en la norma ASTM D854. Este dato se obtiene como la relación entre el peso específico de las partículas del suelo y el peso específico del agua desionizada o destilada a 20 °C (Zegarra et al., 2010). Según el MTC (2016), el peso específico o gravedad específica relativa de los sólidos es utilizado para hallar las relaciones de fase de suelos.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- i. Se llena con agua destilada un picnómetro hasta una marca de calibración y se registra el peso.
- ii. Se determina, con ayuda de un termómetro, la temperatura aproximada del agua.
- iii. Se coloca una muestra del suelo, previamente secada en el horno, en el picnómetro vacío con ayuda de una tolva tipo embudo. Se determina este peso.
- iv. Se introduce agua destilada en el picnómetro hasta aproximadamente la mitad del instrumento para remojar la muestra de suelo durante 12 horas.
- v. Trascurrido el tiempo, se debe evacuar el aire atrapado entre las partículas de suelo dentro del picnómetro con la ayuda de una bomba de vacío. Mientras se desaira el agua mezclada con la muestra de suelo, se debe agitar ligeramente el picnómetro para asegurar la expulsión de aire.

- vi. Se termina de llenar con agua destilada el picnómetro hasta la marca de calibración, evitando la formación de burbujas de aire. Se determina el peso del picnómetro lleno de suelo y agua desairada.

2.4.3. Análisis granulométrico

Es una prueba de laboratorio fundamentada en la norma peruana NTP 400.012. La granulometría proporciona información importante como propiedades mecánicas, origen y cantidad de cada una de las partículas según su tamaño en la escala granulométrica (HLC, 2019). El análisis del tamaño de partículas por tamizado se realiza al separar el suelo mediante una serie de mallas que definen la medida de la partícula. En la Tabla 2.2 se muestra el tamaño de abertura en milímetros de dichas mallas.

Tabla 2.2: Tamaños de los tamices estándar (adaptado de Das, 2013).

Malla N°	Abertura (mm)
4	4.750
10	2.000
20	0.850
40	0.425
60	0.250
140	0.106
200	0.075

El procedimiento a seguir para realizar el análisis granulométrico por tamizado es el siguiente:

- i. La muestra se cuartea para obtener un espécimen representativo.
- ii. El espécimen debe ser secado en un horno y, una vez seco, se pesa.
- iii. Se lava la muestra en las mallas N°10 y N°200 para eliminar las partículas finas.
- iv. Se seca el espécimen lavado en un horno y, una vez seco, se pesa.
- v. Se tamiza el espécimen por las mallas y se registra el peso retenido en cada una de ellas.
- vi. Se verifica que la suma de las cantidades retenidas en las mallas no difiera de la suma total del espécimen en más de 1%.

2.4.4. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg o de consistencia son ensayos de laboratorio basados en la norma ASTM D4318. Estos límites son aquellos contenidos de agua en los cuales el comportamiento del suelo se modifica. Este comportamiento se clasifica en 4 estados fundamentales llamados sólido, semisólido, plástico y líquido (Das, 2013), los cuales se muestran en la Figura 2.1.

Atterberg estableció las primeras convenciones para diferenciar los estados de

consistencia del suelo, cuyo nombre es el de límite de consistencia.

Los límites de Atterberg que tienen usos prácticos son el Límite líquido (LL): Es el límite entre los estados líquido y plástico; y el Límite plástico (LP): Es el límite entre los estados plástico y semisólido.

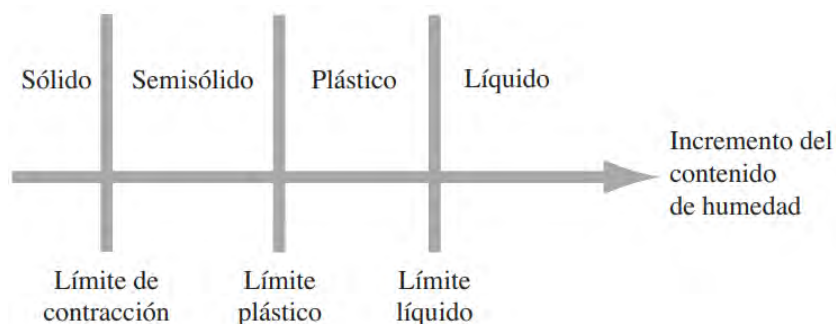


Figura 2.1: Límites de Atterberg (Das, 2013).

El índice de plasticidad ($IP = LL - LP$) indica el rango de humedad en el que el suelo se mantiene plástico; en consecuencia, si el valor de IP es pequeño, el suelo tiene un rango bajo de comportamiento plástico, y de manera inversa también. De este modo, el tipo de suelos que tienen un bajo IP son los que contienen limo, dado que al añadir una pequeña cantidad de agua el suelo pasa del estado semisólido al líquido. En cambio, los suelos que contienen arcilla tienen un IP mayor, por lo que necesitan que se les añada más agua para pasar del estado semisólido al líquido. En apariencia algunos suelos finos que contienen arena pueden ser muy similares a las arcillas, pero al intentar realizar el ensayo de límite plástico, no se logra formar los rollitos, quedando en evidencia su ausencia de plasticidad. En este tipo de suelos, el LL resulta casi igual al LP e incluso a veces menor, dando como resultado un IP negativo. Estas determinaciones de plasticidad no tienen sentido y no llevan a ningún resultado de interés.

El procedimiento para realizar el ensayo de LL es el siguiente:

- i. Se registra el peso de cuatro cápsulas.
- ii. Se coloca una cantidad de suelo que pase la malla N°40 en la cuchara de Casagrande. Este instrumento se muestra en la Figura 2.2.
- iii. Se presiona y esparce el espécimen con ayuda de una espátula procurando que tenga una profundidad de aproximadamente 1 cm y con una superficie horizontal.
- iv. Se forma una ranura en la mitad de la cuchara con un ranurador en el espécimen, manteniendo el ranurador perpendicular a la superficie de la cuchara.
- v. La manivela de la cuchara gira a una velocidad de dos golpes por segundo hasta que las 2 porciones del suelo se toquen una distancia de 13 mm, y se retira una muestra del centro de la cuchara para determinar su contenido de humedad.

- vi. Se repite este procedimiento 4 veces y se registra la cantidad de golpes.



Figura 2.2: Cuchara de Casagrande.

El procedimiento para realizar el ensayo de LP es el siguiente:

- i. Se registra el peso de tres cápsulas.
- ii. Se selecciona una fracción de suelo que pase la malla N°40, para amasarlo y tratar de formar rollitos.
- iii. Los rollitos deben empezar a fisurarse al llegar a los 3.2 mm de diámetro.
- iv. Cuando ocurre dicho fisuramiento, se coloca en las cápsulas y se determina su contenido de humedad.

2.4.5. Ensayo de compactación Proctor modificado

Es un ensayo de laboratorio basado en la norma ASTM D1557 y la norma AASHTO T 180. Según Das (2013), la compactación es la densificación del suelo por la expulsión del aire, y esto requiere de energía mecánica. En general, el esfuerzo de compactación le imparte al suelo un incremento de la resistencia al corte y de la densidad; y reducción de la contracción, permeabilidad y compresibilidad. Las pruebas de compactación en laboratorio proporcionan los datos necesarios para hallar del porcentaje de compactación y la humedad óptima.

El procedimiento a seguir para realizar el ensayo de compactación Proctor modificado es el siguiente:

- i. Se determina, según la granulometría del suelo, el método que se usará para el ensayo (método A, B o C). En la Tabla 2.3 se exhibe un resumen del material que se debe emplear, diámetro del molde, número de golpes por cada capa y gradación según el método.
- ii. Se debe preparar especímenes con diferentes contenidos de humedad cercanos al óptimo. Para el método A se usa normalmente 3 kg por cada espécimen.
- iii. Se pesa el molde de compactación. En la Figura 2.3 se muestra el molde usado en

- el ensayo modificado de compactación.
- iv. Se compacta cada espécimen en cinco capas con ayuda del pisón de 4.54 kg y 25 golpes por capa. Las capas deben ser de un mismo espesor.
 - v. Cuando se finaliza con la compactación, se retira el collar y base del molde para registrar el peso.
 - vi. Se extrae una muestra central del molde con el suelo compactado para calcular el valor de su porcentaje de humedad.
 - vii. Se realiza este procedimiento para cada espécimen.

Tabla 2.3: Resumen según método de ensayo Proctor modificado.

Método de ensayo	A	B	C
Material empleado	< #4	< 3/8"	< 3/4"
Diámetro del molde	4"	4"	6"
Número de golpes	25	25	56
Gradación	Hasta 20% > #4	Más de 20% > #4 y hasta 20% > 3/8"	Más de 20% > 3/8" y menos de 30% > 3/4"

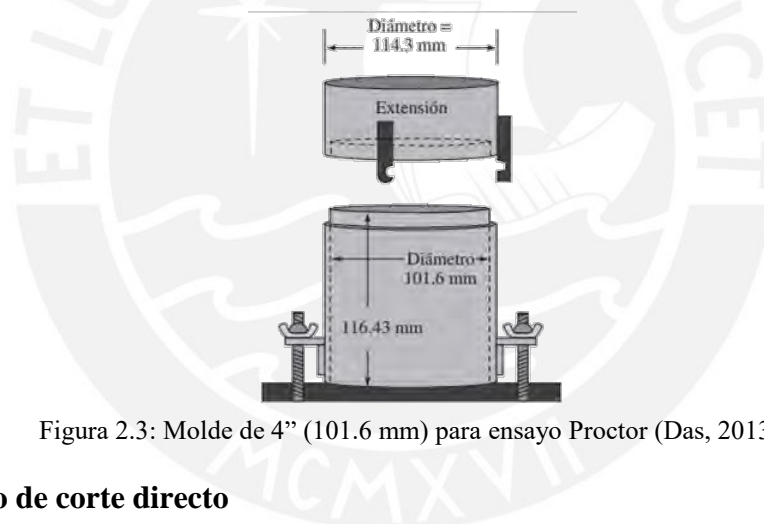


Figura 2.3: Molde de 4" (101.6 mm) para ensayo Proctor (Das, 2013).

2.4.6. Ensayo de corte directo

Es una prueba de laboratorio basada en la norma ASTM D3080. El ensayo se utiliza para estimar, de forma relativamente rápida, los parámetros de resistencia de muestras drenadas y consolidadas tanto de suelos cohesivos como granulares. El ensayo impulsa al acontecimiento de una falla por un plano horizontal previamente determinado. Sobre dicho plano existen dos esfuerzos o fuerzas actuantes: esfuerzo normal causado por la aplicación de una carga vertical de manera externa y un esfuerzo cortante causado por una carga horizontal.

En suelos cohesivos se puede realizar en muestras inalteradas o recompactadas. El procedimiento para realizar el ensayo de corte directo es el siguiente:

- i. Se mide la altura y el diámetro de la caja de corte.

- ii. En el caso se trate de una muestra inalterada, se debe cortar la muestra para que encaje en la caja. Y en el caso se trate de una muestra recompactada, se debe compactar la muestra en la caja hasta alcanzar una densidad esperada. Cabe mencionar que las piedras porosas deben estar colocadas en los extremos de la muestra. En la Figura 2.4 se muestra el arreglo para el ensayo de corte directo.
- iii. Se coloca el pistón de carga y se monta la caja en la máquina de corte como se presenta en la Figura 2.5; se aplica la carga normal.
- iv. Se agrega agua hasta por sobre la muestra en el depósito; de esta forma, se permite el drenaje y consolidación de esta. La cota del líquido se debe conservar mientras se realice el ensayo.
- v. Se retira el pin de seguridad.
- vi. Se coloca en la máquina una velocidad de corte horizontal de 0.5 mm/min.
- vii. Después de que la máquina se detenga, se retira la muestra y se repite el procedimiento con otra carga normal. Se debe ensayar mínimo 3 especímenes para trazar la envolvente de falla.

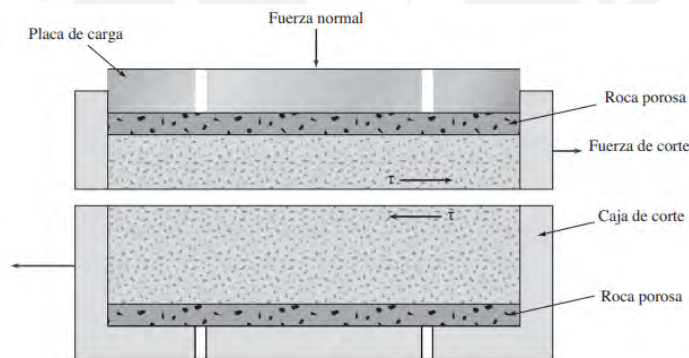


Figura 2.4: Arreglo para ensayo de corte directo (Das, 2013).



Figura 2.5: Máquina de corte directo.

2.4.7. Ensayo de capacidad de soporte

El *California Bearing Ratio* (CBR) es una prueba de laboratorio basada en la norma ASTM D1883. Según el MTC (2016), esta prueba se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base. La prueba de laboratorio utiliza un pistón circular para penetrar un material compactado en un molde. El CBR está expresado como el porcentaje de la carga requerida en el pistón para penetrar 0.1 pulgadas (2.5 mm) y 0.2 pulgadas (5 mm) en el suelo de prueba.

El procedimiento para realizar el ensayo de CBR es el siguiente:

- i. Se calcula la humedad óptima por medio de la prueba de compactación del suelo a ensayar.
- ii. Se determina la humedad natural de la muestra y con este dato se calcula la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad óptima.
- iii. Se pesa el molde de compactación con su base como se ve en la Figura 2.6; se coloca el collar, falso fondo y un círculo de papel filtro.
- iv. Se compactan las tres muestras con 55, 26 y 12 golpes por 5 capas equivalentes.
- v. Se retira el collar y se iguala. Se desmonta el molde y se ajusta sin el falso fondo. Se halla el peso del molde más la muestra densa.
- vi. Se instala sobre el plano de la muestra invertida, la placa perforada con vástago y, encima de esta, las pesas circulares que representan la sobrecarga, que no debe ser menor a los 4.54 kg.
- vii. Se colocan las patas del trípode sobre los bordes del molde, y se alinea el vástago del dial de deformación con el de la placa perforada. Se toma anotaciones de la lectura. Después, se sumerge el molde en agua durante 96 horas y se anota la lectura, para determinar la expansión de las muestras saturadas.
- viii. Después del período de expansión, se retira la muestra del agua y se deja drenar durante 15 minutos. Se retira el trípode, la placa perforada, las pesas circulares y el papel filtro. Se calcula el peso del molde con el suelo saturado.
- ix. Se inicia el período de penetración y se vuelven a colocar las pesas circulares para prevenir el empuje hacia arriba del suelo mientras el pistón de la máquina manual (véase en la Figura 2.6) aplica carga. Se apuntan las lecturas de carga y penetraciones.
- x. Se desmonta el molde y se retira una muestra del lado superior del espécimen donde se ejerció la penetración para comprobar la humedad.

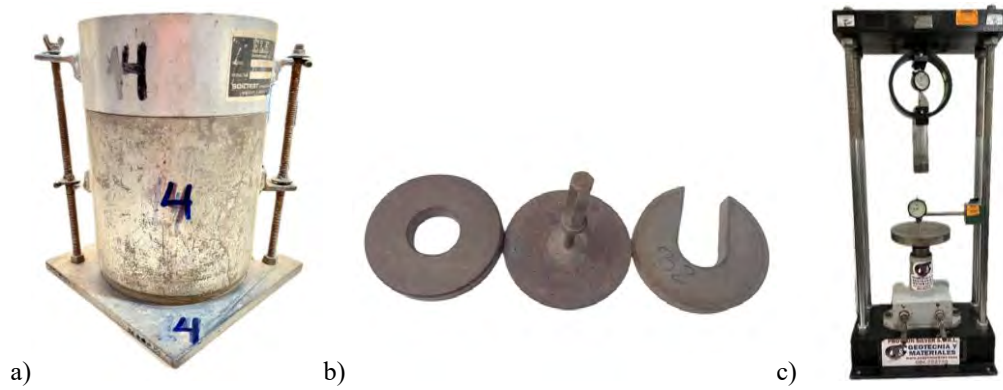


Figura 2.6: a) Molde de compactación de CBR, b) pesas y c) prensa para CBR.

2.5. Polímeros

Los polímeros son moléculas grandes formadas por una suma de pequeñas unidades reiterativas, llamados monómeros. A la cantidad de monómeros reiterativos dentro de una molécula grande se le conoce como grado de polimerización. En general, las sustancias orgánicas que se encuentran en los organismos vivos son macromoléculas, como las proteínas, la madera, el caucho y las resinas. Del mismo modo, los polímeros se encuentran en diversos productos plásticos, adhesivos, vidrio, porcelana y las fibras de nailon (Lopez, 2004). Actualmente, se cuenta con un número cada vez mayor de polímeros para cubrir las diferentes necesidades de la humanidad, debido a su composición química y estructura que permite que estos puedan englobar una extensa gama de características ópticas, químicas, eléctricas y mecánicas, y, en consecuencia, de gran diversidad de aplicaciones incluso científicas como sustitutos de otros elementos (Coreño & Méndez, 2010).

2.5.1. Identificación de polímeros

Como ya se mencionó, existe un gran número de tipos de polímeros que se utilizan en la vida cotidiana. Por este motivo, por lo menos en cuanto se refiere a los plásticos, se instauraron códigos de seguridad en sus aplicaciones con el propósito de facilitar su clasificación e identificación, y para ejecutar el reciclaje de manera más viable. En la Figura 2.7 se muestran los símbolos de los seis polímeros sintéticos más comunes en el mercado, su estructura química y aplicaciones.

Símbolo	Estructura química	Aplicaciones
 PET	 Poliétilentereftalato	Botellas de bebidas carbonatadas y agua mineral, bandejas
 HDPE	 Poliétileno de alta densidad	Contenedores para jugos, leche y agua, juguetes, botellas de detergente y lavandina
 PVC	 Policloruro de vinilo	Botellas de champú, algunas botellas de agua mineral y jugo de limón bolsas
 LDPE	 Poliétileno de baja densidad	Bolsas de todo tipo
 PP	 Polipropileno	Algunas bolsas, bandejas, vasos, juguetes, botellas, tarros tapas de botellas
 PS	 Poliestireno	Vasos, bandejas, cajas de CD, cubiertos descartables, videocassettes

Figura 2.7: Símbolos de los seis polímeros sintéticos (Coreño & Méndez, 2010).

2.5.2. Polipropileno

El polipropileno (*polypropylene*) (PP) es un polímero termoplástico, semicristalino, blanco y semiopaco, que en la actualidad se fabrica en una amplia variedad de modificaciones y calidades. Es un plástico que se usa principalmente para la construcción de piezas que requieren resistencia química y peso liviano, entre otras varias aplicaciones (Amaya et al., 2018). Este material se obtiene principalmente a través de la polimerización del propileno; entre sus principales características se encuentran las siguientes:

- Baja tenacidad a temperaturas bajo cero, sensible a impactos.
- Baja densidad.
- Excelente resistencia química.
- Muy baja absorción de humedad.
- No sufre agrietamiento por esfuerzo.
- Alta dilatación térmica.

2.6. Revisión bibliográfica

Se buscó diversas fuentes para la revisión de la literatura sobre el reforzamiento de suelos con la incorporación de fibras de PP. Entre las más relevantes y recientes se encontraron las siguientes:

Arrelucé y Solís (2021) en su tesis titulada “Incorporación de fibras de polipropileno

como método de reforzamiento de suelos arcillosos en Palián - Huancayo” propusieron como método de reforzamiento de suelo arcilloso el uso de fibras de polipropileno de 10 mm de longitud y en diferentes porcentajes 0.1%, 0.2%, 0.3% y 0.4%. Se realizaron ensayos para clasificar el suelo seleccionado: análisis granulométrico, límites de Attenberg y gravedad específica de los sólidos. Se realizaron ensayos de caracterización mecánica al suelo natural recompactado y reforzado con fibras: ensayo Proctor estándar, corte directo y compresión simple. Una vez realizados los ensayos de laboratorio se obtuvo como principales observaciones y conclusiones que el porcentaje que brinda un mejor resultado es de 0.4% respecto a otras mezclas de cuantía menor, ya que disminuye la densidad máxima seca de 1.82 a 1.72 g/cm³ y, así mismo, los valores de cohesión, ángulo de fricción y esfuerzo último mejoraron.

Solis e Inga (2021) en su tesis titulada “Análisis del comportamiento mecánico del suelo arcilloso reforzado con fibras de polipropileno en La Merced - Junín 2021” plantean adicionar fibras de polipropileno en porcentajes de 0.2%, 0.4%, 0.6% y 0.8% en un suelo fino obtenido en Chanchamayo. Para caracterizar el suelo se efectuaron el análisis granulométrico y límites de Attenberg, mientras que para las propiedades mecánicas se efectuaron los ensayos de compactación de energía modificada y CBR. Como resultado, se obtuvo que la mezcla idónea fue 0.6% de fibra y se pudo mejorar el suelo que tenía una categoría de subrasante pobre a una categoría de subrasante buena. Adicionalmente, se demostró que el peso específico seco máximo disminuye de forma progresiva de 1.89 a 1.85 g/cm³.

Vettorelo y Clariá (2014), en su artículo “Suelos reforzados con fibras: estado del arte y aplicaciones”, presentaron una revisión bibliográfica acerca del refuerzo de suelos a través de la añadidura de fibras. Se examinaron los tipos y contenidos habituales de fibras utilizados tanto en suelos gruesos como en finos. Se llegó a la conclusión de que el reforzamiento con fibras aumenta la resistencia cortante especialmente a grandes deformaciones y ofrece mayor ductilidad tanto a suelos gruesos como a finos, debido a que las fibras son sometidas a tensión por el movimiento relativo de las partículas de suelo. Asimismo, la inclusión de fibras disminuye la densidad del suelo, debido a que las fibras son más ligeras y proporcionan mayor resistencia a las pruebas de compactación tradicionales. Por último, concluyen que son varias las aplicaciones viables del suelo reforzado mediante inclusión de fibras. No obstante, se necesitan más investigaciones experimentales para tener mayor confiabilidad.

Tang et al. (2007) en su artículo “*Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil*” llevaron a cabo un estudio

experimental para analizar los efectos de fibras cortas de polipropileno sobre el comportamiento mecánico del suelo fino de matriz arcillosa con cemento y sin cemento. Se prepararon 12 muestras de suelo con 3 porcentajes de contenido de fibra (0,05%, 0,15% y 0,25% por peso de suelo) y 2 porcentajes de contenido de cemento (5% y 8% por peso de suelo), y se realizaron ensayos de compresión libre y corte directo. Los resultados indicaron que las inclusiones de refuerzo en el suelo cementado y no cementado incitan un aumento en la resistencia a la compresión no confinada, la resistencia al corte y la deformación axial en la falla, y que, a su vez, cambió el comportamiento frágil del suelo cementado a un comportamiento más dúctil.

Cabrera y Domínguez (2021) en su tesis titulada “Estudio experimental de la influencia del cemento y de la fibra de polipropileno con fines de mejorar el comportamiento geotécnico de un suelo volcánico ubicado en la progresiva 88 +100 km de la vía Arequipa-Omate-Moquegua” utilizaron cemento y fibra de polipropileno para agregarlos a un suelo natural clasificado como SP-SM, arena mal gradada limosa, y se realizaron ensayos para comparar el comportamiento del suelo natural y el suelo reforzado con 0.25%, 0.75%, 1% y 1.25% de fibras de PP y 0.5% cemento. Se realizaron de compactación Proctor modificado y corte directo. Los resultados obtenidos mostraron que mientras se incrementa la dosificación de fibras de PP, también la densidad seca máxima del suelo incrementa en el porcentaje de 1%. Asimismo, que el porcentaje de 1% de adición de fibras es el que tiene una mejor resistencia a altos esfuerzos normales (4 kg/cm^2).

3. Materiales y métodos

3.1. Fibras de refuerzo

Las fibras de polipropileno que se usaron para la elaboración de las muestras de suelo reforzado fueron adquiridas de la empresa peruana Fibras Cortadas y Monofilamentos SAC - FCM. Estas están diseñadas para la reducción de fisuras por contracción plástica de concretos y morteros. Las dimensiones de las fibras son 50 mm de longitud y 0.88 mm de diámetro. En la Figura 3.1 se pueden apreciar las fibras empleadas para la presente investigación.



Figura 3.1: Fibras de polipropileno empleadas.

Así mismo, en la Tabla 3.1 se muestran las especificaciones técnicas de las fibras. Estas han sido diseñadas para refuerzo en concreto, sin embargo, para la presente investigación esa no será su aplicación. Entre las características más relevantes que tienen se encuentran su alta resistencia mecánica y química, densidad ligera, punto de fusión alto y nula absorción de agua.

Tabla 3.1: Características técnicas de las fibras de refuerzo (FCM, 2022).

Características	Macro Fibra de Polipropileno
Aplicación	Refuerzo estructural en concreto proyectado y pavimento rígido
Material	Polipropileno virgen
Longitud	50 mm
Tensión a la rotura	> 500 MPa
Módulo de Young	> 10 GPa
Fibras por kg	> 32500
Diámetro	0.88 mm
Resistencia a álcalis, ácidos y cloruros	Excelente
Absorción de agua, oxidación	0%
Densidad relativa	0.9-0.92 g/cm ³
Punto de fusión	150 - 170 °C

Después de analizar los diversos estudios realizados en mejoramiento de suelos con las inclusiones de fibras se llegó a la conclusión y decisión de usar en este estudio experimental los porcentajes de 0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2% de inserciones de fibras de polipropileno. Estos porcentajes están en función al peso seco de las muestras que se usaron para realizar los diferentes ensayos en laboratorio.

3.2. Ubicación de la extracción de suelo

El suelo fue extraído del distrito de Wanchaq, que es uno de los ocho distritos que conforman la provincia de Cusco, situada en el departamento de Cusco. Se realizaron cuatro calicatas de aproximadamente 1.5 m de profundidad, de las cuales se retiró la cantidad suficiente de suelo para los ensayos de laboratorio del fondo de la calicata. En la Figura 3.2, se muestra el plano de ubicación de las calicatas.



Figura 3.2: Ubicación de calicatas.

La geología del distrito de Wanchaq está conformada por la Formación San Sebastián. Según Gregory (1916), la formación se divide en 5 secuencias de tercer orden; la primera secuencia y la más superficial, está conformada por intercalaciones de arcillas, limolitas y niveles delgados de arena fina. Es por ello que se eligió esa zona para extraer muestras de suelo arcilloso. En la Figura 3.3 se muestra el plano geológico de la zona de la cual se recogieron muestras.

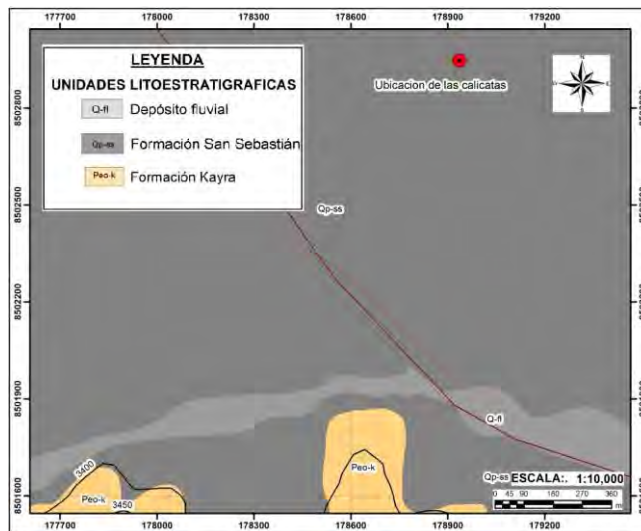


Figura 3.3: Geología de la zona.

3.3. Programa de ensayos de laboratorio

Se extrajo un suelo arcilloso al cual se le realizó ensayos de laboratorio tales como contenido de agua, peso específico de sólidos, granulometría y límites de consistencia (límite líquido y límite plástico). Con los resultados obtenidos de estos ensayos se determinó su clasificación SUCS y AASHTO. Después se agregó a diferentes muestras del suelo fino los porcentajes de fibras de polipropileno de 0%, 0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2% con respecto al suelo seco. Estas fibras tuvieron como características físicas una longitud de 50 mm y un diámetro de 0.88 mm; posteriormente, se realizaron pruebas de compactación, CBR y ensayos de corte directo. En la Tabla 3.2 se muestra un resumen de los ensayos realizados.

Tabla 3.2: Resumen de cantidad de ensayos.

Ensayos	Norma	Número de ensayos	
		Suelo natural	Suelo reforzado con inclusiones de fibras PP (0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2% del peso seco)
Contenido de agua	ASTM D-2216	1	0
Peso específico de los sólidos	ASTM D-854	1	0
Granulometría	NTP 400.012	1	0
Límite líquido	ASTM D-4318	1	0
Límite plástico	ASTM D-4318	1	0
Compactación Proctor	ASTM D-698	1	4
CBR	ASTM D-1883	1	4
Corte directo	ASTM D-3080	1	4

4. Resultados

Los ensayos de la presente investigación fueron realizados según las normas correspondientes en el laboratorio de suelos, materiales y asfalto de la empresa PRO&CON SILVER S.C.R.L., ubicado en la ciudad del Cusco con dirección Urb. Licenciados L-3, distrito de San Sebastián.

4.1. Parámetros físicos del suelo natural

4.1.1. Contenido de agua

El espécimen usado para determinar la humedad (ω) fue sacado en una muestra alterada en bolsa para que no perdiera su humedad natural. En la Tabla 4.1 se muestran los resultados del procedimiento de dos muestras.

Tabla 4.1: Contenido de agua del suelo natural.

	M-1	M-2
Peso de cápsula (g)	53.49	30.59
Peso de cápsula + muestra húmeda (g)	302.80	319.64
Peso de cápsula + muestra seca (g)	262.62	275.05

Se obtuvo un contenido de agua de la muestra 1 de 19.21% y de la muestra 2 de 18.24%. Ambos valores se promediaron, dando como resultado un contenido de humedad de 18.73%.

4.1.2. Peso específico de los sólidos

Se usaron dos muestras para determinar el peso específico o gravedad específica de los sólidos (G_s), cuyos datos de laboratorio se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Gravedad específica del suelo natural.

	M-1	M-2
Peso de muestra seca (g)	295.09	295.14
Peso de picnómetro + muestra + agua (g)	852.20	851.30
Temperatura del agua (°C)	16	16.3
Peso del picnómetro + agua (g)	666.72	667.15
Corrección por temperatura	1.00074	1.00069

Se obtiene que el valor de peso específico de los sólidos de la primera muestra es igual a 2.69 y de la segunda muestra es 2.66. Se promediaron los resultados y se obtuvo un valor de 2.68.

4.1.3. Análisis granulométrico

El espécimen usado para la determinación del análisis granulométrico por tamizado fue sacado de muestras alteradas en bolsa. Las muestras fueron cuarteadas para obtener un espécimen representativo del lugar. La Tabla 4.3 presenta los resultados del ensayo de

granulometría en donde se muestran los pesos retenidos desde el tamiz N°4 y se continuó con los tamices más pequeños.

Tabla 4.3: Análisis granulométrico por tamizado.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)
N°4	4.75	4.16
N°10	2.00	5.00
N°20	0.850	8.95
N°40	0.425	14.92
N°60	0.250	23.10
N°140	0.106	129.13
N°200	0.075	25.76
Cazuela	-	0.29
Peso de la muestra antes del lavado (g)		1026.39
Peso de la muestra después del lavado (g)		211.48

Con los resultados obtenidos, se demostró que el suelo extraído tenía mayor cantidad de fracción fina, ya que el porcentaje de finos es de 79.42%, de arena es 20.17% y de grava es 0.41%. A continuación, se muestra en la Figura 4.1 la curva granulométrica del suelo ensayado.

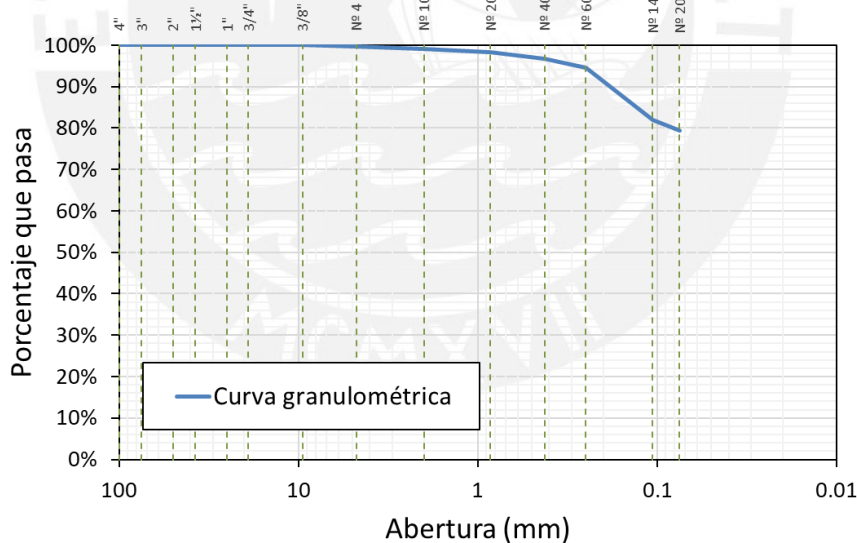


Figura 4.1: Curva granulométrica.

4.1.4. Límites de consistencia

Las muestras que se utilizaron para los ensayos de límites fueron muestras alteradas en bolsa, de las cuales se usó el material pasante por la malla N°40. En primer lugar, para el ensayo de límite líquido se realizaron cuatro muestras con diferentes porcentajes de humedad. En la Tabla 4.4 se muestran los resultados del ensayo de límite líquido.

Tabla 4.4: Ensayo de límite líquido del suelo natural.

	M-1	M-2	M-3	M-4
Número de golpes	39	32	25	18
Peso de cápsula (g)	10.75	7.68	11.52	10.12
Peso de cápsula + muestra húmeda (g)	28.03	28.69	28.97	30.78
Peso de cápsula + muestra seca (g)	25.01	24.95	25.58	26.65
Peso del agua (g)	3.02	3.74	3.39	4.13
Peso de muestra seca (g)	14.26	17.27	14.06	16.53
Contenido de agua	21.18%	21.66%	24.11%	24.98%

Los resultados de contenido de agua como ordenadas y el número de golpes como abscisas de cada muestra se representan en la Figura 4.2 con su respectiva línea de tendencia logarítmica. Para obtener el valor del límite líquido, se toma el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la mencionada línea con la abscisa de 25 golpes; de esta forma, se consigue el valor de 23.

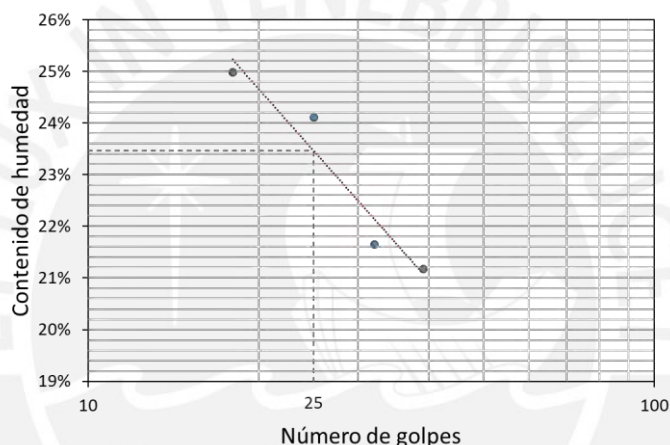


Figura 4.2: Diagrama de fluidez: número de golpes vs humedad.

En segundo lugar, para el ensayo de límite plástico se usaron tres especímenes con los cuales se realizaron rollitos de diámetro menor a 3.2 mm y se obtuvieron los porcentajes de contenido de humedad que se muestran en la Tabla 4.5; estos datos se promediaron y dieron como resultado el valor de 13.

Tabla 4.5: Ensayo de límite plástico del suelo natural.

	M-1	M-2	M-3
Peso de cápsula (g)	9.28	8.24	8.12
Peso de cápsula + muestra húmeda (g)	14.46	14.90	13.65
Peso de cápsula + muestra seca (g)	13.88	14.10	12.99
Peso del agua (g)	0.58	0.80	0.66
Peso de la muestra seca (g)	4.60	5.86	4.87
Contenido de agua	12.61%	13.65%	13.55%

Finalmente, se calcula el IP - índice de plasticidad (diferencia entre LL y LP) dando como resultado 10.

4.2. Parámetros mecánicos del suelo natural

4.2.1. Ensayo de compactación modificado

Se usó una muestra alterada en bolsa, para realizar el ensayo de compactación y determinar la humedad óptima (ω_{opt}) y peso específico seco máximo ($\gamma_{d max}$). Se ensayaron 4 especímenes de unos 4 kilos aproximadamente cada uno. A continuación, se muestra la Tabla 4.6 con los resultados del ensayo Proctor modificado método A.

Tabla 4.6: Ensayo de Proctor modificado del suelo natural.

	M-1	M-2	M-3	M-4
Golpes por capa	25			
N° capas	5			
Peso del molde (g)	3570.00			
Volumen del molde (cm ³)	943.96			
Peso del molde + muestra húmeda (g)	5482.00	5564.00	5600.00	5538.00
Densidad seca (g/cm ³)	1.80	1.85	1.85	1.76
Peso de cápsula (g)	18.40	19.34	18.70	10.48
Peso de cápsula + muestra húmeda (g)	74.50	78.32	78.22	78.96
Peso de cápsula + muestra seca (g)	68.25	71.03	69.99	68.28
Contenido de humedad (%)	12.54	14.10	16.05	18.48

En la Figura 4.3 se presentan el contenido de agua versus la densidad seca, y se traza la curva de compactación, se calcula que el suelo natural tiene una humedad óptima de 15.13% y una densidad seca máxima de 1.861 g/cm³.

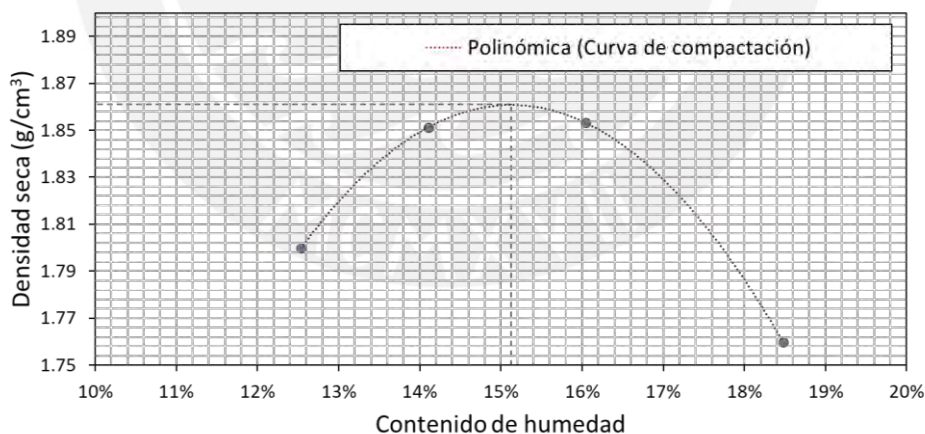


Figura 4.3: Curva de compactación del suelo natural.

4.2.2. Ensayo CBR

Para la realización del ensayo se usaron 3 especímenes que se compactaron a diferentes energías (55, 26 y 12 golpes por capa) tomando en cuenta el ω_{opt} del ensayo Proctor. Después de la compactación, las muestras se sumergieron 4 días en agua, debido que los suelos cohesivos se expanden en contacto con el agua. Durante esta etapa se toman las lecturas de hinchamiento, que se representan en la Figura 4.4 como porcentajes de expansión.

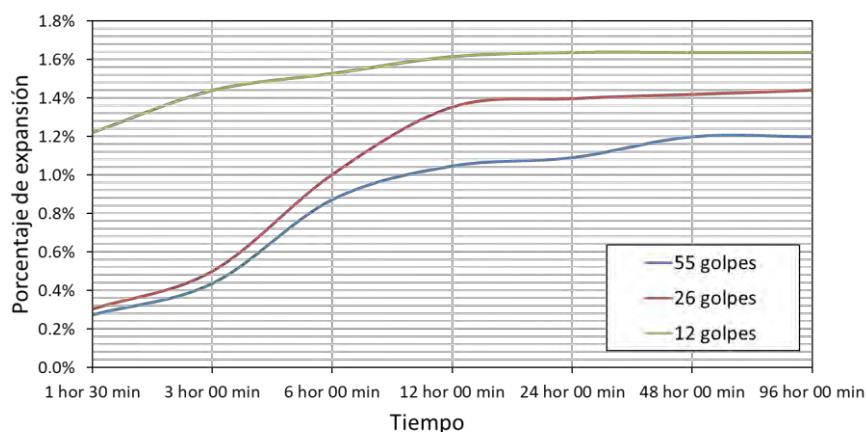


Figura 4.4: Expansión del suelo natural.

Al finalizar los días de inmersión, se empieza la etapa de penetración, la cual consiste en aplicar carga con un pistón circular en una prensa. En este ensayo se anotan lecturas de carga para distintas profundidades de penetración.

En la Figura 4.5 se presentan en las abscisas las penetraciones en milímetros, y en las ordenadas, los esfuerzos del pistón en kg/cm^2 . Para hallar estos últimos valores en el eje y se reemplazan las lecturas de carga en las variables de la ecuación del anillo de carga, el cual brinda la fuerza ejercida por el pistón. La fuerza se divide entre el área del pistón y se obtiene el esfuerzo del mismo. Las curvas mostradas corresponden a los tres especímenes. En caso se observe que alguna curva presenta un punto de inflexión, se debe hacer una corrección; sin embargo, en el presente ensayo no se requiere, por lo que se toman los valores correspondientes a 0.1" y 0.2" de penetración (o 2.54 y 5.08 mm de penetración), como se muestran en la Tabla 4.7 de cada uno de los especímenes.

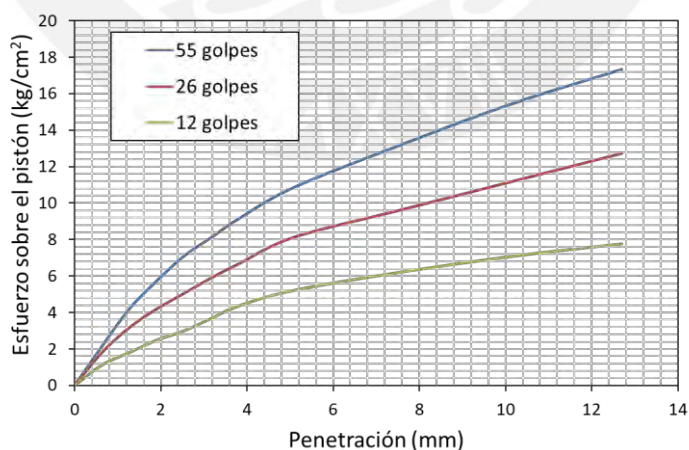


Figura 4.5: Curvas de penetración versus esfuerzo del suelo natural.

Tabla 4.7: Ensayo de penetración del suelo natural

	55 golpes	26 golpes	12 golpes
CBR 0.1"	10.09%	7.18%	4.27%
CBR 0.2"	10.28%	7.70%	4.95%

En los datos de la Tabla 4.7 se ve que las resistencias al soporte al 2.54 mm (0.1”) son menores con relación a las resistencias al 5.08 mm (0.2”). Cuando se da este caso, según la norma ASTM D-1883, se debe repetir el ensayo y si nuevamente los resultados son similares, se toma como respuesta que el CBR es la de 0.2” de penetración. Sin embargo, en la presente investigación no fue posible realizar otro ensayo, como indica la norma, debido a que no se contaba con muestra suficiente.

En la Figura 4.6 se relacionan los datos de CBR con la densidad seca de cada muestra; con esta gráfica se puede hallar los CBR correspondientes al 95% y 100% de la densidad máxima seca del ensayo Proctor cuyo resultado fue 1.861 g/cm³. Por último, los datos finales de CBR del suelo se muestran en la Tabla 4.8, donde se considera como resultado de resistencia de soporte del suelo al CBR 0.2” (al 95% de la densidad máxima seca), valor igual a 5.55%.

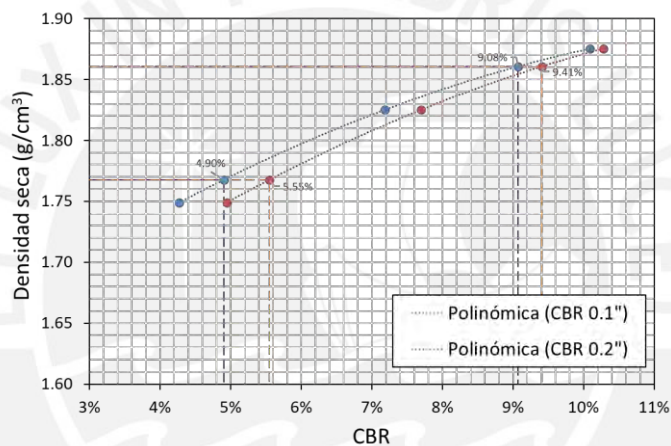


Figura 4.6: CBR vs. densidad seca del suelo natural.

Tabla 4.8: Ensayo de CBR del suelo natural.

	CBR 0.1”	CBR 0.2”	CBR del suelo
Al 100% de $\gamma_{d \max}$	9.08%	9.41%	9.41%
Al 95% de $\gamma_{d \max}$	4.90%	5.55%	5.55%

4.2.3. Ensayo de corte directo

Se realizó el ensayo de corte directo consolidado drenado para determinar los parámetros de resistencia al corte de la arcilla extraída. Se utilizaron 3 muestras remoldadas compactadas con la humedad óptima del ensayo Proctor, a las cuales se les aplicó los siguientes esfuerzos normales (σ_n): 0.4, 0.8 y 1.6 kg/cm² y fuerzas cortantes a una velocidad muy lenta para que durante el ensayo el exceso de presión de poros disipe. En la Tabla 4.9 se muestran los resultados del esfuerzo cortante, deformación vertical y horizontal de los especímenes. Después se generaron las curvas presentadas en la Figura 4.7 y Figura 4.8 para una mejor interpretación.

Tabla 4.9: Ensayo de corte directo del suelo natural.

Deformación horizontal (ϵ_h) (mm)	M-1 $\sigma_n = 0.4 \text{ kg/cm}^2$		M-2 $\sigma_n = 0.8 \text{ kg/cm}^2$		M-3 $\sigma_n = 1.6 \text{ kg/cm}^2$	
	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm^2)	Deformación vertical (ϵ_v) (mm)	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm^2)	Deformación vertical (ϵ_v) (mm)	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm^2)	Deformación vertical (ϵ_v) (mm)
0.20	0.14	0.002	0.25	0.009	0.29	0.015
0.40	0.22	0.005	0.34	0.028	0.48	0.046
0.60	0.27	0.010	0.40	0.036	0.55	0.075
0.80	0.30	0.017	0.44	0.045	0.61	0.085
1.00	0.34	0.022	0.47	0.059	0.66	0.091
2.00	0.40	0.030	0.55	0.099	0.78	0.126
3.00	0.41	0.040	0.56	0.174	0.81	0.249
4.00	0.41	0.059	0.55	0.259	0.84	0.285
5.00	0.39	0.079	0.54	0.301	0.85	0.315
6.00	0.39	0.098	0.54	0.357	0.87	0.400
7.00	0.38	0.119	0.53	0.405	0.87	0.463
8.00	0.37	0.135	0.53	0.436	0.88	0.501
9.00	0.37	0.148	0.53	0.475	0.89	0.574
10.00	0.37	0.153	0.53	0.520	0.88	0.680

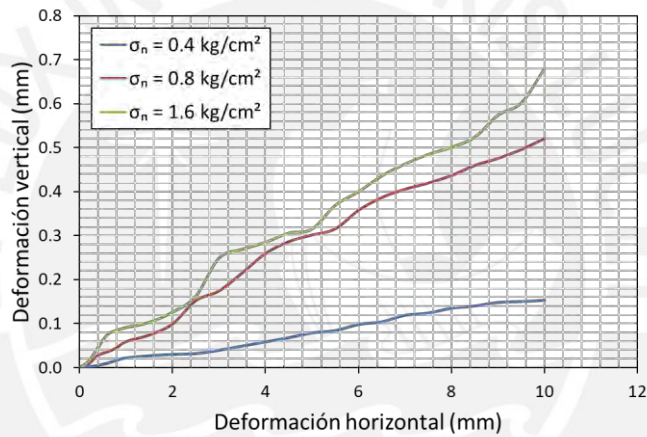


Figura 4.7: Deformación horizontal vs. deformación vertical del suelo natural.

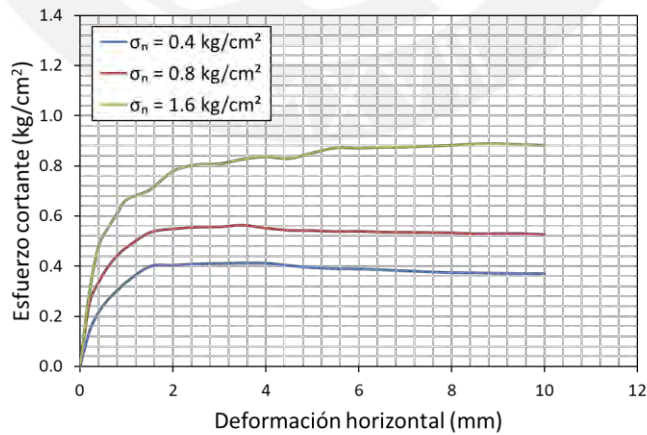


Figura 4.8: Deformación horizontal vs. esfuerzo cortante del suelo natural.

A partir de los resultados de la Figura 4.8 se obtienen los esfuerzos cortantes últimos o máximos para cada espécimen con diferente esfuerzo normal; estas cifras se encuentran en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10: Ensayo de corte directo del suelo natural.

Esfuerzo normal (kg/cm ²)	Esfuerzo cortante máximo (kg/cm ²)
0.4	0.41
0.8	0.56
1.6	0.89

Los resultados de esfuerzos cortantes máximos como ordenadas y los esfuerzos normales como abscisas de cada espécimen se representan en la Figura 4.9, en la que se aplicó regresión lineal con la finalidad de trazar la línea de falla para obtener de manera gráfica los datos de cohesión (c) y ángulo de fricción (ϕ) del suelo, dando como resultado 0.251 kg/cm² y 21.89°, respectivamente.

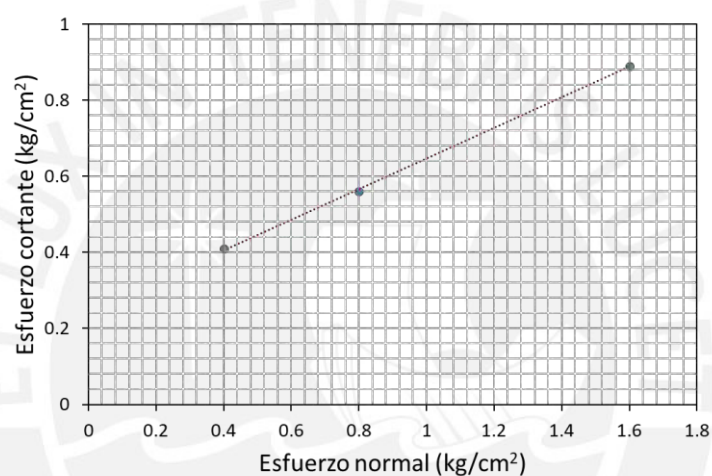


Figura 4.9: Criterio de falla del suelo natural.

4.3. Parámetros mecánicos del suelo reforzado

4.3.1. Ensayo de compactación del suelo reforzado

Se realizaron los ensayos de Proctor modificado (método A) para los suelos reforzados con 0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2% de fibras de PP. Se construyeron las curvas compactación como se aprecia en la Figura 4.10 para determinar los parámetros de compactación.

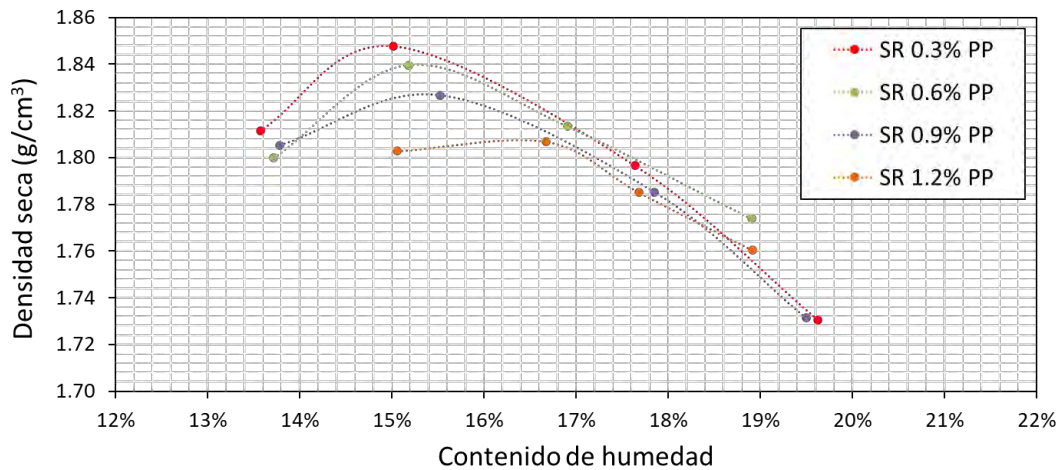


Figura 4.10: Curvas de compactación en función del suelo reforzado.

Se obtuvieron los siguientes resultados: el suelo reforzado con 0.3% de fibras de PP tiene un ω_{opt} de 15.19% y una $\gamma_{d max}$ de 1.848 g/cm³; el suelo reforzado con 0.6%, tiene una ω_{opt} de 15.24% y una $\gamma_{d max}$ de 1.840 g/cm³; el suelo reforzado con 0.9%, tiene un ω_{opt} de 15.32% y una $\gamma_{d max}$ de 1.827 g/cm³; y, por último, el suelo reforzado con 1.2%, tiene un ω_{opt} de 15.89% y una $\gamma_{d max}$ de 1.814 g/cm³.

Para obtener los resultados de porcentajes de humedad en los ensayos de compactación, se usaron muestras de suelo sin fibras, debido a que estas no absorben agua y su presencia no iba a variar los resultados.

4.3.2. Ensayo CBR del suelo reforzado

4.3.2.1. Suelo reforzado con 0.3% de fibras

Para la realización del ensayo se usaron tres especímenes que se compactaron tomando en cuenta el ω_{opt} del ensayo Proctor del suelo reforzado con 0.3% de fibras de PP. Después de la compactación las muestras se sumergieron, y durante esta etapa se toman las lecturas de hinchamiento que se representan en la Figura 4.11 como porcentajes de expansión.

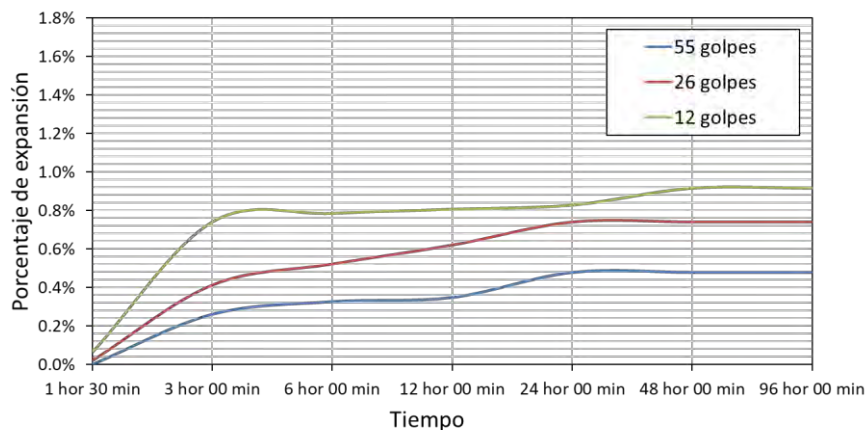


Figura 4.11: Expansión del suelo con 0.3% PP.

Al finalizar la etapa de inmersión de los especímenes, se empieza la etapa de penetración. En la Figura 4.12 y en la Tabla 4.11 se muestran los resultados de dicha etapa.

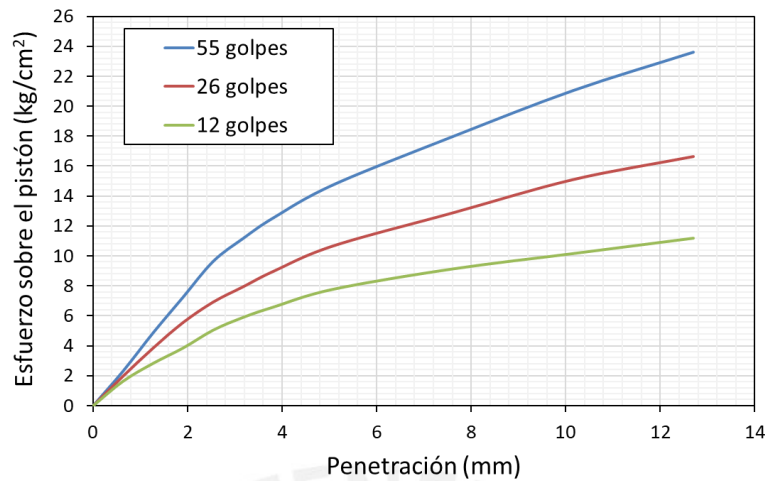


Figura 4.12: Curvas de penetración vs. esfuerzo del suelo con 0.3% PP.

Tabla 4.11: Ensayo de penetración del suelo con 0.3% PP.

	55 golpes	26 golpes	12 golpes
CBR 0.1"	13.73%	9.85%	7.18%
CBR 0.2"	14.00%	10.12%	7.37%

De la Tabla 4.11 se observa que las resistencias al soporte al 2.54 mm (0.1") son menores con relación a las resistencias al 5.08 mm (0.2"); cuando se da este caso, se debería repetir el ensayo, pero no fue posible porque no había muestra suficiente de suelo, por lo cual se toma como respuesta que el CBR es la de 0.2" de penetración.

En la Figura 4.13 se relacionan los datos de CBR con la densidad seca de los especímenes, y en la Tabla 4.12 se presentan los resultados finales, siendo así el CBR 0.2" al 95% de $\gamma_{d \max}$: valor igual a 8.78%.

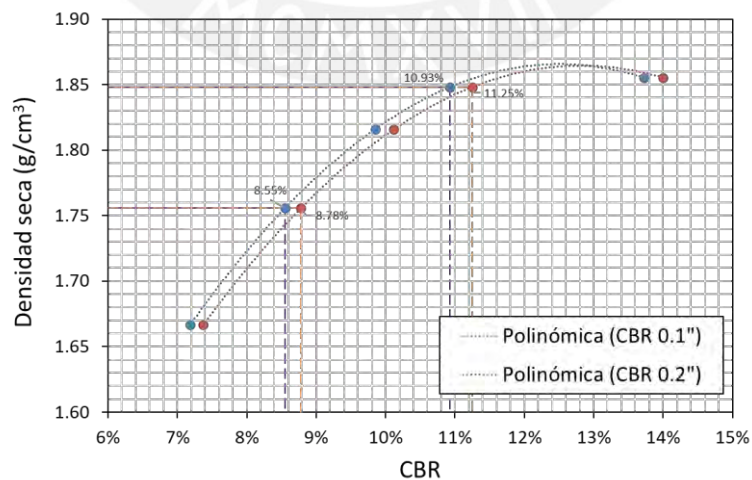


Figura 4.13: CBR vs. densidad seca del suelo con 0.3% PP.

Tabla 4.12: Ensayo de CBR del suelo con 0.3% PP.

	CBR 0.1''	CBR 0.2''	CBR del suelo
Al 100% de $\gamma_{d \max}$	10.93%	11.25%	11.25%
Al 95% de $\gamma_{d \max}$	8.55%	8.78%	8.78%

4.3.2.2. Suelo reforzado con 0.6% de fibras

Las muestras de suelo reforzado con 0.6% de fibras PP se compactaron con su humedad óptima y se sumergieron, tomando las lecturas de hinchamiento que se representan en la Figura 4.14 como porcentajes de expansión.

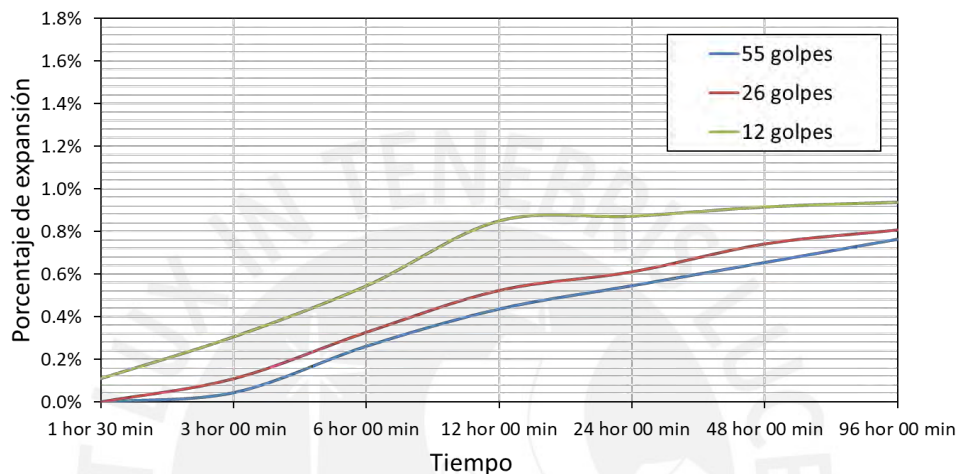


Figura 4.14: Expansión del suelo con 0.6% PP.

Al finalizar la etapa de inmersión de los especímenes, se empieza la etapa de penetración. En la Figura 4.15 y en la Tabla 4.13 se muestra los resultados de dicha etapa.

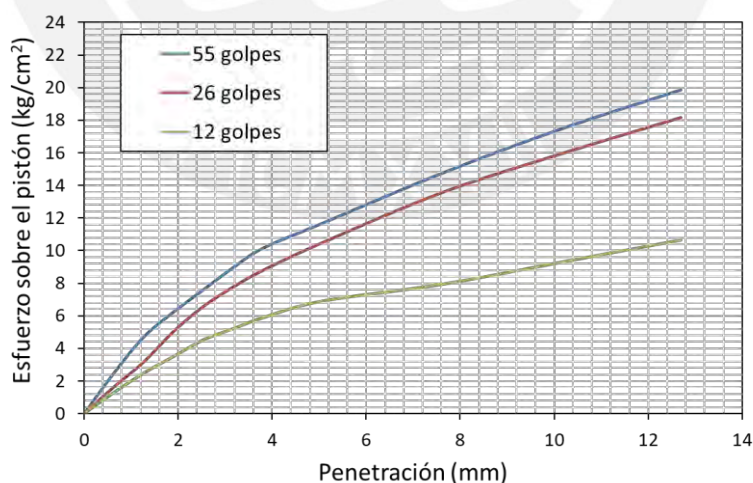


Figura 4.15: Curvas de penetración vs. esfuerzo del suelo con 0.6% PP.

Tabla 4.13: Ensayo de penetración del suelo con 0.6% PP.

	55 golpes	26 golpes	12 golpes
CBR 0.1''	10.82%	9.36%	6.45%
CBR 0.2''	11.09%	9.96%	6.57%

En Tabla 4.13 se observa que las resistencias al soporte al 2.54 mm (0.1”) son menores con relación a las resistencias al 5.08 mm (0.2”); cuando se da este caso, se debería repetir el ensayo, pero no fue posible porque no había muestra suficiente de suelo, por lo cual se toma como respuesta que el CBR es la de 0.2” de penetración.

En la Figura 4.16 se relacionan los datos de CBR con la densidad seca de los especímenes, y en la Tabla 4.14 se presentan los resultados finales el CBR 0.2” al 95% de $\gamma_{d\ max}$: valor igual a 8.85%.

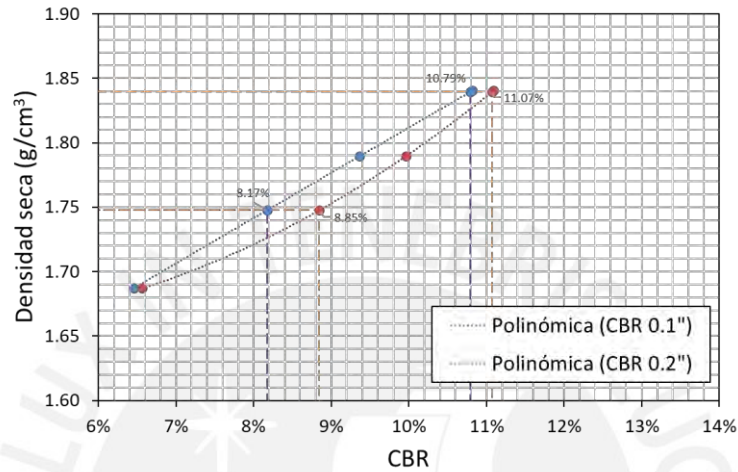


Figura 4.16: CBR vs. densidad seca del suelo con 0.6% PP.

Tabla 4.14: Ensayo de CBR del suelo con 0.6% PP.

	CBR 0.1”	CBR 0.2”	CBR del suelo
Al 100% de $\gamma_{d\ max}$	10.79%	11.07%	11.07%
Al 95% de $\gamma_{d\ max}$	8.17%	8.85%	8.85%

4.3.2.3. Suelo reforzado con 0.9% de fibras

Las muestras de suelo reforzado con 0.9% de fibras PP se compactaron con su humedad óptima y se sumergieron, tomando las lecturas de hinchamiento que se representan en la Figura 4.17 como porcentajes de expansión.

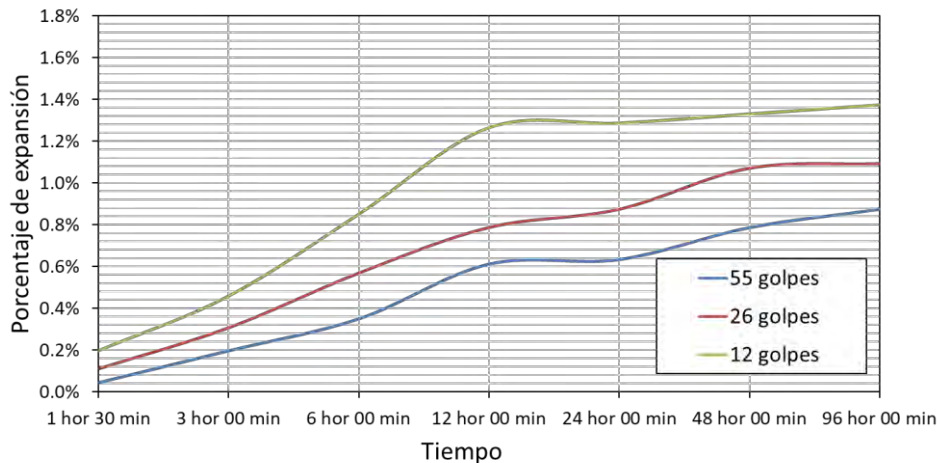


Figura 4.17: Expansión del suelo con 0.9% PP.

Al finalizar la etapa de inmersión de los especímenes, se empieza la etapa de penetración. En la Figura 4.18 y en la Tabla 4.15 se presentan los resultados de dicha etapa.

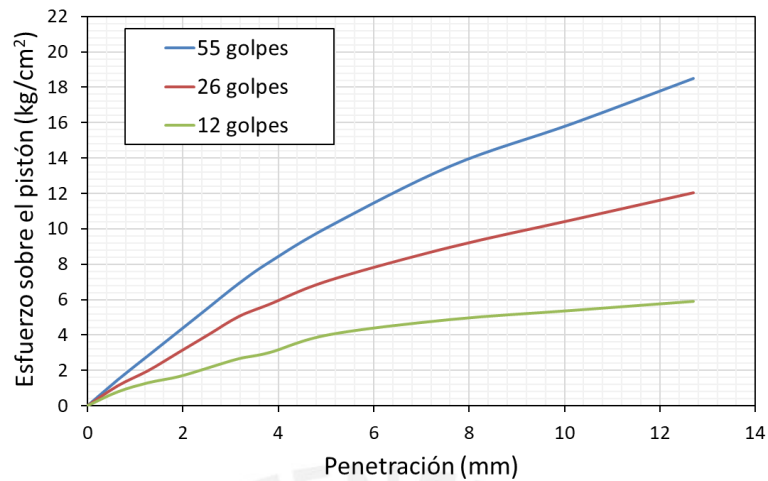


Figura 4.18: Curvas de penetración vs esfuerzo del suelo con 0.9% PP.

Tabla 4.15: Ensayo de penetración del suelo con 0.9% PP.

	55 golpes	26 golpes	12 golpes
CBR 0.1"	7.91%	5.73%	3.06%
CBR 0.2"	9.64%	6.73%	3.82%

En los datos de la Tabla 4.15 se observa que las resistencias al soporte al 2.54 mm (0.1") son menores con relación a las resistencias al 5.08 mm (0.2"); cuando se da este caso, se debería repetir el ensayo, pero no fue posible porque no había muestra suficiente de suelo, por lo cual se toma como respuesta que el CBR es la de 0.2" de penetración.

En la Figura 4.19 se relacionan los datos de CBR con la densidad seca de cada uno de los especímenes, y en la Tabla 4.16 se muestran los datos finales de CBR del suelo, donde se considera como resultado de resistencia de soporte del suelo al CBR 0.2" al 95% de $\gamma_{d\max}$: valor igual a 6.65%.

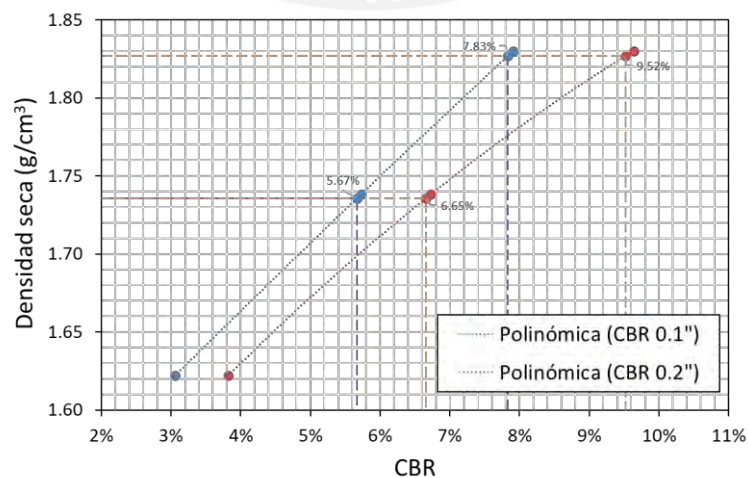


Figura 4.19: CBR vs. densidad seca del suelo con 0.9% PP.

Tabla 4.16: Ensayo de CBR del suelo con 0.9% PP.

	CBR 0.1''	CBR 0.2''	CBR del suelo
Al 100% de $\gamma_{d \max}$	7.83%	9.52%	9.52%
Al 95% de $\gamma_{d \max}$	5.67%	6.65%	6.65%

4.3.2.4. Suelo reforzado con 1.2% de fibras

Las muestras de suelo reforzado con 1.2% de fibras PP se compactaron con su contenido de humedad óptimo y se sumergieron, tomando las lecturas de hinchamiento que se representan en la Figura 4.20 como porcentajes de expansión.

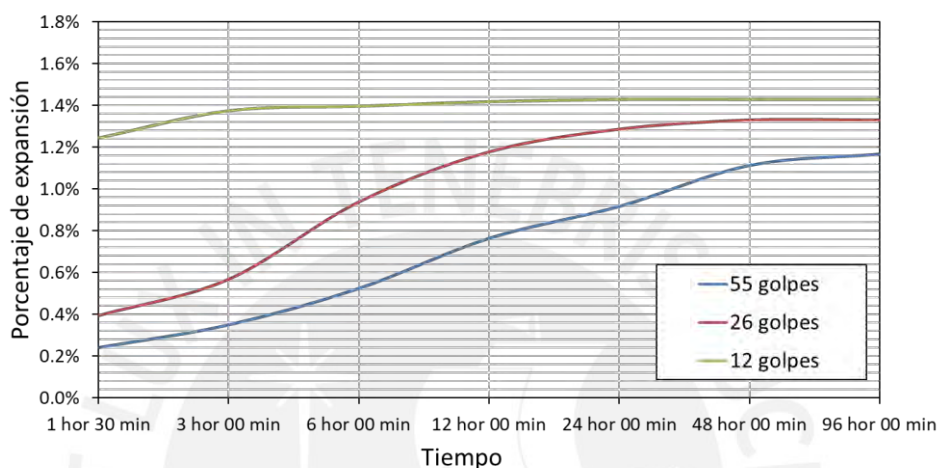


Figura 4.20: Expansión del suelo con 1.2% PP.

Al finalizar la etapa de inmersión de los especímenes, se empieza la etapa de penetración. En la Figura 4.21 y en la Tabla 4.17 se muestran los resultados de dicha etapa.

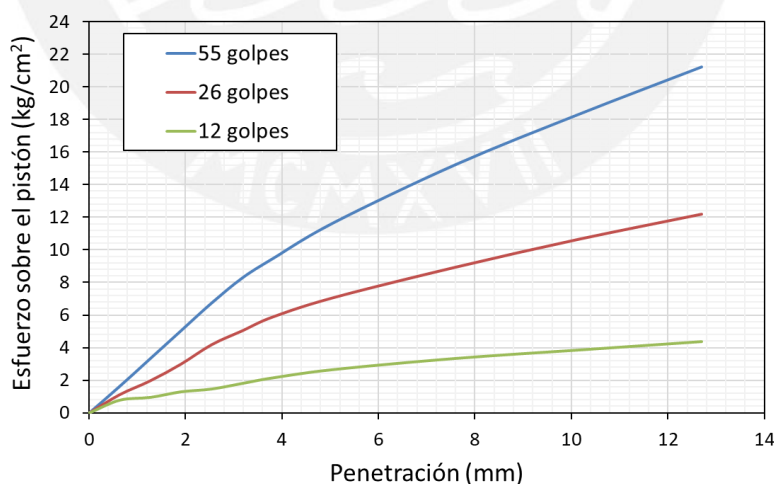


Figura 4.21: Curvas de penetración vs esfuerzo del suelo con 1.2% PP.

Tabla 4.17: Ensayo de penetración del suelo con 1.2% PP.

	55 golpes	26 golpes	12 golpes
CBR 0.1''	9.61%	5.97%	2.09%
CBR 0.2''	11.09%	6.73%	2.53%

En la Tabla 4.17 se observa que las resistencias al soporte al 2.54 mm (0.1”) son menores con relación a las resistencias al 5.08 mm (0.2”); cuando se da este caso, se debería repetir el ensayo, pero no fue posible porque no había muestra suficiente de suelo, por lo cual se toma como respuesta que el CBR es la de 0.2” de penetración.

En la Figura 4.22 se relaciona los datos de CBR con la densidad seca de los especímenes, y en la

Tabla 4.18 se muestran los datos finales de CBR del suelo, dando como resultado el CBR 0.2” al 95% de $\gamma_{d \max}$: valor igual a 5.95%.

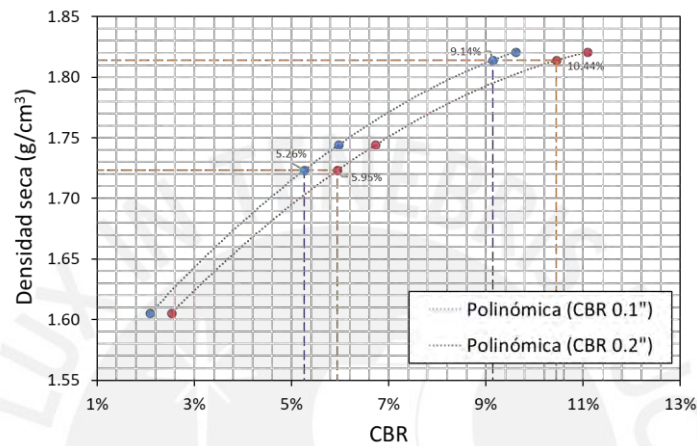


Figura 4.22: CBR vs. densidad seca del suelo con 1.2% PP.

Tabla 4.18: Ensayo de CBR del suelo con 1.2% PP.

	CBR 0.1''	CBR 0.2''	CBR del suelo
Al 100% de $\gamma_{d \max}$	9.14%	10.44%	10.44%
Al 95% de $\gamma_{d \max}$	5.26%	5.95%	5.95%

4.3.3. Ensayo de corte directo del suelo reforzado

4.3.3.1. Suelo reforzado con 0.3% de fibras

Se utilizaron 3 muestras remoldadas compactadas con la humedad óptima del ensayo Proctor, a las cuales se aplicó esfuerzos normales y fuerzas cortantes iguales que en el ensayo a la muestra sin reforzar. En la Tabla 4.19 se presentan los resultados y se generaron las curvas mostradas en la Figura 4.23 y Figura 4.24 para una mejor interpretación.

Tabla 4.19: Ensayo de corte directo del suelo con 0.3% PP.

Deformación horizontal (ϵ_h) (mm)	M-1 $\sigma_n = 0.4 \text{ kg/cm}^2$		M-2 $\sigma_n = 0.8 \text{ kg/cm}^2$		M-3 $\sigma_n = 1.6 \text{ kg/cm}^2$	
	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm^2)	Deformación vertical (ϵ_v) (mm)	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm^2)	Def. vertical (mm)	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm^2)	Deformación vertical (ϵ_v) (mm)
0.20	0.15	0.003	0.19	0.002	0.30	0.004
0.40	0.25	0.005	0.24	0.004	0.38	0.009
0.60	0.38	0.008	0.42	0.008	0.55	0.012
0.80	0.48	0.012	0.59	0.013	0.72	0.019
1.00	0.59	0.016	0.74	0.024	0.89	0.025
2.00	0.46	0.025	0.74	0.030	1.31	0.045
3.00	0.48	0.031	0.75	0.065	1.27	0.069
4.00	0.45	0.040	0.76	0.098	1.13	0.100
5.00	0.43	0.047	0.77	0.136	1.09	0.166
6.00	0.42	0.052	0.78	0.154	1.05	0.205
7.00	0.40	0.057	0.81	0.189	1.02	0.245
8.00	0.39	0.060	0.73	0.205	1.02	0.283
9.00	0.38	0.068	0.66	0.221	1.00	0.308
10.00	0.37	0.074	0.62	0.245	0.96	0.338

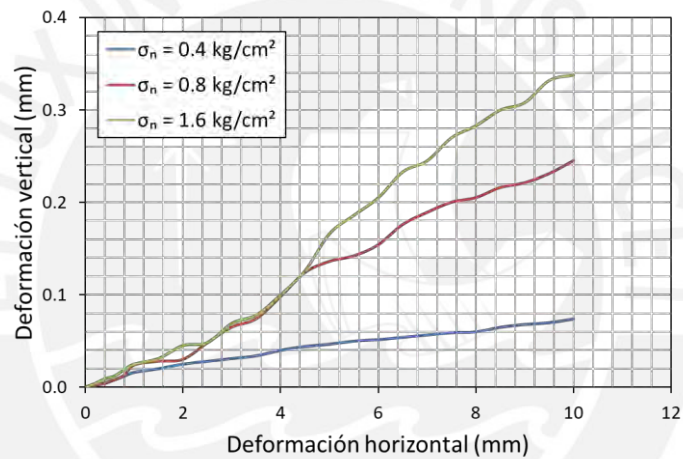


Figura 4.23: Deformación horizontal vs deformación vertical del suelo con 0.3% PP.

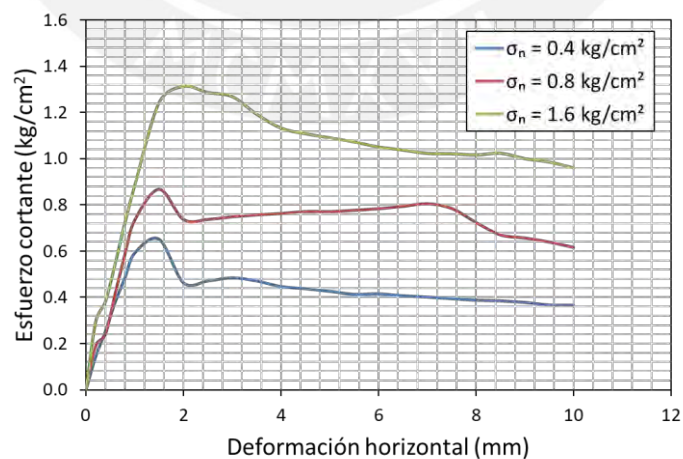


Figura 4.24: Deformación horizontal vs esfuerzo cortante del suelo con 0.3% PP.

A partir de los datos de la Figura 4.24 se obtienen los esfuerzos cortantes máximos para cada espécimen con diferente esfuerzo normal, estas cifras se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 4.20: Ensayo de corte directo del suelo con 0.3% PP.

Esfuerzo normal (kg/cm^2)	Esfuerzo cortante último (kg/cm^2)
0.4	0.65
0.8	0.87
1.6	1.31

En la Figura 4.25, se muestra la envolvente de falla para obtener de manera gráfica los valores de cohesión y ángulo de fricción, dando como resultado $0.428 \text{ kg}/\text{cm}^2$ y 29.30° , respectivamente.

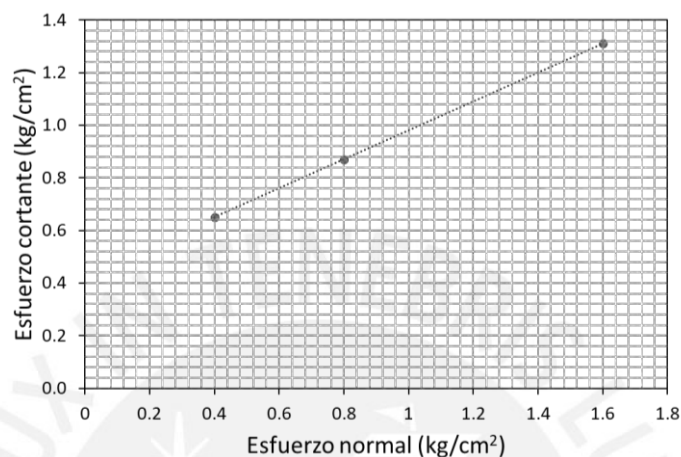


Figura 4.25: Envolvente de falla del suelo con 0.3% PP.

4.3.3.2. Suelo reforzado con 0.6% de fibras

Se utilizaron 3 muestras remoldadas compactadas con la humedad óptima del ensayo Proctor, a las cuales se aplicó esfuerzos normales y fuerzas cortantes a una velocidad lenta. En la Tabla 4.21 se muestran los resultados de esfuerzo cortante, deformación vertical y horizontal de los especímenes. Después se generaron las curvas de la Figura 4.26 y Figura 4.27 para una mejor interpretación.

Tabla 4.21: Ensayo de corte directo del suelo con 0.6% PP.

Deformación horizontal (ϵ_h) (mm)	M-1 $\sigma_n = 0.4 \text{ kg}/\text{cm}^2$		M-2 $\sigma_n = 0.8 \text{ kg}/\text{cm}^2$		M-3 $\sigma_n = 1.6 \text{ kg}/\text{cm}^2$	
	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm^2)	Deformación vertical (ϵ_v) (mm)	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm^2)	Def. vertical (mm)	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm^2)	Deformación vertical (ϵ_v) (mm)
0.20	0.06	0.004	0.23	0.005	0.27	0.012
0.40	0.10	0.009	0.29	0.012	0.36	0.022
0.60	0.13	0.010	0.40	0.018	0.49	0.040
0.80	0.19	0.018	0.51	0.025	0.59	0.050
1.00	0.26	0.021	0.61	0.036	0.67	0.059
2.00	0.58	0.035	0.75	0.051	0.91	0.096
3.00	0.41	0.041	0.71	0.074	1.00	0.142
4.00	0.38	0.052	0.70	0.121	1.04	0.191
5.00	0.37	0.059	0.68	0.185	1.11	0.230
6.00	0.37	0.069	0.66	0.206	1.14	0.254
7.00	0.37	0.076	0.64	0.235	1.17	0.301
8.00	0.37	0.084	0.62	0.255	1.19	0.325
9.00	0.37	0.093	0.61	0.260	1.17	0.345
10.00	0.37	0.098	0.59	0.262	1.17	0.360

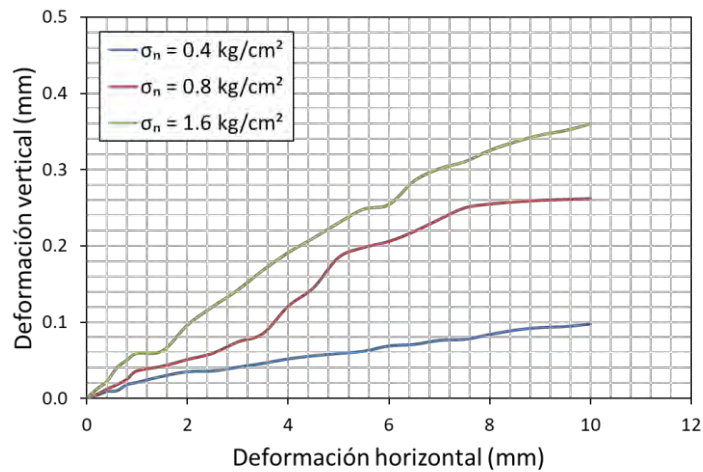


Figura 4.26: Deformación horizontal vs. deformación vertical del suelo con 0.6% PP.

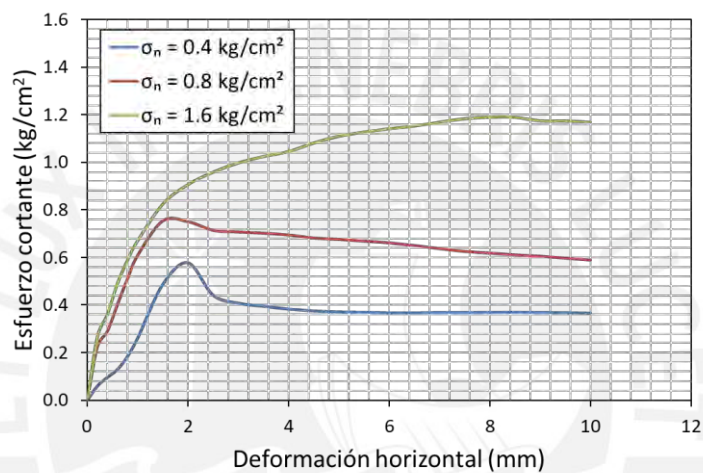


Figura 4.27: Deformación horizontal vs. esfuerzo cortante del suelo con 0.6% PP.

A partir de los datos de la Figura 4.27 se obtienen los esfuerzos cortantes máximos para cada espécimen con diferente esfuerzo normal, estas cifras se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 4.22: Ensayo de corte directo del suelo con 0.6% PP.

Esfuerzo normal (kg/cm ²)	Esfuerzo cortante último (kg/cm ²)
0.4	0.58
0.8	0.76
1.6	1.19

En la Figura 4.28, se muestra la envolvente de falla para obtener de manera gráfica los valores de cohesión y ángulo de fricción, dando como resultado 0.362 kg/cm² y 27.50°, respectivamente.

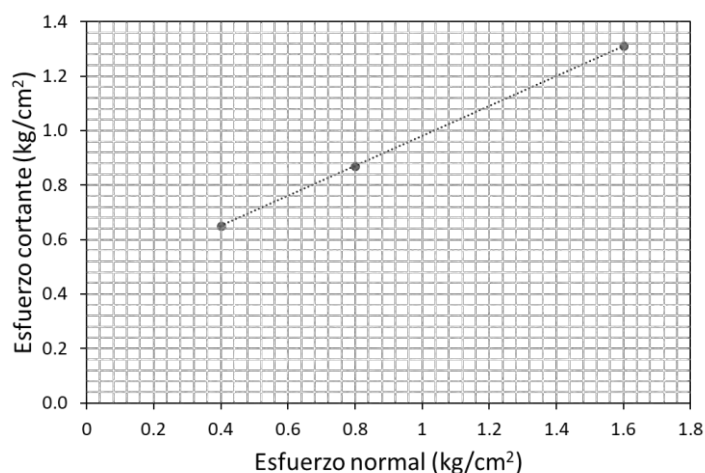


Figura 4.28: Envoltente de falla del suelo con 0.6% PP.

4.3.3.3. Suelo reforzado con 0.9% de fibras

Se utilizaron 3 muestras remoldadas compactadas con la humedad óptima del ensayo Proctor, a las cuales se les aplicó esfuerzos normales y fuerzas cortantes a una velocidad lenta. En la Tabla 4.23 se presentan los datos de esfuerzo cortante, deformación vertical y horizontal de los especímenes. Después se generaron las curvas de la Figura 4.29 y Figura 4.30 para una mejor interpretación.

Tabla 4.23: Ensayo de corte directo del suelo con 0.9% PP.

Deformación horizontal (ϵ_h) (mm)	M-1 $\sigma_n = 0.4 \text{ kg/cm}^2$		M-2 $\sigma_n = 0.8 \text{ kg/cm}^2$		M-3 $\sigma_n = 1.6 \text{ kg/cm}^2$	
	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm ²)	Deformación vertical (ϵ_v) (mm)	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm ²)	Def. vertical (mm)	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm ²)	Deformación vertical (ϵ_v) (mm)
0.20	0.17	0.002	0.22	0.015	0.31	0.018
0.40	0.31	0.003	0.37	0.025	0.44	0.036
0.60	0.49	0.005	0.51	0.032	0.72	0.065
0.80	0.56	0.008	0.60	0.041	0.95	0.085
1.00	0.57	0.009	0.68	0.065	1.01	0.100
2.00	0.55	0.015	0.75	0.098	1.15	0.156
3.00	0.51	0.025	0.72	0.136	1.16	0.200
4.00	0.49	0.045	0.71	0.193	1.18	0.242
5.00	0.49	0.057	0.69	0.215	1.18	0.270
6.00	0.47	0.061	0.68	0.236	1.18	0.304
7.00	0.45	0.074	0.65	0.255	1.17	0.330
8.00	0.44	0.090	0.65	0.263	1.15	0.365
9.00	0.44	0.109	0.64	0.279	1.13	0.398
10.00	0.43	0.117	0.63	0.300	1.12	0.456

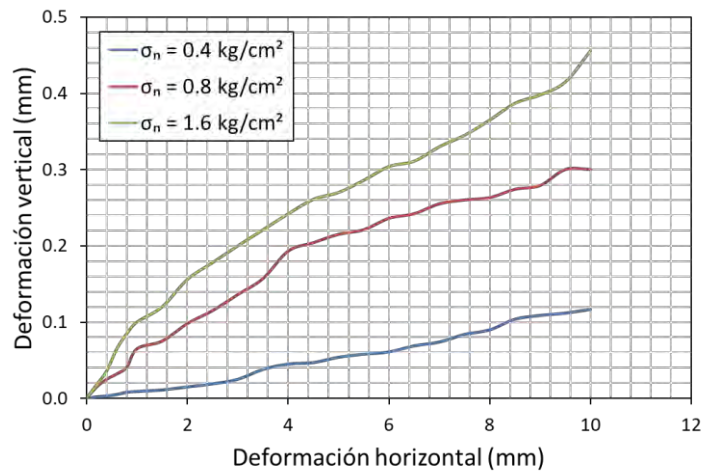


Figura 4.29: Deformación horizontal vs deformación vertical del suelo con 0.9% PP.

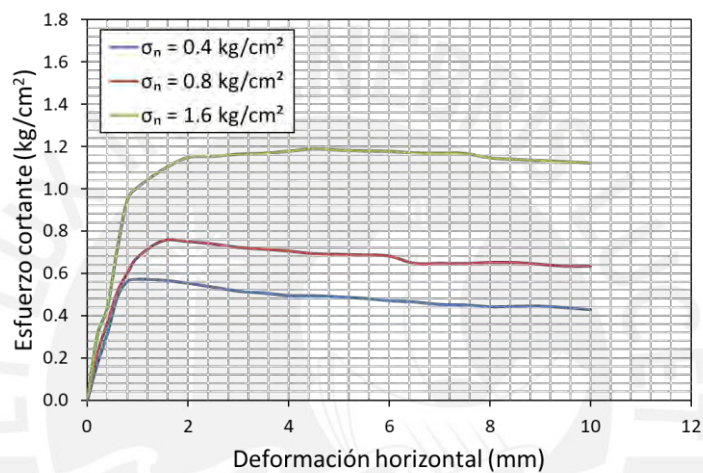


Figura 4.30: Deformación horizontal vs esfuerzo cortante del suelo con 0.9% PP.

A partir de los datos de la Figura 4.30 se obtienen los esfuerzos cortantes máximos para cada espécimen con diferente esfuerzo normal, estas cifras se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 4.24: Ensayo de corte directo del suelo con 0.9% PP.

Esfuerzo normal (kg/cm ²)	Esfuerzo cortante último (kg/cm ²)
0.4	0.57
0.8	0.75
1.6	1.19

En la Figura 4.31, se muestra la envolvente de falla para obtener de manera gráfica los valores de cohesión y ángulo de fricción, dando como resultado 0.352 kg/cm² y 27.79°, respectivamente.

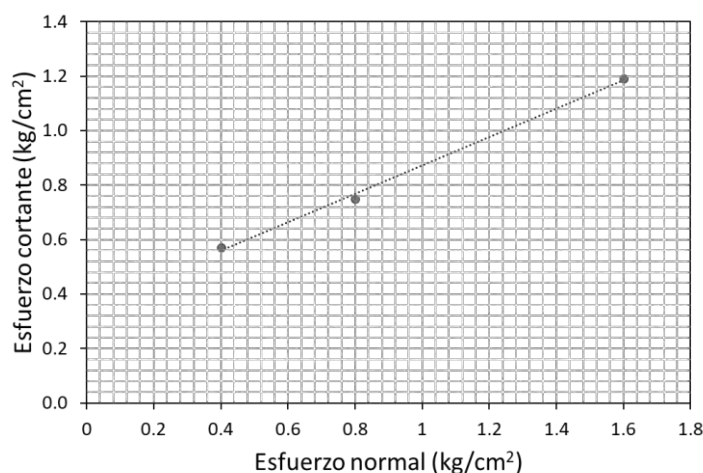


Figura 4.31: Envoltente de falla del suelo con 0.9% PP.

4.3.3.4. Suelo reforzado con 1.2% de fibras

Se utilizaron 3 muestras remoldadas compactadas con la humedad óptima del ensayo Proctor, a las cuales se aplicó esfuerzos normales y fuerzas cortantes a una velocidad lenta. En la Tabla 4.25 se muestran los datos de esfuerzo cortante, deformación vertical y horizontal de los especímenes. Después se generaron las curvas de la Figura 4.32 y Figura 4.33 para una mejor interpretación.

Tabla 4.25: Ensayo de corte directo del suelo con 1.2% PP.

Deformación horizontal (ϵ_h) (mm)	M-1 $\sigma_n = 0.4 \text{ kg/cm}^2$		M-2 $\sigma_n = 0.8 \text{ kg/cm}^2$		M-3 $\sigma_n = 1.6 \text{ kg/cm}^2$	
	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm²)	Deformación vertical (ϵ_v) (mm)	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm²)	Def. vertical (mm)	Esfuerzo cortante (τ) (kg/cm²)	Deformación vertical (ϵ_v) (mm)
0.20	0.17	0.002	0.24	0.020	0.27	0.030
0.40	0.25	0.003	0.34	0.030	0.41	0.045
0.60	0.31	0.004	0.46	0.033	0.52	0.065
0.80	0.40	0.005	0.56	0.044	0.68	0.089
1.00	0.47	0.008	0.66	0.051	0.84	0.094
2.00	0.47	0.012	0.72	0.090	1.14	0.145
3.00	0.42	0.022	0.62	0.152	1.07	0.201
4.00	0.41	0.036	0.59	0.198	1.01	0.269
5.00	0.41	0.052	0.57	0.225	0.98	0.306
6.00	0.39	0.069	0.54	0.245	0.96	0.345
7.00	0.38	0.084	0.48	0.269	0.95	0.402
8.00	0.36	0.095	0.43	0.274	0.96	0.465
9.00	0.36	0.114	0.42	0.291	0.94	0.500
10.00	0.34	0.139	0.41	0.312	0.89	0.500

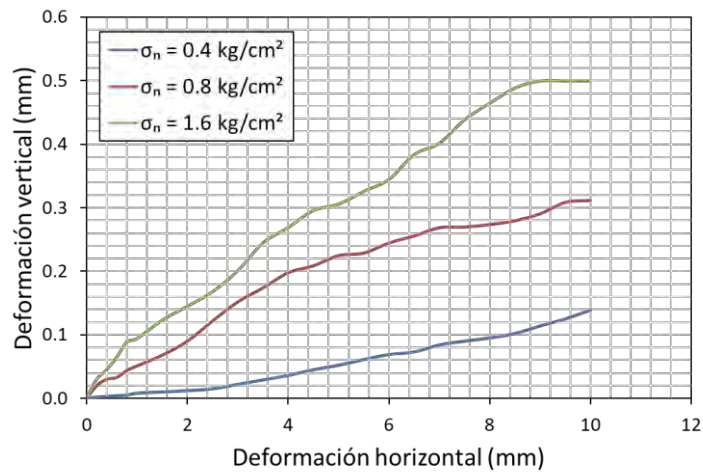


Figura 4.32: Deformación horizontal vs deformación vertical del suelo con 1.2% PP.

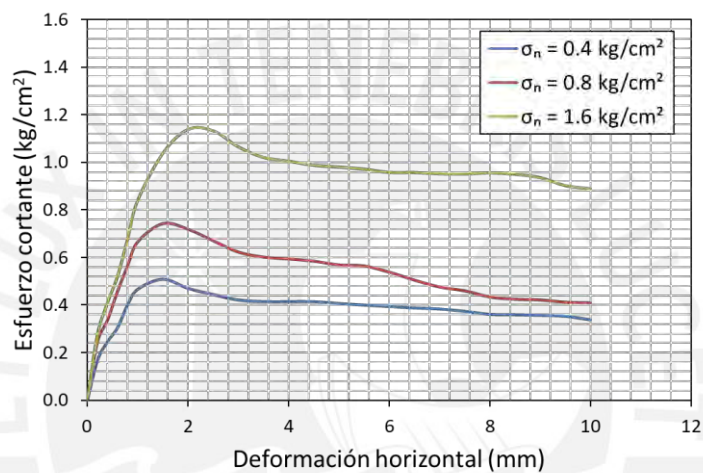


Figura 4.33: Deformación horizontal vs esfuerzo cortante del suelo con 1.2% PP.

A partir de los datos de la Figura 4.33 se obtienen los esfuerzos cortantes máximos para cada espécimen con diferente esfuerzo normal; estas cifras se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 4.26: Ensayo de corte directo del suelo con 1.2% PP.

Esfuerzo normal (kg/cm ²)	Esfuerzo cortante último (kg/cm ²)
0.4	0.51
0.8	0.74
1.6	1.14

En la Figura 4.34 se muestra la envolvente de falla para obtener de manera gráfica los valores de cohesión y ángulo de fricción, dando como resultado 0.310 kg/cm² y 27.85°, respectivamente.

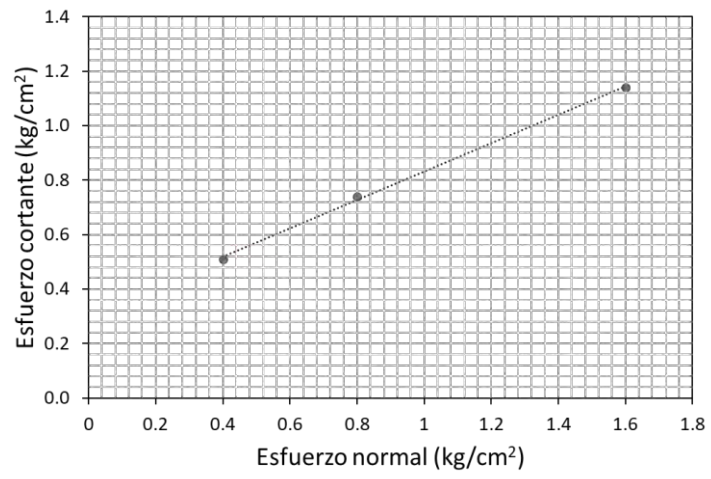


Figura 4.34: Envolvente de falla del suelo con 1.2% PP.



5. Discusión de resultados

5.1. Caracterización del suelo natural

Se realizaron los ensayos de humedad, gravedad específica de sólidos, granulometría y límites de Atterberg para caracterizar el suelo cuzqueño. El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Características físicas del suelo natural

Características	Resultado
Humedad natural	18.73%
Límites de consistencia	
Límite líquido	23
Límite plástico	13
Índice de plasticidad	10
Fracciones de grava, arena y finos	
Grava	0.41%
Arena	20.17%
Finos	79.42%
Gravedad específica de sólidos	2.68
SUCS	CL - arcilla de baja compresibilidad ligeramente arenosa
AASHTO	A-6(8)

Los valores de la anterior tabla permiten determinar qué tipo de suelo es la muestra ensayada. Según SUCS, es una arcilla de baja compresibilidad ligeramente arenosa y, según AASHTO, es un suelo tipo A-6(8); es decir, un suelo arcilloso de calificación regular a malo.

5.2. Parámetros mecánicos del suelo natural y reforzado

5.2.1. Parámetros de compactación

Según la clasificación del suelo, se elige el método de compactación "A". En la Tabla 5.2 se presentan los resultados de densidad máxima seca y humedad óptima en función del porcentaje de fibras.

Tabla 5.2: Parámetros de compactación.

	$\gamma_{d \max}$ (g/cm ³)	ω_{opt} (%)
Suelo natural	1.861	15.13
Suelo reforzado con 0.3% PP	1.848	15.19
Suelo reforzado con 0.6% PP	1.840	15.24
Suelo reforzado con 0.9% PP	1.827	15.32
Suelo reforzado con 1.2% PP	1.814	15.89

Se puede observar que los valores de densidad máxima seca se reducen a medida que se incorpora mayor cantidad de fibras al suelo, mientras que los valores de contenido óptimo de humedad se incrementan, como se representa de manera gráfica en la Figura 5.1; esto se produce debido a que la fibra incorporada tiene una densidad menor (0.9-0.92 g/cm³) que la

del suelo natural. El volumen que ocupan las fibras disminuye la densidad máxima seca de las mezclas del suelo reforzado, y disminuye el peso del suelo. El valor del contenido de humedad aumenta porque según su fórmula este es igual a cantidad de agua sobre peso del suelo. Si el peso disminuye, el contenido de humedad aumenta, esto bajo la premisa que el contenido de agua no varíe, y debido a que las fibras absorben 0% agua, se cumple.

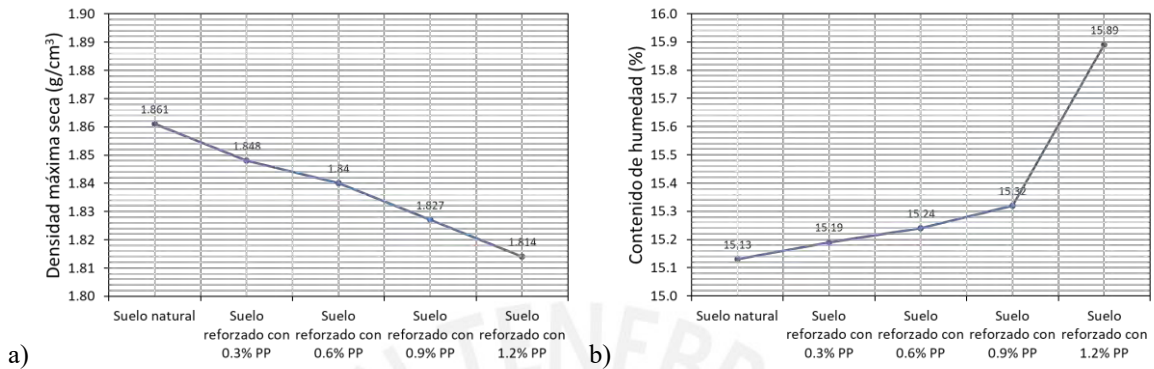


Figura 5.1: a) Densidad máxima seca y b) humedad óptima en función de suelo reforzado.

5.2.2. Parámetros de capacidad de soporte

Los ensayos CBR se realizaron con los parámetros de compactación, es decir, con la humedad óptima y densidad máxima seca del suelo natural y reforzado. El suelo ensayado corresponde a una arcilla de baja plasticidad; este tipo de suelo se usa en carreteras y pavimentos urbanos como subrasante, por lo que se evalúan los resultados del CBR al 95% de la densidad máxima seca. En la Figura 5.2a se muestran de manera gráfica los resultados de la capacidad de soporte del suelo natural y reforzado con inclusiones de fibra en diferentes porcentajes, además de la clasificación de subrasante, según el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú - MTC (2013). Por otro lado, en la Figura 5.2b se muestran de igual forma los resultados de capacidad de soporte y la clasificación de subrasante según el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica de Edificación - Habilitaciones Urbanas - Componentes estructurales (CE.010: Pavimentos urbanos) (2010).

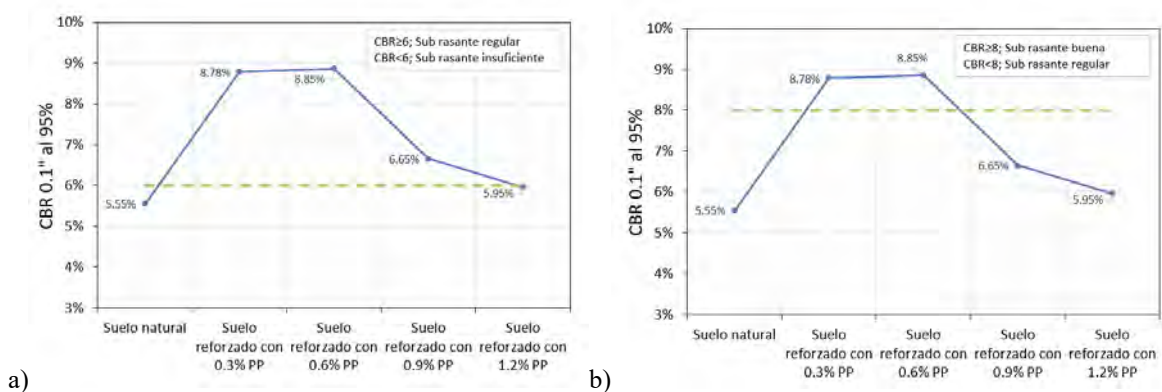


Figura 5.2: CBR y clasificación de subrasante según:
a) Manual de carreteras del MTC y b) CE.010 pavimentos urbanos

Se puede observar en las figuras anteriores que, en general, el valor de CBR del suelo reforzado con inclusiones de fibras aumenta con respecto al valor del suelo natural. Además, en cuanto a la clasificación de subrasante según el Manual de carreteras del MTC, el suelo pasó de clasificarse como subrasante insuficiente a subrasante regular en los suelos reforzados con 0.3%, 0.6% y 0.9% de fibras. Y según la norma CE.010 Pavimentos urbanos, pasó de subrasante regular a subrasante buena para los suelos reforzados con 0.3% y 0.6% de fibras. En la Tabla 5.3 se muestra cuantitativamente el incremento porcentual de la capacidad de soporte del suelo reforzado con respecto al suelo natural.

El mayor incremento se obtuvo, en el suelo reforzado con 0.3% y 0.6% de fibras de PP, alcanzando un valor de 58.20% y 59.46% respectivamente de mejora con relación al suelo natural.

Tabla 5.3: Porcentajes de incremento de CBR del suelo reforzado.

	Valor inicial CBR al 95% DMS del suelo natural	Valor final CBR al 95% DMS	% de variación
Suelo reforzado con 0.3% PP	5.55%	8.78%	58.20%
Suelo reforzado con 0.6% PP		8.85%	59.46%
Suelo reforzado con 0.9% PP		6.65%	19.82%
Suelo reforzado con 1.2% PP		5.95%	7.21%

5.2.3. Parámetros de resistencia al corte

Se obtuvieron los parámetros de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción) de los ensayos de corte directo. La Tabla 5.4 presentan los parámetros de resistencia al corte del suelo natural y reforzado; así mismo, los porcentajes de variación con respecto al suelo sin fibras.

Tabla 5.4: Parámetros de resistencia al corte con sus porcentajes de incremento.

	Ángulo de fricción (°)	% de variación del ángulo de fricción	Cohesión (kg/cm ²)	% de variación de la cohesión
Suelo natural	21.89	-	0.251	-
Suelo reforzado con 0.3% PP	29.30	33.85%	0.428	70.52%
Suelo reforzado con 0.6% PP	27.50	25.63%	0.362	44.22%
Suelo reforzado con 0.9% PP	27.79	26.95%	0.352	40.24%
Suelo reforzado con 1.2% PP	27.85	27.23%	0.310	23.51%

Como se observa en la tabla, en términos generales, los parámetros de resistencia del suelo reforzado son mayores en comparación con los del suelo natural. El mayor aumento se obtuvo en el suelo reforzado con 0.3% de fibras de PP, incrementando los valores de ángulo de fricción y cohesión en un 33.85% y un 70.52%, respectivamente.

Este aumento se puede apreciar en la Figura 5.3 que presentan las curvas de esfuerzo cortante vs deformación horizontal bajo esfuerzos normales de 0.4, 0.8 y 1.6 kg/cm²,

respectivamente. En las curvas se evidencia que mientras se incrementa el esfuerzo normal, se incrementan, a su vez, los esfuerzos cortantes. Así mismo, mientras se incorpora fibras a las muestras, los esfuerzos cortantes máximos alcanzan valores mayores.

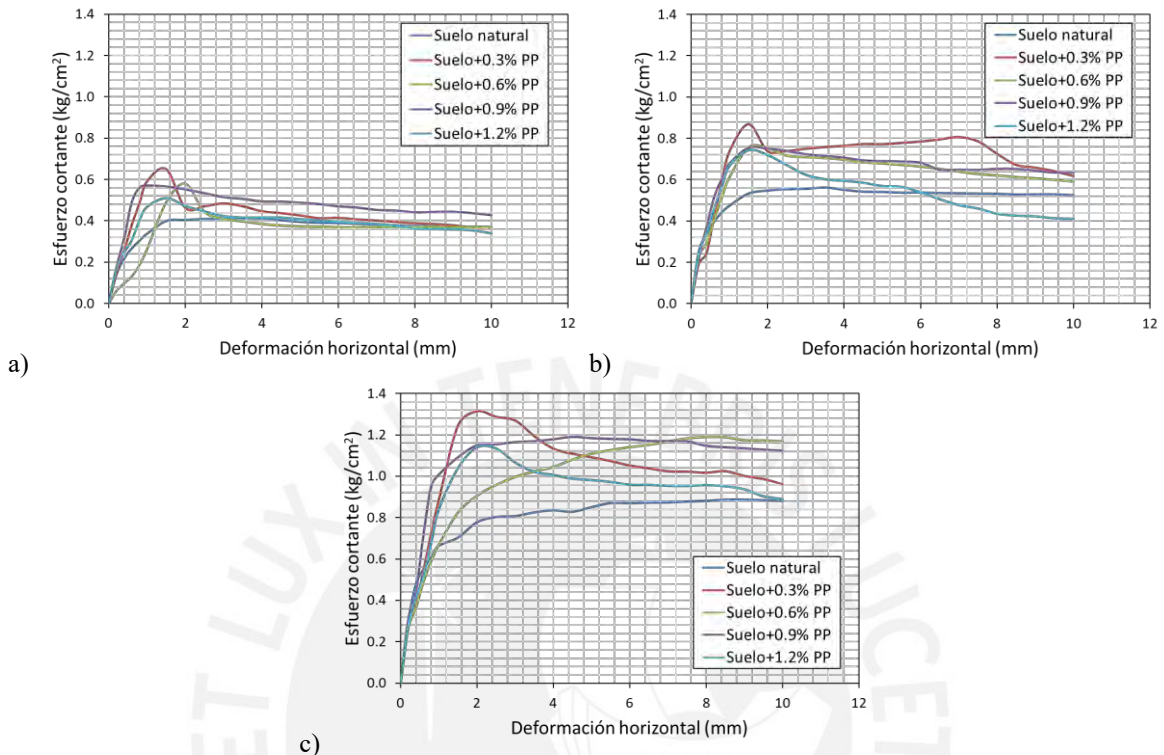


Figura 5.3: Deformación horizontal vs. esfuerzo cortante en función del porcentaje de fibras para: a) σ_n : 0.4 kg/cm² b) σ_n : 0.8 kg/cm² c) σ_n : 1.6 kg/cm².

Por otro lado, en el ensayo de corte directo también se obtienen datos de deformación vertical versus la deformación horizontal, como se puede ver en la Figura 5.4 bajo los esfuerzos normales de 0.4, 0.8 y 1.6 kg/cm², respectivamente. Se evidencia en las gráficas la tendencia de mayor deformación vertical a mayor esfuerzo normal. Así mismo, se observa que el suelo sin reforzamiento posee mayor deformación vertical en comparación con el suelo reforzado. Esto se debe a que la interacción de suelo-fibra limita la contracción de la arcilla y, por lo tanto, limita la variación de volumen y proliferación de grietas en las muestras.

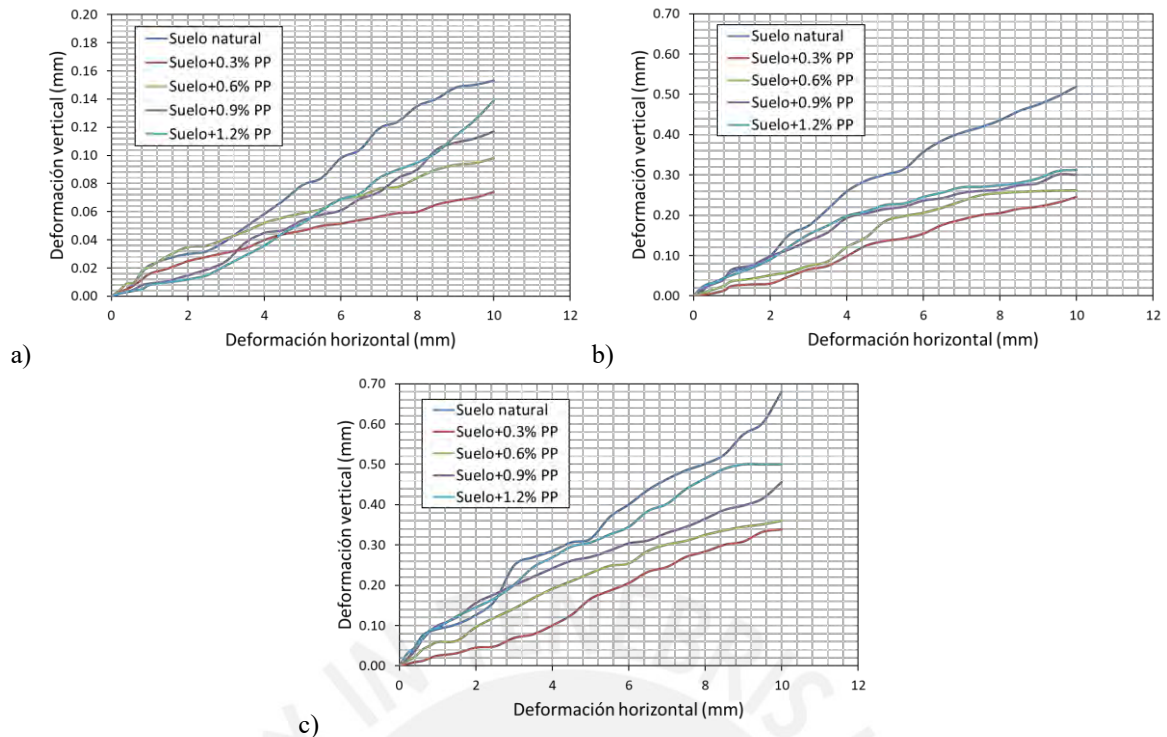


Figura 5.4: Deformación horizontal vs. deformación vertical en función del porcentaje de fibras para:
a) σ_n : 0.4 kg/cm² b) σ_n : 0.8 kg/cm² c) σ_n : 1.6 kg/cm²

5.3. Comparación con resultados de revisión bibliográfica

Al comparar los resultados obtenidos con los resultados de las referencias bibliográficas mencionadas se pueden encontrar las siguientes semejanzas:

- Se concluye que las fibras están sometidas a tracción, limitando que las partículas del suelo se reacomoden y, así, aumentando la resistencia al corte del suelo reforzado. Esto se ve reflejado en la mejora de sus parámetros mecánicos.

- Se observa que la inclusión de fibras retrasa la proliferación de grietas, debido a que limitan la deformación de las muestras. En el único anexo se muestra fotos después del ensayo de corte directo donde se evidencia lo mencionado.

- Se demuestra la coincidencia de que la incorporación de fibra disminuye de manera progresiva la densidad máxima seca, debido a que las fibras son más livianas que el suelo.

Y respecto a las diferencias, se encontró que:

- El porcentaje ideal para el suelo ensayado en el presente estudio fue de entre 0.3%-0.6% de fibra de PP y, según la bibliografía, estaría en el orden de 0.4%-0.6%. Además, que no es exactamente el mismo suelo, las fibras no tenían las mismas dimensiones que las utilizadas en esta investigación, señalando que el diámetro y longitud pueden ser factores relevantes.

6. Conclusiones

Las principales conclusiones son las siguientes:

- Se realizó la evaluación en laboratorio de la incorporación de fibras de PP como material de refuerzo en una arcilla de baja compresibilidad ligeramente arenosa (CL, según SUCS) y suelo A-6(8), regular a malo según AASHTO. En general, se encontró que el porcentaje ideal de fibras de PP se encuentra entre 0.3%-0.6% del peso seco, en comparación con los otros porcentajes usados que también presentaron mejora en parámetros de resistencia y capacidad de soporte, pero en menor proporción. Con esto, se confirma la hipótesis planteada.

- En cuanto a los resultados obtenidos en los ensayos de compactación, la densidad seca máxima disminuyó y el contenido de humedad óptimo aumentó conforme aumentaba el porcentaje de fibras.

- Los resultados de CBR al 95% de la densidad seca máxima del suelo reforzado con 0.6% de fibras de PP alcanzaron un 59% de mejora o incremento con respecto al suelo natural. Este aumento hizo que el suelo pasara de clasificación de subrasante insuficiente a regular según el manual de carreteras del MTC, y de subrasante regular a buena según norma CE.010 pavimentos urbanos.

- Según el manual de ensayos del MTC, si el resultado de CBR 0.2” es mayor al CBR 0.1”, se debe repetir el ensayo, y si el segundo ensayo da un resultado similar, se toma al CBR 0.2” como capacidad de soporte del suelo. En la presente investigación, a pesar de presentar ese caso en los ensayos realizados, no se pudo realizar un segundo ensayo de comprobación por muestra insuficiente de suelo, por lo que se tomó como resultado de capacidad de soporte al CBR 0.2”.

- Se obtuvieron los parámetros de resistencia al corte, como el ángulo de fricción y cohesión mediante el ensayo de corte directo, y se alcanzó una mejora de los parámetros de 34% y 71%, respectivamente, para el suelo reforzado de 0.3% de PP.

- El material de refuerzo investigado puede ser usado con otros elementos como ceniza de cáscara de arroz, fibras de PET, etc., productos con beneficios ambientales y económicos cuyo uso se debe promover, para lo cual se requiere de más investigaciones de campo en el uso de nuevas técnicas para el reforzamiento de suelos.

Bibliografía

- Amaya, E., Molina, F., & Sánchez, M. (2018). *Producción de polipropileno* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional de Cuyo]. Biblioteca Digital. <https://bdigital.uncu.edu.ar/11477>
- Arrelucé, S., & Solís, G. (2021). *Incorporación de fibras de polipropileno como método de reforzamiento de suelos arcillosos en Palian - Huancayo* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/656164>
- Baamonde, A., Pérez, I., & Herrador, M. (2011). Geosintéticos en carreteras: Planteamientos para su aplicación en las capas de firme. *Ingeopres*, 202. <http://hdl.handle.net/2183/17778>
- Bañón, L., & Beviá, J. (2000). *Manual de carreteras (Vol. 2)*. Universidad de Alicante.
- Cabrera, M., & Domínguez, J. (2021). *Estudio experimental de la influencia del cemento y de la fibra de polipropileno con fines de mejorar el comportamiento geotécnico de un suelo volcánico ubicado en la progresiva 88 +100 Km de la vía Arequipa-Omate-Moquegua* [Tesis de licenciatura, UPC]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/655854>
- Carrillo, C. (2019). *Estudio de la inclusión de fibras PET en el reforzamiento de suelos cohesivos para terraplenes de obras viales, La Libertad 2018* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Trujillo]. Repositorio Institucional UPRIT. <http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/127>
- Castellanos, H. (13 de agosto de 2011). *Mejoramiento de suelos*. CivilGeeks. <https://civilgeeks.com/2011/08/13/mejoramiento-suelos/>
- Coreño, J., & Méndez, M. (2010). Relación estructura-propiedades de polímeros. *Educación química*, 21(4), 291-299. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30098-3](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30098-3)
- Das, B. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (4 ed.). Cengage Learning.
- Fibras Cortadas y Monofilamentos S.A.C. - FCM. (7 de noviembre de 2022). *Productos*. <https://fcm.pe/productos/>
- Gil, E., & Nuñez, I. (2018). *Influencia de la adición de fibras de PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de suelos arcillosos aplicado a la estabilidad de taludes* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional UNITRU. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/11114>
- Gregory, G. (2006). Shear strength, creep and stability of fiber-reinforced soil slopes

- (Publicación ID 3220239) [Tesis doctoral, Oklahoma State University]. ProQuest.
- Gregory, H. (1916). Geologic Reconnaissance of the Cuzco Valley, Peru. *American Journal of Science*, 41(241), 1-100.
- Hernández, J., Mejía, D., & Zelaya, C. (2016). *Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador* [Tesis de licenciatura, Universidad de El Salvador]. Repositorio Institucional de la Universidad de El Salvador. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14342>
- HLC. (29 de octubre de 2019). *¿Cómo se hace un análisis granulométrico?* <https://www.hlcsac.com/noticias/como-se-hace-un-analisis-granulometrico/>
- Hurtado, O. (2017). *Análisis técnico económico para estabilización de taludes en vías empleando sistema de muro no convencional, tramo de carretera Kishuara - Puente Sahuinto - Abancay* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Digital de la Universidad Privada Antenor Orrego. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/3730>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI. (2018). *Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2017*. Lima: INEI.
- Ingles, O., & Metcalf, J. (1972). *Soil Stabilization principles and practice*. John Wiley & Sons.
- Junco del Pino, J. M., y Tejeda Piusseanut, E. (2013). Consideraciones acerca de la actividad de las arcillas en la estabilización de suelos con sales cuaternarias de amonio. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 7(3), 1-12.
- Leoni, A. (1987). *Apuntes de resistencia al corte*. En Leoni, A. (Ed.), Laboratorio de Mecánica de Suelos. Laboratorio de Mecánica de Suelos - Universidad Nacional de La Plata.
- Lopez, F. (2004). *Fundamentos de polímeros*. Escuela venezolana para la enseñanza de la química. Universidad de Los Andes.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2016). *Manual de Ensayos de Materiales*. <https://portal.mtc.gob.pe>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2013). *Manual de Carreteras*. <https://portal.mtc.gob.pe/>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE. Norma CE.010 Pavimentos Urbanos*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2365614/14%20CE.010%20PAVI>

MENTOS%20URBANOS%20DS%20N%C2%B0%20010-2010.pdf

- Rosales, D. (2014). *Mejoramiento de suelos expansivos mediante inclusiones de fibras* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional DGBSDI-UAQ. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/819>
- Sherwell, G. (2014). *Estudio del uso de Polietileno Tereftalato como material de refuerzo de estructuras térreas conformadas por suelo fino* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Facultad de Ingeniería. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/2936>
- Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres - SIGRID (30 de julio de 2004). *Mapa de tipos de suelos de la ciudad del Cusco*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/4244>
- Solís, F., & Inga, D. (2021). *Análisis del comportamiento mecánico del suelo arcilloso reforzado con fibras de polipropileno en La Merced - Junín 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11369>
- Tang, C., Shi, B., Gao, W., Chen, F., & Cai, Y. (2007). Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 25, 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2006.11.002>
- Vettorelo, P., & Clariá, J. (2014). Suelos Reforzados con Fibras: Estado del Arte y Aplicaciones. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba*, 1(1), 27-34.
- Yepes, V. (23 de enero de 2021). *Sustitución del terreno como técnica de mejora*. Universitat Politècnica de València. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/01/23/sustitucion-del-terreno-como-tecnica-de-mejora/>

Anexo A: Evidencias de los ensayos en laboratorio



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

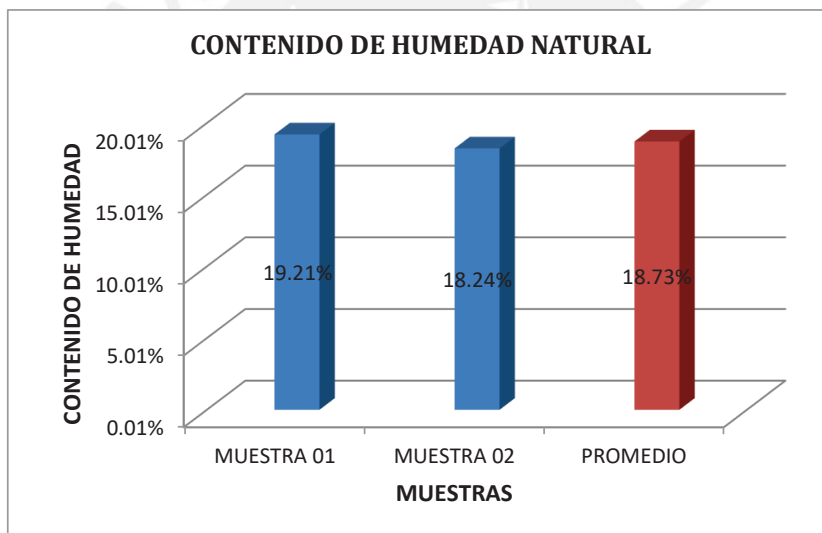
Muestra: SUELO ARCILLOSO NATURAL

Fecha: Dic-22

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

MTC E 108, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	53.49	30.59
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	302.80	319.64
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	262.62	275.05
Peso del Agua (gr)	40.18	44.59
Peso de la Muestra Seca (gr)	209.13	244.46
Contenido de Humedad	19.21%	18.24%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 18.73%

Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

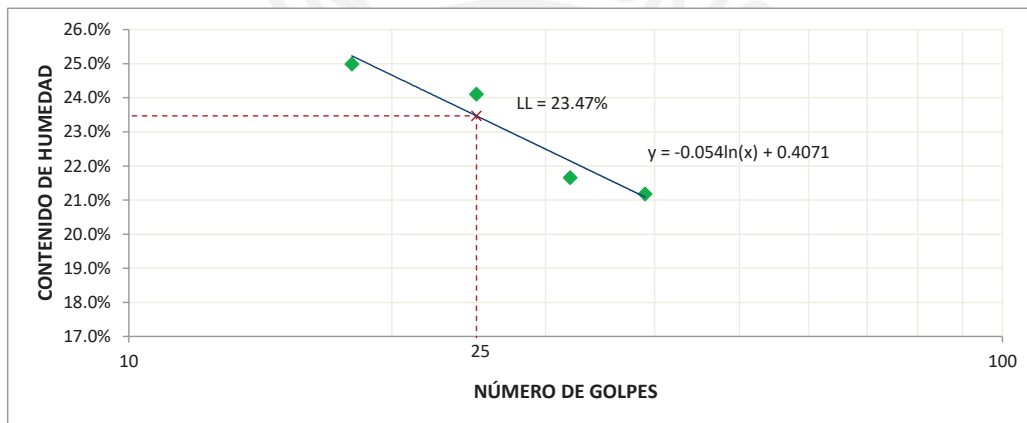
Muestra: SUELO ARCILLOSO NATURAL

Fecha: Dic-22

LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

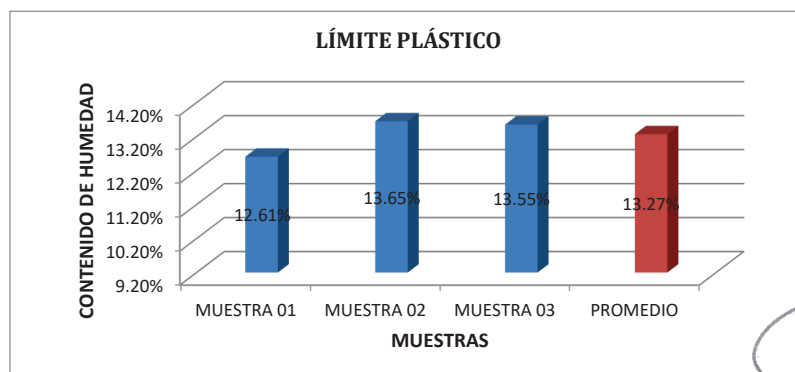
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	39	32	25	18
Peso de Capsula (gr)	10.75	7.68	11.52	10.12
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	28.03	28.69	28.97	30.78
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	25.01	24.95	25.58	26.65
Peso del Agua (gr)	3.02	3.74	3.39	4.13
Peso de la Muestra Seca (gr)	14.26	17.27	14.06	16.53
Contenido de Humedad	21.18%	21.66%	24.11%	24.98%



LÍMITE PLÁSTICO

MTC E 111, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	9.28	8.24	8.12
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	14.46	14.90	13.65
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	13.88	14.10	12.99
Peso del Agua (gr)	0.58	0.80	0.66
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.60	5.86	4.87
Contenido de Humedad	12.61%	13.65%	13.55%



LÍMITE LÍQUIDO = 23.47%
LÍMITE PLÁSTICO = 13.27%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 10.20%



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Muestra: SUELO ARCILLOSO NATURAL

Fecha: Dic-22

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

MATERIAL NO LAVADO	
Peso total de la muestra =	1,026.39 gr
Peso de la fracción no lavada =	0.00 gr
Peso de la fracción para lavado =	1026.39 gr

FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO	
Peso de la fracción antes del lavado =	1026.39 gr
Peso de la fracción después de lavar =	211.48 gr
% de la fracción lavada =	100.00%

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 4	4.75	4.16	1.97%	0.00%	1.97%	0.41%	0.41%	99.59%
Nº 10	2	5.00	2.36%	0.00%	2.37%	0.49%	0.89%	99.11%
Nº 20	0.850	8.95	4.23%	0.00%	4.24%	0.87%	1.77%	98.23%
Nº 40	0.425	14.92	7.06%	0.01%	7.06%	1.45%	3.22%	96.78%
Nº 60	0.250	23.10	10.92%	0.01%	10.93%	2.25%	5.47%	94.53%
Nº 140	0.106	129.13	61.06%	0.05%	61.11%	12.59%	18.06%	81.94%
Nº 200	0.075	25.76	12.18%	0.01%	12.19%	2.51%	20.58%	79.42%
Cazuela	-	0.29	0.14%	0.00%	0.14%	0.03%	20.60%	-
Lavado	-	814.91	-	-	-	79.40%	100.00%	-
Fracción Retenida en Lavado		211.31	99.92%	0.08%	100.00%	20.60%		
Total		1026.22	%Error = 0.08% Ok!			100.00%		

Gradación: F

TAMIZ Nº	LIM. INFERIOR	LIM. SUPERIOR
2" (50 mm)	100%	100%
1½" (37.5 mm)	100%	100%
1" (25 mm)	100%	100%
¾" (19 mm)	95%	100%
⅜" (9.5 mm)	82%	100%
Nº 4 (4.75 mm)	70%	100%
Nº 10 (2 mm)	55%	100%
Nº 40 (0.425 mm)	30%	70%
Nº 200 (0.075 mm)	8%	25%

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 0.41%

% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 20.17%

% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 79.42%

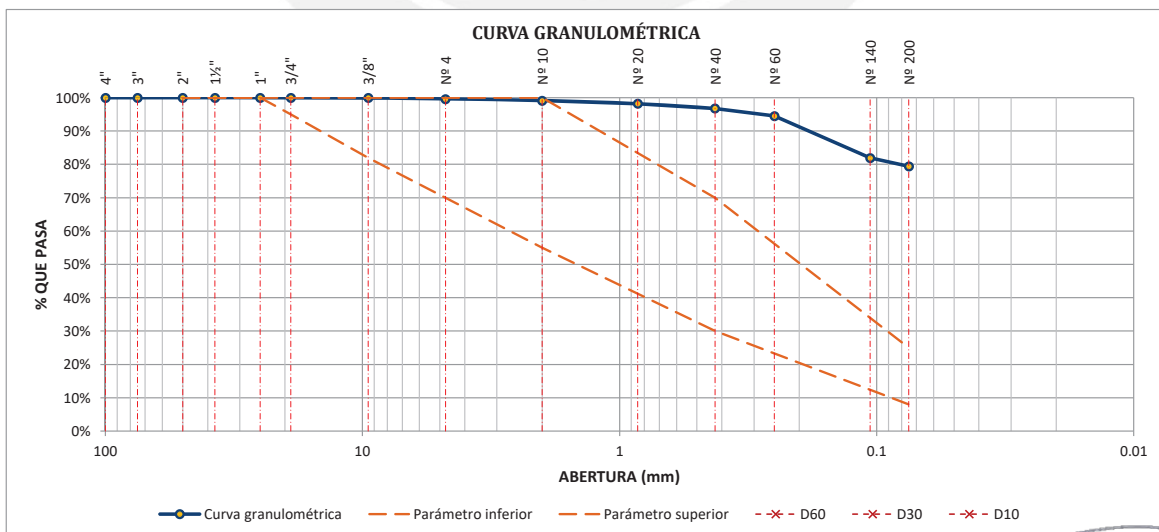
Total: 100.00%

Fracción Gruesa

% de grava = 1.97%

% de arena = 98.03%

Total: 100.00%



Tamaño Máximo Absoluto = 3/8"

Tamaño Máximo Nominal = Nº 60

D60 = -
D30 = -
D10 = -

Cu = -
Cc = -



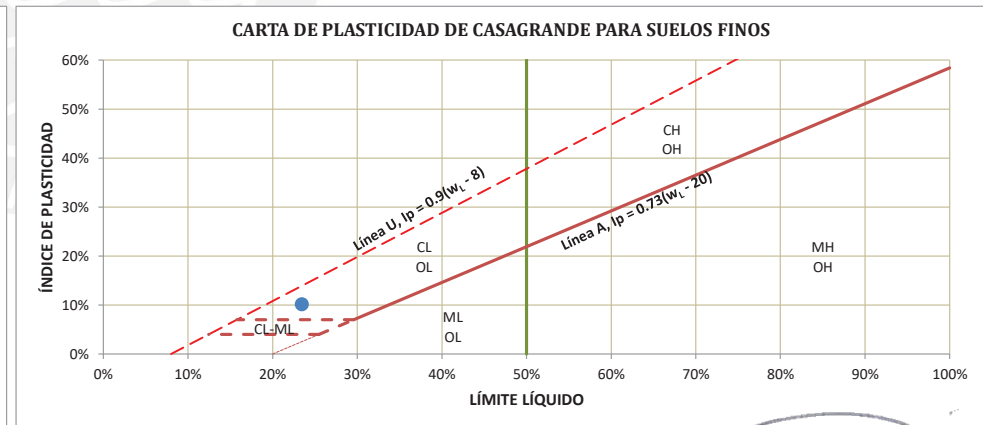
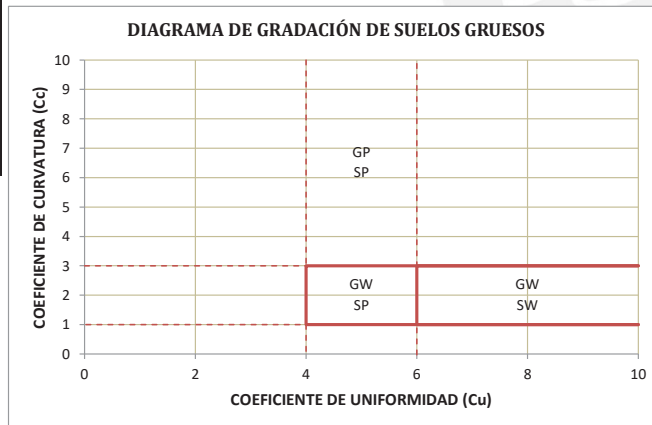
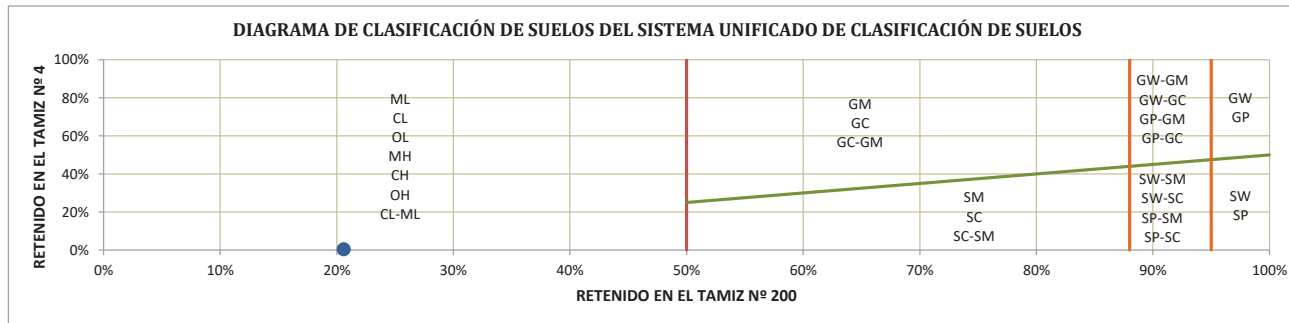
Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil



Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO
 Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Muestra: SUELO ARCILLOSO NATURAL
 Fecha: Dic-22

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
 ASTM D-2487

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	
% de Gruesos = 20.58%	
% de Finos = 79.42%	
Total = 100.00%	
% de Grava = 0.41%	
% de Arena = 20.17%	
Total = 20.58%	
Fracción Gruesa	
% de Grava = 1.97%	
% de Arena = 98.03%	
Total = 100.00%	
Coeficientes	
Cu = -	
Cc = -	
De Límites de Consistencia	
LL = 23.47%	
LP = 13.27%	
IP = 10.20%	
Otros Datos	
Tipo = Inorgánico	



CL = Arcilla ligera de baja plasticidad con arena

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra



- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

PRO&CON SILVER S.C.R.L.

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

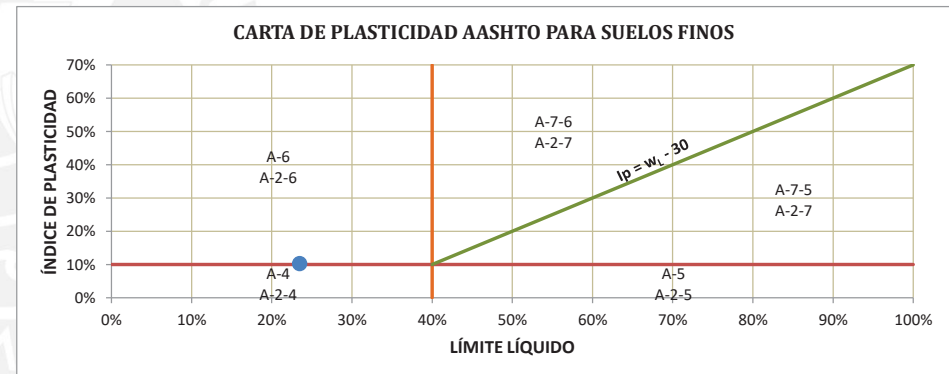
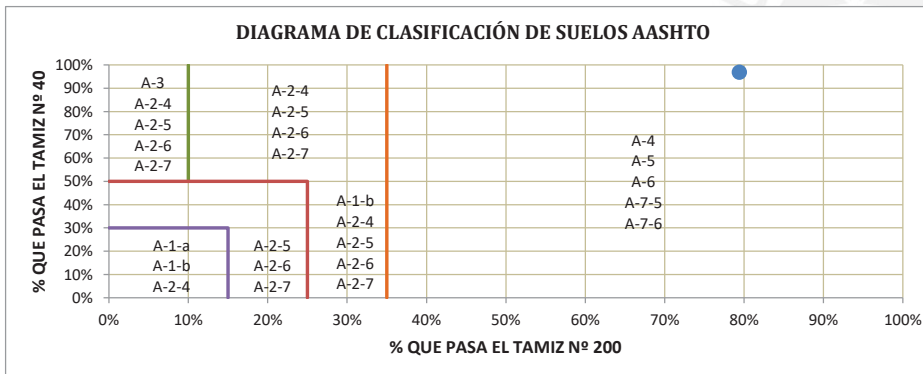
Muestra: SUELO ARCILLOSO NATURAL

Fecha: Dic-22

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO

AASHTO M-145

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz N° 10 = 99.11%	LL = 23.47%	Tipo = Inorgánico
% que pasa el tamiz N° 40 = 96.78%	LP = 13.27%	
% que pasa el tamiz N° 200 = 79.42%	IP = 10.20%	



CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GRUPO	
F = 79.42	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz N° 200
w _L = 23.47	w _L = Límite líquido
I _p = 10.20	I _p = Índice de plasticidad

a = F - 35	a = 44.42	a = 40.00
b = F - 15	b = 64.42	b = 40.00
c = w _L - 40	c = -16.53	c = 0.00
d = I _p - 10	d = 0.20	d = 0.20

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

$$IG = 8$$

A-6 (8) = Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la AASHTO para este tipo de suelo es: Rodillo Neumático y Pata de Cabra



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Licenciados L-3 - San Sebastian, Telf: 084-254730, Cel. Entel: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Material

Muestra: SUELO ARCILLOSO NATURAL

Agregado: -

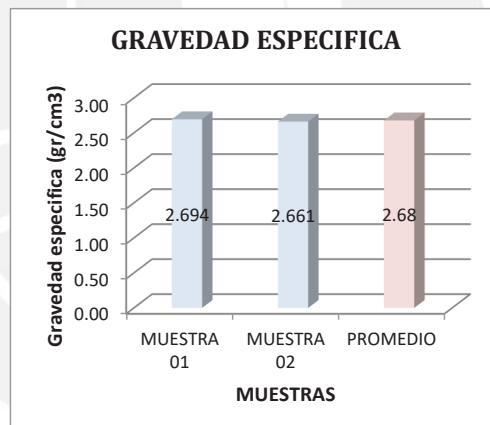
Fecha: Dic-22

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DE SUELO

MTC E 113 - 2016, Basado en la Norma ASTM D 854

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Número de Picnómetro	1	1
Volumen del Picnómetro (ml)	500	500
Peso del Picnómetro (gr)	156.9	156.9
Peso de la Muestra Seca (gr)	295.09	295.14
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	852.20	851.30
Temperatura del Agua (°C)	16.0	16.3
Peso del Picnómetro + Agua (gr)	666.72	667.15
Volumen de la muestra seca (gr)	109.61	110.99
Factor de corrección por Temperatura	1.00074	1.00069
Gravedad específica, Gs	2.694	2.661

% de Error		
Gravedad Específica	1.25%	Ok!



GRAVEDAD ESPECÍFICA = 2.68


Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Muestra: SUELO ARCILLOSO NATURAL

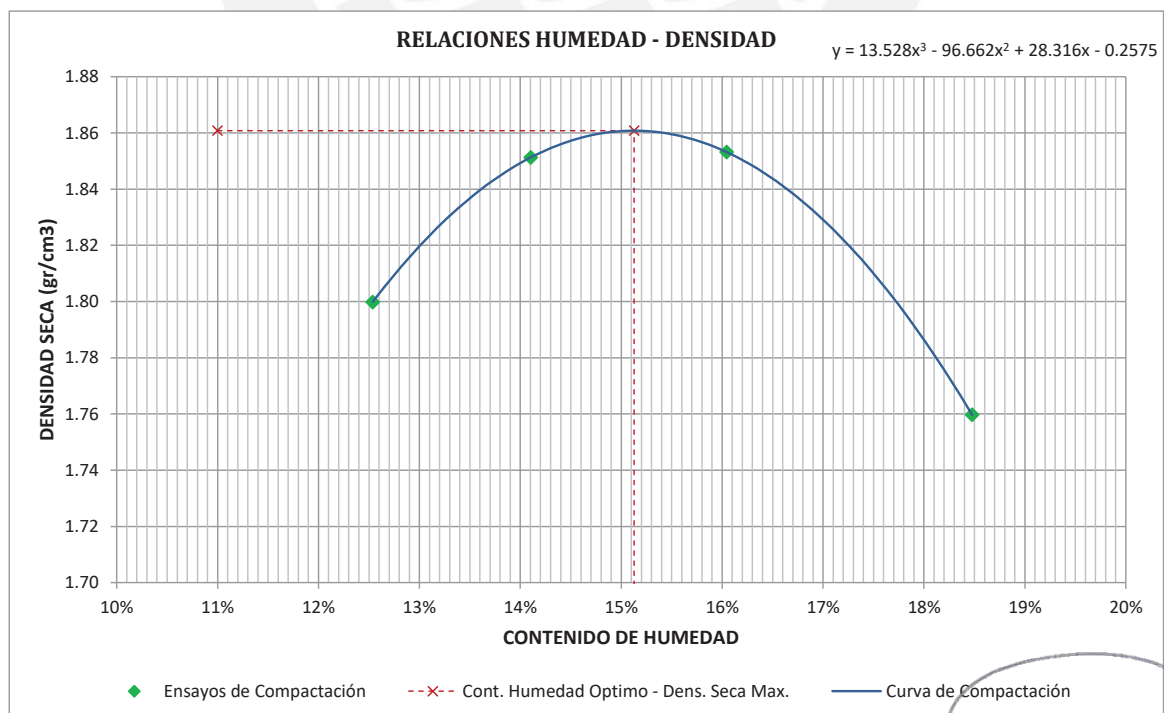
Fecha: Dic-22

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO, UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA

MTC E 115, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

DATOS PRELIMINARES	
Método =	A
Número de capas =	5
Número de golpes por capa =	25
Masa del pisón =	4.54 Kg
Altura de caída del pisón =	45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Proctor Utilizado	P-4	P-4	P-4	P-4
Diámetro del Molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	943.96	943.96	943.96	943.96
Peso del Molde (gr)	3,570.00	3,570.00	3,570.00	3,570.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,482.00	5,564.00	5,600.00	5,538.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1912.00	1994.00	2030.00	1968.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	1698.99	1747.54	1749.31	1661.07
Densidad Seca (gr/cm³)	1.80	1.85	1.85	1.76
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	18.40	19.34	18.70	10.48
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	74.50	78.32	78.22	78.96
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	68.25	71.03	69.99	68.28
Peso del Agua (gr)	6.25	7.29	8.23	10.68
Peso de la Muestra Seca (gr)	49.85	51.69	51.29	57.80
Contenido de Humedad	12.54%	14.10%	16.05%	18.48%



DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1.86 gr/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 15.13%



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.
-Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastian, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
Muestra: SUELO ARCILLOSO NATURAL
Fecha: Dic-22

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

Table with 3 main columns: DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO, DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN, and DATOS DEL MOLDE. Includes sub-sections for DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN.

Table titled ENSAYO DE COMPACTACIÓN with columns for Muestra, MUESTRA 01, MUESTRA 02, and MUESTRA 03. Rows include various parameters like humidity, weight, and density.

Table titled ENSAYO DE EXPANSIÓN with columns for Muestra, MUESTRA 01, MUESTRA 02, and MUESTRA 03. Rows show expansion percentage over time for different numbers of blows.

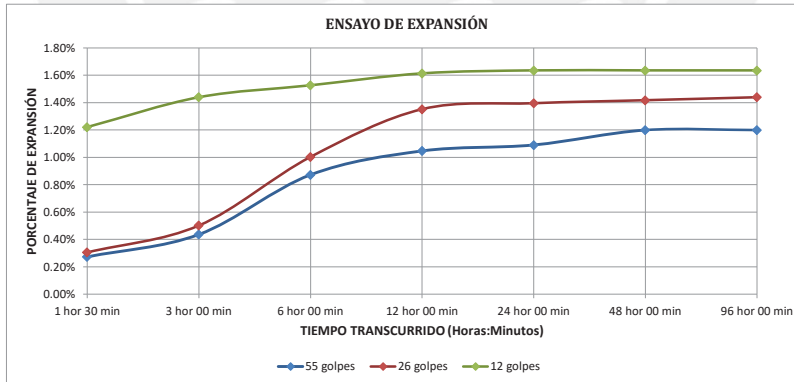


Table titled ENSAYO DE PENETRACIÓN with columns for Muestra, MUESTRA 01, MUESTRA 02, and MUESTRA 03. Rows show penetration test results including force and CBR values.

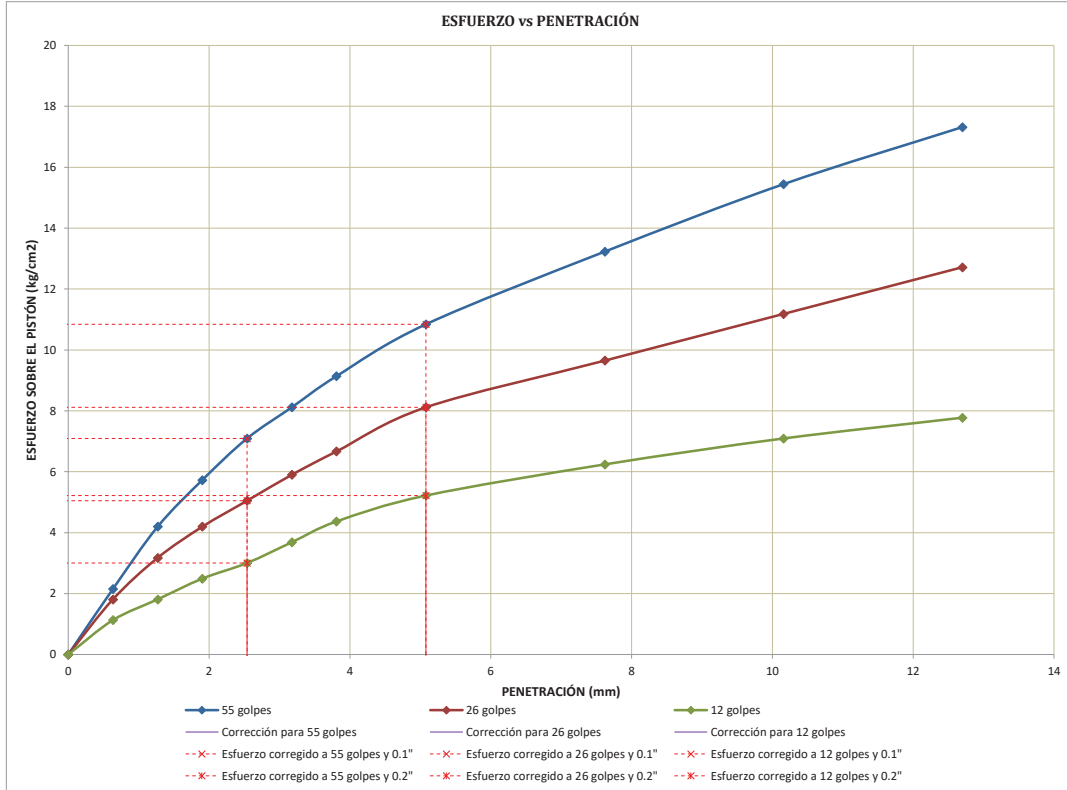
Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil



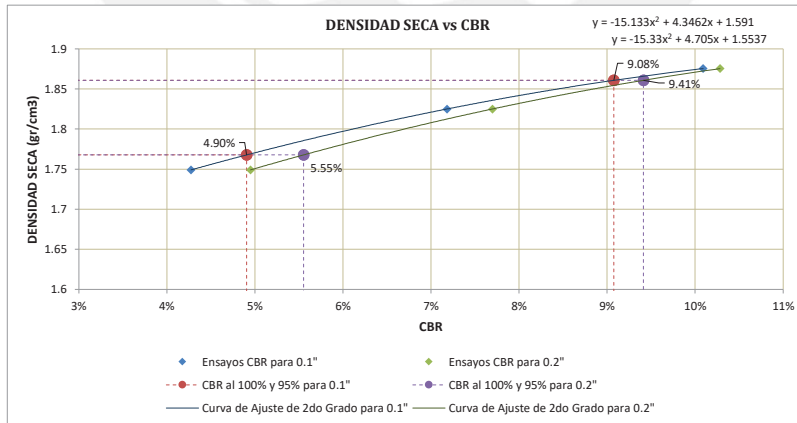
Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Muestra: SUELO ARCILLOSO NATURAL
 Fecha: Dic-22

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
 MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193



CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg
Carga Unitaria Patrón	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	2.540	7.09	10.09%	2.540	5.05	7.18%	2.540	3.00	4.27%
105.46	5.080	10.84	10.28%	5.080	8.12	7.70%	5.080	5.22	4.95%



Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	10.09%	10.28%	1.88 gr/cm3
26	7.18%	7.70%	1.83 gr/cm3
12	4.27%	4.95%	1.75 gr/cm3

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.86
95% de la DSM (gr/cm3)	1.77

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	9.08%	9.41%
CBR al 95% de la DSM	4.90%	5.55%

**PRO&CON SILVER S.C.R.L.**

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Fecha: Dic-22

Muestra: Suelo natural

Calicata: -

Profundidad: -

CORTE DIRECTO

MTC E 123 , Basado en la Norma ASTM D-3080 y AASHTO T-236

DIMENSIONES DE LA MUESTRA	
Diámetro =	50.80 mm
Altura L ₀ =	21.50 mm
Área =	20.27 cm ²
Volumen =	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LAS MUESTRAS			
Muestras	M-01	M-02	M-03
Peso	90.20 gr	91.12 gr	90.36 gr
Peso Unitario húmedo	2.07 gr/cm ³	2.09 gr/cm ³	2.07 gr/cm ³
Contenido de Humedad	15.04%	15.08%	15.10%
Peso Unitario seco	1.80 gr/cm ³	1.82 gr/cm ³	1.80 gr/cm ³

Velocidad de Deformación Horizontal = 0.50 mm/min

DEFORMÍMETRO DE LONGITUD DE CORTE	LECTURA DE CARGA HORIZONTAL			DEFORMÍMETRO DE LONGITUD VERTICAL			FUERZA DE CORTE HORIZONTAL			ESFUERZO CORTANTE τ		
	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03
mm	N			mm			kg			kg/cm ²		
0.20	27.6	49.8	58.2	0.002	0.009	0.015	2.81	5.08	5.93	0.14	0.25	0.29
0.40	43.0	66.6	95.2	0.005	0.028	0.046	4.38	6.79	9.71	0.22	0.34	0.48
0.60	52.8	78.8	109.6	0.010	0.036	0.075	5.38	8.04	11.18	0.27	0.40	0.55
0.80	60.2	87.8	121.2	0.017	0.045	0.085	6.14	8.95	12.36	0.30	0.44	0.61
1.00	67.0	94.2	132.0	0.022	0.059	0.091	6.83	9.61	13.46	0.34	0.47	0.66
1.50	79.2	106.0	139.8	0.027	0.074	0.103	8.08	10.81	14.26	0.40	0.53	0.70
2.00	80.2	108.9	154.6	0.030	0.099	0.126	8.18	11.10	15.76	0.40	0.55	0.78
2.50	81.2	110.2	159.6	0.032	0.152	0.162	8.28	11.24	16.27	0.41	0.55	0.80
3.00	81.6	110.5	160.4	0.040	0.174	0.249	8.32	11.27	16.36	0.41	0.56	0.81
3.50	82.0	111.8	164.0	0.049	0.215	0.269	8.36	11.40	16.72	0.41	0.56	0.83
4.00	81.8	109.6	166.0	0.059	0.259	0.285	8.34	11.18	16.93	0.41	0.55	0.84
4.50	80.0	107.8	164.6	0.068	0.286	0.306	8.16	10.99	16.78	0.40	0.54	0.83
5.00	78.4	107.6	169.0	0.079	0.301	0.315	7.99	10.97	17.23	0.39	0.54	0.85
5.50	77.6	106.8	173.0	0.084	0.315	0.369	7.91	10.89	17.64	0.39	0.54	0.87
6.00	77.4	107.0	172.8	0.098	0.357	0.400	7.89	10.91	17.62	0.39	0.54	0.87
6.50	76.6	106.4	173.4	0.104	0.386	0.436	7.81	10.85	17.68	0.39	0.54	0.87
7.00	75.8	106.2	173.6	0.119	0.405	0.463	7.73	10.83	17.70	0.38	0.53	0.87
7.50	75.0	106.0	174.4	0.124	0.419	0.485	7.65	10.81	17.78	0.38	0.53	0.88
8.00	74.4	105.8	175.0	0.135	0.436	0.501	7.59	10.79	17.85	0.37	0.53	0.88
8.50	74.2	105.0	176.1	0.140	0.459	0.524	7.57	10.71	17.96	0.37	0.53	0.89
9.00	73.8	105.2	176.2	0.148	0.475	0.574	7.53	10.73	17.97	0.37	0.53	0.89
9.50	73.6	105.2	175.6	0.150	0.495	0.602	7.51	10.73	17.91	0.37	0.53	0.88
10.00	73.6	104.4	175.0	0.153	0.520	0.680	7.51	10.65	17.85	0.37	0.53	0.88



Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil

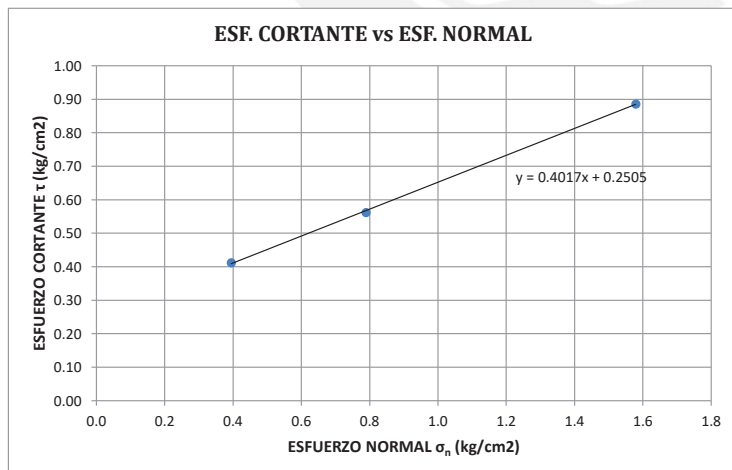
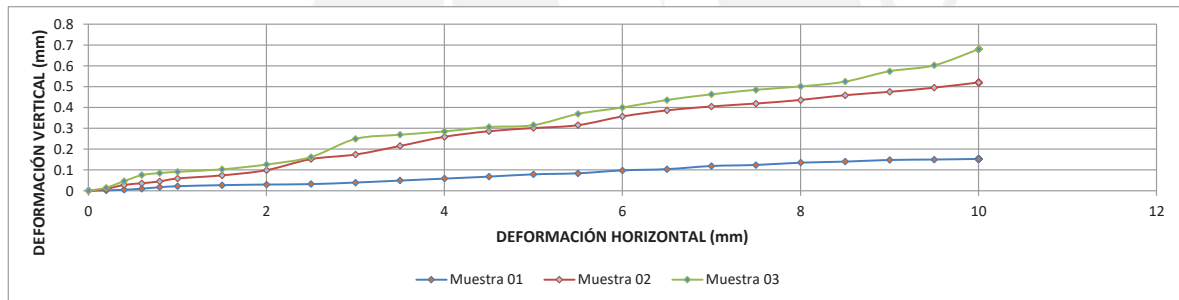
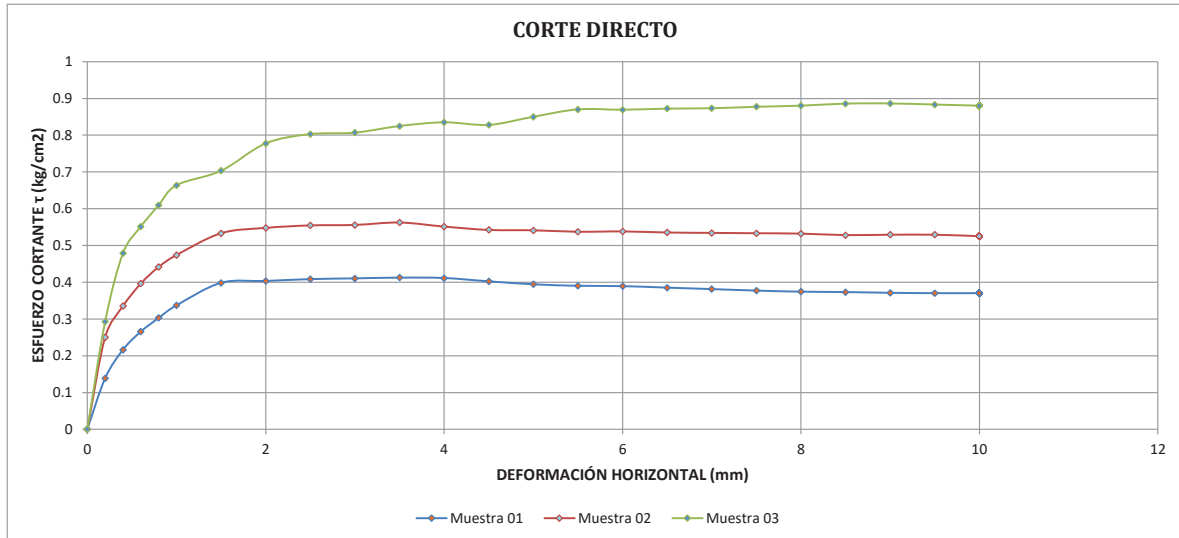


Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO
 Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Fecha: Dic-22

Muestra: Suelo natural
 Calicata: -
 Profundidad: -

CORTE DIRECTO

MTC E 123 , Basado en la Norma ASTM D-3080 y AASHTO T-236



Muestras	M-01	M-02	M-03
Carga Vertical (kg)	8.00	16.00	32.00
Área (cm ²)	20.27	20.27	20.27
σ _n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.6
τ (kg/cm ²)	0.41	0.56	0.89

Cohesión = 0.251 kg/cm²
 Ángulo de fricción interna = 21° 53' 12"

Laboratorio de Suelos y Materiales
 PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
 Sergio Ivan Liendo Vargas
 Ingeniero Civil



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Muestra: SUELO ARCILLOSO + 0.3% FIBRAS PP

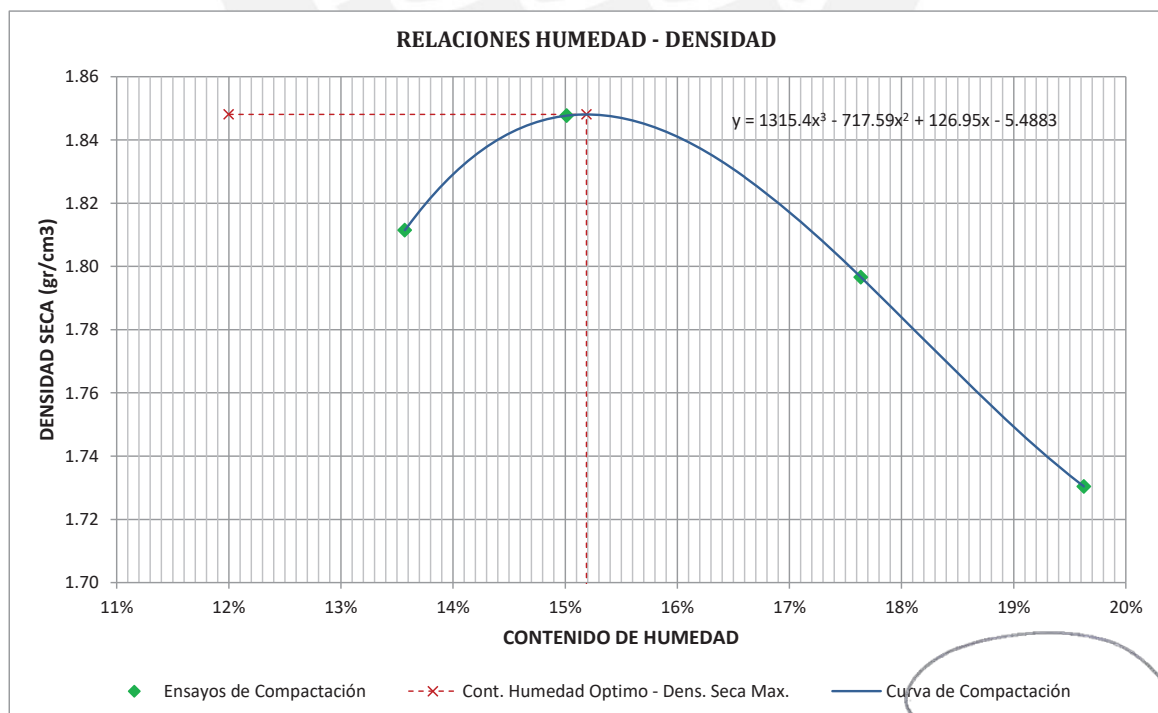
Fecha: Dic-22

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO, UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA

MTC E 115, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

DATOS PRELIMINARES	
Método =	A
Número de capas =	5
Número de golpes por capa =	25
Masa del pisón =	4.54 Kg
Altura de caída del pisón =	45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Proctor Utilizado	P-4	P-4	P-4	P-5
Diámetro del Molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	943.96	943.96	943.96	943.96
Peso del Molde (gr)	3,570.00	3,570.00	3,570.00	3,570.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,512.00	5,576.00	5,565.00	5,524.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1942.00	2006.00	1995.00	1954.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	1709.96	1744.16	1695.88	1633.43
Densidad Seca (gr/cm³)	1.81	1.85	1.80	1.73
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	19.10	16.52	16.49	15.42
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	89.57	71.22	91.79	85.64
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	81.15	64.08	80.50	74.12
Peso del Agua (gr)	8.42	7.14	11.29	11.52
Peso de la Muestra Seca (gr)	62.05	47.56	64.01	58.70
Contenido de Humedad	13.57%	15.01%	17.64%	19.63%



DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1.85 gr/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 15.19%



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.
- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastian, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

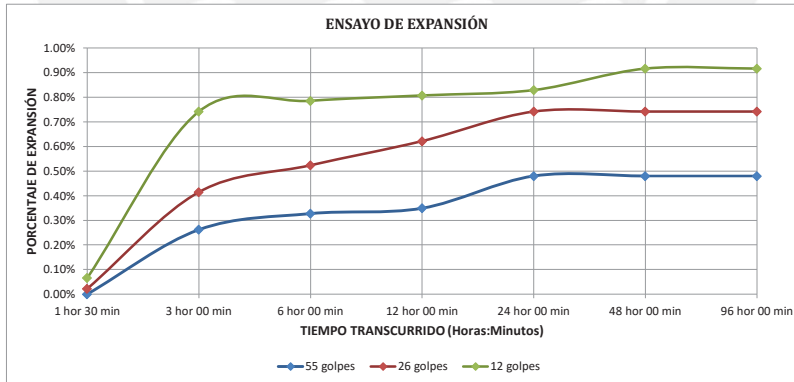
Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO
Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
Muestra: SUELO ARCILLOSO + 0.3% FIBRAS PP
Fecha: Dic-22

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 1.85 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 15.19% Contenido Humedad Natural = 18.73%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = +1.20E+01 +3.3E+00 *X Área del Pistón = 19.35 cm2	+0.00E+00 *X ²	+0.0E+00 *X ³ (KN) Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	16.14	19.46	18.82	14.97	18.66	16.29
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	72.70	73.92	75.70	75.39	79.41	72.48
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	65.22	65.97	68.12	66.36	71.21	63.10
Peso del Agua (gr)	7.48	7.95	7.58	9.03	8.20	9.38
Peso de la Muestra Seca (gr)	49.08	46.51	49.30	51.39	52.55	46.81
Contenido de Humedad	15.24%	17.09%	15.38%	17.57%	15.60%	20.04%
Porcentaje de Absorción	-	1.85%	-	2.20%	-	4.43%
Peso del Molde (gr)	7390		7272		7420	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11931	11999	11722	11836	11512	11717
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4541	4609	4450	4564	4092	4297
Peso de la Muestra Seca (gr)	3940.46		3856.98		3539.66	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	68	-	114	-	205
Porcentaje de Absorción	-	1.73%	-	2.96%	-	5.79%
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.14	2.16	2.10	2.13	1.93	2.00
Densidad Seca (gr/cm3)	1.86	1.85	1.82	1.80	1.67	1.65

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	0	0	0.000	0.00%	1	0.001	0.025	0.02%	3	0.003	0.076	0.07%
0.125	3 hor 00 min	12	0.012	0.305	0.26%	19	0.019	0.483	0.41%	34	0.034	0.864	0.74%
0.25	6 hor 00 min	15	0.015	0.381	0.33%	24	0.024	0.610	0.52%	36	0.036	0.914	0.79%
0.5	12 hor 00 min	16	0.016	0.406	0.35%	28.5	0.0285	0.724	0.62%	37	0.037	0.940	0.81%
1	24 hor 00 min	22	0.022	0.559	0.48%	34	0.034	0.864	0.74%	38	0.038	0.965	0.83%
2	48 hor 00 min	22	0.022	0.559	0.48%	34	0.034	0.864	0.74%	42	0.042	1.067	0.92%
4	96 hor 00 min	22	0.022	0.559	0.48%	34	0.034	0.864	0.74%	42	0.042	1.067	0.92%

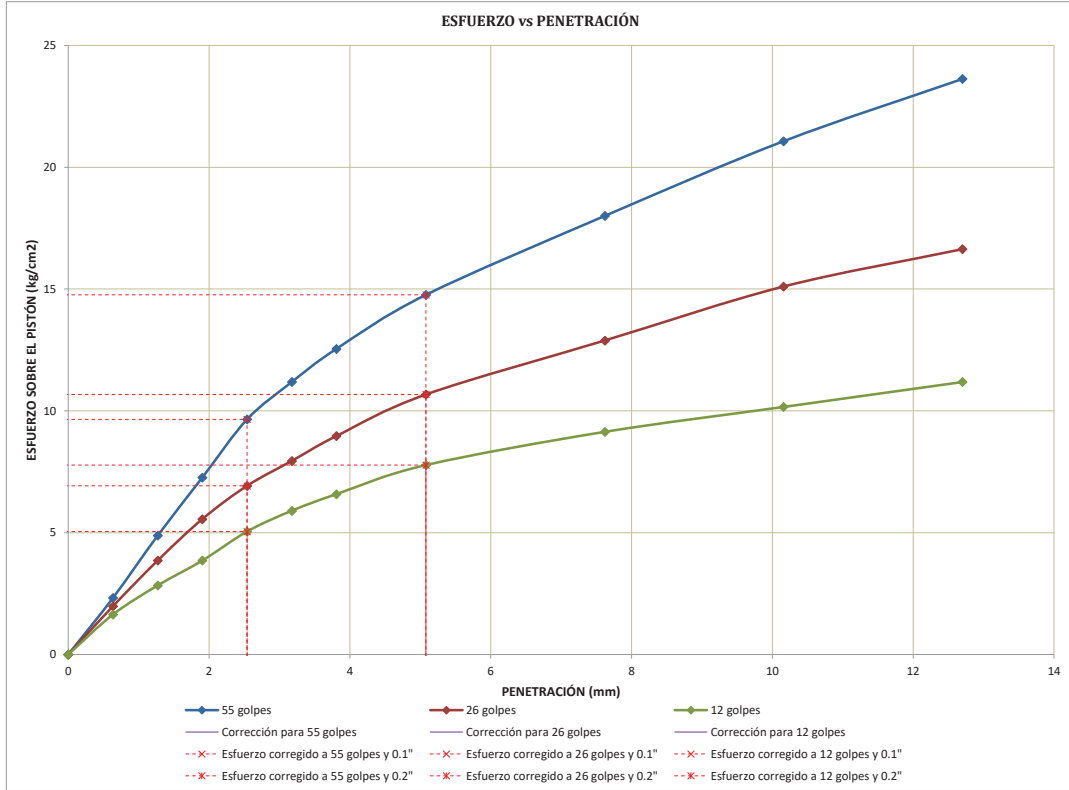


ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
0	0.000	0	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	10	44.96	2.32		8	38.36	1.98		6	31.76	1.64		
50	1.270	25	94.43	4.88		19	74.64	3.86		13	54.85	2.83		
75	1.905	39	140.61	7.26		29	107.63	5.56		19	74.64	3.86		
70.31	100	2.540	53	186.79	9.65	13.73%	37	134.01	6.92	9.85%	26	97.73	5.05	7.18%
125	3.175	62	216.47	11.18		43	153.81	7.95		31	114.22	5.90		
150	3.810	70	242.86	12.55		49	173.60	8.97		35	127.42	6.58		
105.46	200	5.080	83	285.74	14.76	14.00%	59	206.58	10.67	10.12%	42	150.51	7.78	7.37%
300	7.620	102	348.41	18.00		72	249.46	12.89		50	176.89	9.14		
400	10.160	120	407.78	21.07		85	292.34	15.10		56	196.68	10.16		
500	12.700	135	457.26	23.63		94	322.02	16.64		62	216.47	11.18		

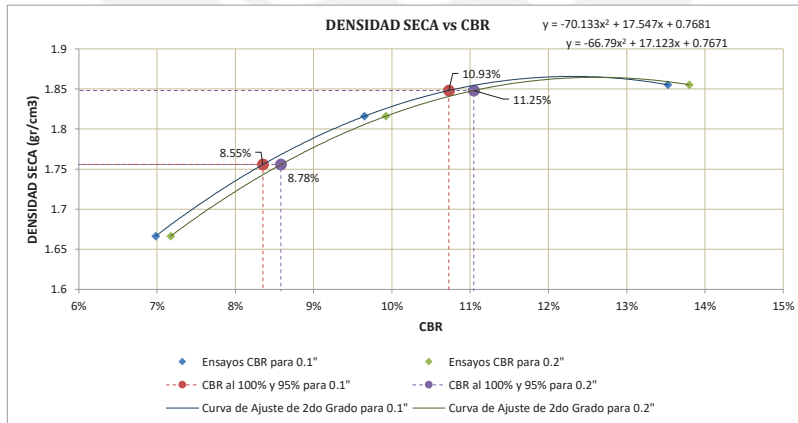


Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO
 Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Muestra: SUELO ARCILLOSO + 0.3% FIBRAS PP
 Fecha: Dic-22

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
 MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193



CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg
Carga Unitaria Patrón	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	2.540	9.65	13.73%	2.540	6.92	9.85%	2.540	5.05	7.18%
105.46	5.080	14.76	14.00%	5.080	10.67	10.12%	5.080	7.78	7.37%



Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	13.73%	14.00%	1.86 gr/cm3
26	9.85%	10.12%	1.82 gr/cm3
12	7.18%	7.37%	1.67 gr/cm3

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.85
95% de la DSM (gr/cm3)	1.76

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	10.93%	11.25%
CBR al 95% de la DSM	8.55%	8/78%

**PRO&CON SILVER S.C.R.L.****- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.**

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Fecha: Dic-22

Muestra: Suelo reforzado + 0.3% PP

Calicata: -

Profundidad: -

CORTE DIRECTO

MTC E 123 , Basado en la Norma ASTM D-3080 y AASHTO T-236

DIMENSIONES DE LA MUESTRA	
Diámetro =	50.80 mm
Altura L ₀ =	21.50 mm
Área =	20.27 cm ²
Volumen =	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LAS MUESTRAS			
Muestras	M-01	M-02	M-03
Peso	92.50 gr	92.10 gr	92.04 gr
Peso Unitario húmedo	2.12 gr/cm ³	2.11 gr/cm ³	2.11 gr/cm ³
Contenido de Humedad	15.21%	15.16%	15.18%
Peso Unitario seco	1.84 gr/cm ³	1.84 gr/cm ³	1.83 gr/cm ³

Velocidad de Deformación Horizontal = 0.50 mm/min

DEFORMÍMETRO DE LONGITUD DE CORTE	LECTURA DE CARGA HORIZONTAL			DEFORMÍMETRO DE LONGITUD VERTICAL			FUERZA DE CORTE HORIZONTAL			ESFUERZO CORTANTE τ		
	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03
mm	N			mm			kg			kg/cm ²		
0.20	28.9	38.2	58.9	0.003	0.002	0.004	2.95	3.90	6.01	0.15	0.19	0.30
0.40	50.4	48.0	76.2	0.005	0.004	0.009	5.14	4.90	7.77	0.25	0.24	0.38
0.60	75.6	83.0	108.8	0.008	0.008	0.012	7.71	8.46	11.09	0.38	0.42	0.55
0.80	96.3	116.8	144.0	0.012	0.013	0.019	9.82	11.91	14.69	0.48	0.59	0.72
1.00	117.6	146.2	176.0	0.016	0.024	0.025	11.99	14.90	17.94	0.59	0.74	0.89
1.50	129.4	172.7	247.4	0.020	0.028	0.031	13.19	17.61	25.23	0.65	0.87	1.24
2.00	92.1	146.7	261.3	0.025	0.030	0.045	9.39	14.96	26.64	0.46	0.74	1.31
2.50	93.6	146.8	255.9	0.028	0.048	0.048	9.55	14.97	26.10	0.47	0.74	1.29
3.00	96.3	149.1	252.4	0.031	0.065	0.069	9.82	15.20	25.74	0.48	0.75	1.27
3.50	93.6	150.8	237.3	0.034	0.074	0.078	9.55	15.37	24.20	0.47	0.76	1.19
4.00	88.8	151.9	225.3	0.040	0.098	0.100	9.06	15.49	22.98	0.45	0.76	1.13
4.50	87.0	153.6	220.5	0.044	0.124	0.126	8.87	15.66	22.49	0.44	0.77	1.11
5.00	84.8	153.4	217.1	0.047	0.136	0.166	8.65	15.65	22.13	0.43	0.77	1.09
5.50	82.1	154.7	213.5	0.050	0.142	0.186	8.37	15.77	21.77	0.41	0.78	1.07
6.00	82.5	156.0	209.1	0.052	0.154	0.205	8.42	15.91	21.32	0.42	0.78	1.05
6.50	80.9	158.0	206.5	0.054	0.176	0.233	8.25	16.11	21.06	0.41	0.80	1.04
7.00	79.9	160.3	203.6	0.057	0.189	0.245	8.14	16.34	20.76	0.40	0.81	1.02
7.50	78.5	156.2	203.3	0.059	0.200	0.270	8.01	15.93	20.73	0.40	0.79	1.02
8.00	77.2	144.1	202.3	0.060	0.205	0.283	7.87	14.70	20.63	0.39	0.73	1.02
8.50	76.5	133.5	203.7	0.065	0.216	0.300	7.80	13.61	20.77	0.38	0.67	1.02
9.00	75.3	130.8	199.1	0.068	0.221	0.308	7.67	13.34	20.31	0.38	0.66	1.00
9.50	73.0	127.3	196.2	0.070	0.231	0.332	7.45	12.99	20.01	0.37	0.64	0.99
10.00	72.8	122.8	191.2	0.074	0.245	0.338	7.42	12.52	19.50	0.37	0.62	0.96

MCMXVII



Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.S.
Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

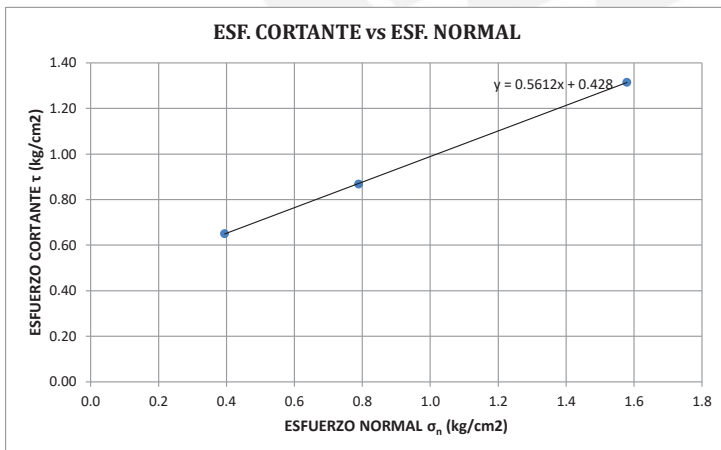
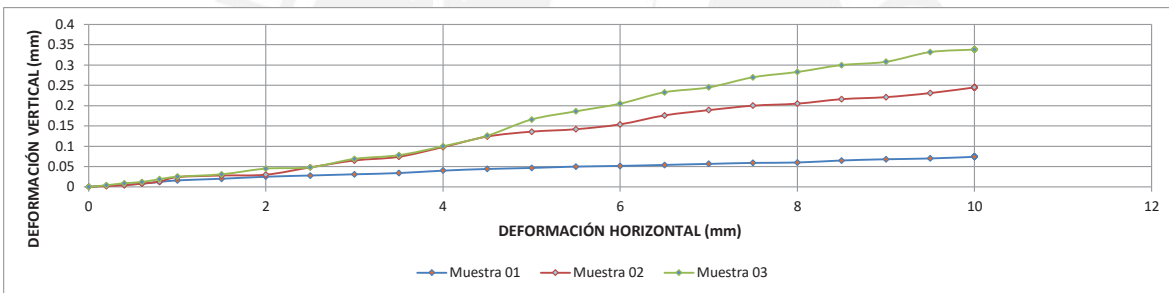
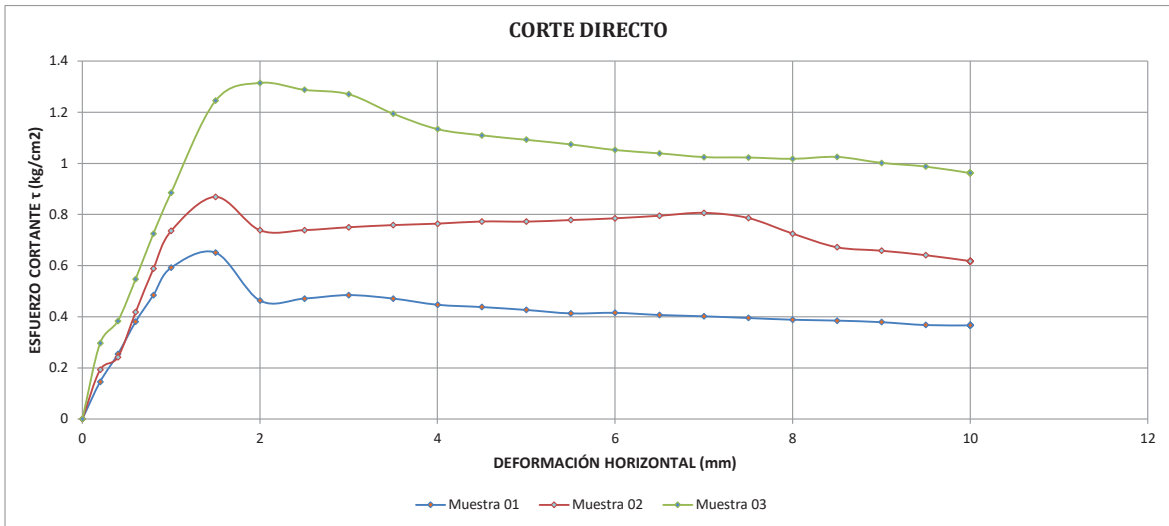
Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Fecha: Dic-22

Muestra: Suelo reforzado + 0.3% PP
 Calicata: -
 Profundidad: -

CORTE DIRECTO

MTC E 123 , Basado en la Norma ASTM D-3080 y AASHTO T-236



Muestras	M-01	M-02	M-03
Carga Vertical (kg)	8.00	16.00	32.00
Area en Corte (cm ²)	20.27	20.27	20.27
σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.6
τ (kg/cm ²)	0.65	0.87	1.31

Cohesión = 0.428 kg/cm ²
Ángulo de fricción interna = 29° 18' 04"


Laboratorio de Suelos y Materiales
 PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
 Sergio Ivan Liendo Vargas
 Ingeniero Civil



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Muestra: SUELO ARCILLOSO + 0.6% FIBRAS PP

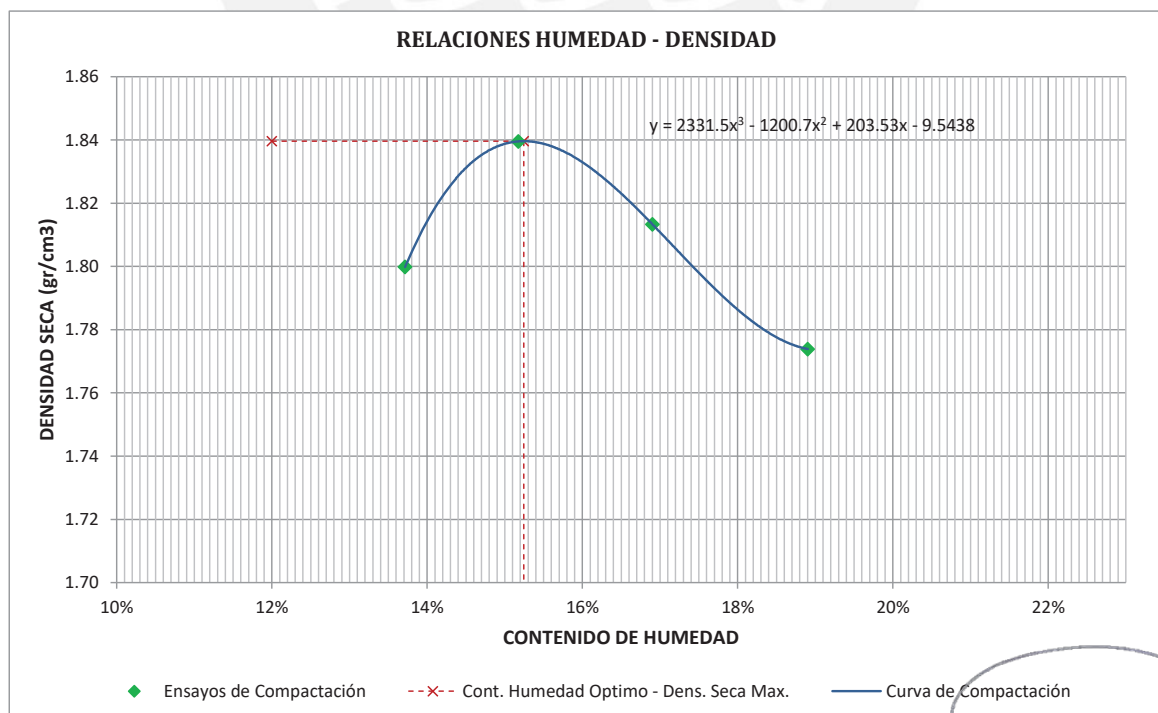
Fecha: Dic-22

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO, UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA

MTC E 115, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

DATOS PRELIMINARES	
Método = A	
Número de capas = 5	
Número de golpes por capa = 25	
Masa del pisón = 4.54 Kg	
Altura de caída del pisón = 45.72 cm	

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Proctor Utilizado	P-4	P-4	P-4	P-4
Diámetro del Molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	943.96	943.96	943.96	943.96
Peso del Molde (gr)	3,570.00	3,570.00	3,570.00	3,570.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,502.00	5,570.00	5,571.00	5,561.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1932.00	2000.00	2001.00	1991.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	1698.98	1736.47	1711.69	1674.47
Densidad Seca (gr/cm³)	1.80	1.84	1.81	1.77
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	19.07	10.48	14.96	15.41
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	75.45	62.39	74.58	84.60
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	68.65	55.55	65.96	73.60
Peso del Agua (gr)	6.80	6.84	8.62	11.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	49.58	45.07	51.00	58.19
Contenido de Humedad	13.72%	15.18%	16.90%	18.90%



DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1.84 gr/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 15.24%


Laboratorio de Suelos y Materiales
 PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.

Sergio Ivan Liendo Vargas
 Ingeniero Civil



Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

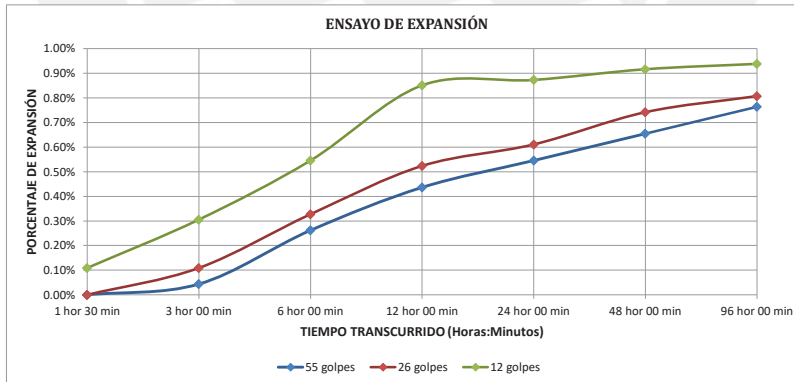
Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Muestra: SUELO ARCILLOSO + 0.6% FIBRAS PP
 Fecha: Dic-22

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
 MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 1.84 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 15.24% Contenido Humedad Natural = 18.73%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = +1.20E+01 +3.3E+00 *X Área del Pistón = 19.35 cm2	+0.00E+00 *X ²	+0.0E+00 *X ² (kg)
		Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	11.66	19.31	20.04	19.17	18.22	19.26
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	70.22	76.44	83.06	70.15	72.43	77.03
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	62.45	67.81	74.79	61.97	65.22	67.68
Peso del Agua (gr)	7.77	8.63	8.27	8.18	7.21	9.35
Peso de la Muestra Seca (gr)	50.79	48.50	54.75	42.80	47.00	48.42
Contenido de Humedad	15.30%	17.79%	15.11%	19.11%	15.34%	19.31%
Porcentaje de Absorción	-	2.50%	-	4.01%	-	3.97%
Peso del Molde (gr)	7389		7785		7135	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11896	11978	12160	12289	11268	11486
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4507	4589	4375	4504	4133	4351
Peso de la Muestra Seca (gr)	3908.99		3800.88		3583.31	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	82	-	129	-	218
Porcentaje de Absorción	-	2.10%	-	3.39%	-	6.08%
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.12	2.14	2.06	2.10	1.95	2.03
Densidad Seca (gr/cm3)	1.84	1.83	1.79	1.78	1.69	1.67

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	5	0.005	0.127	0.11%
0.125	3 hor 00 min	2	0.002	0.051	0.04%	5	0.005	0.127	0.11%	14	0.014	0.356	0.31%
0.25	6 hor 00 min	12	0.012	0.305	0.26%	15	0.015	0.381	0.33%	25	0.025	0.635	0.55%
0.5	12 hor 00 min	20	0.02	0.508	0.44%	24	0.024	0.610	0.52%	39	0.039	0.991	0.85%
1	24 hor 00 min	25	0.025	0.635	0.55%	28	0.028	0.711	0.61%	40	0.04	1.016	0.87%
2	48 hor 00 min	30	0.03	0.762	0.65%	34	0.034	0.864	0.74%	42	0.042	1.067	0.92%
4	96 hor 00 min	35	0.035	0.889	0.76%	37	0.037	0.940	0.81%	43	0.043	1.092	0.94%



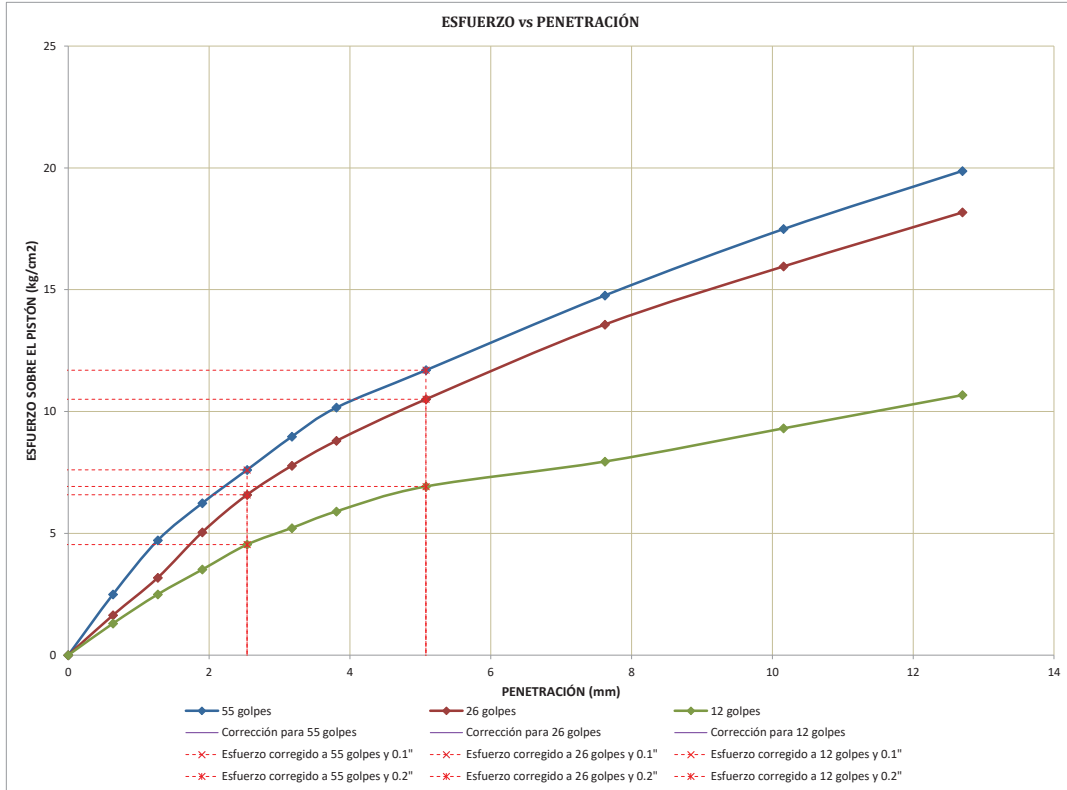
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
0	0.000	0	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	11	11	48.26	2.49		6	31.76	1.64		4	25.17	1.30	
50	1.270	24	24	91.14	4.71		15	61.45	3.17		11	48.26	2.49	
75	1.905	33	33	120.82	6.24		26	97.73	5.05		17	68.05	3.52	
70.31	2.540	41	41	147.21	7.61	10.82%	35	127.42	6.58	9.36%	23	87.84	4.54	6.45%
125	3.175	49	49	173.60	8.97		42	150.51	7.78		27	101.03	5.22	
150	3.810	56	56	196.68	10.16		48	170.30	8.80		31	114.22	5.90	
105.46	5.080	65	65	226.37	11.70	11.09%	58	203.28	10.50	9.96%	37	134.01	6.92	6.57%
300	7.620	83	83	285.74	14.76		76	262.65	13.57		43	153.81	7.95	
400	10.160	99	99	338.52	17.49		90	308.83	15.96		51	180.19	9.31	
500	12.700	113	113	384.69	19.88		103	351.71	18.17		59	206.58	10.67	



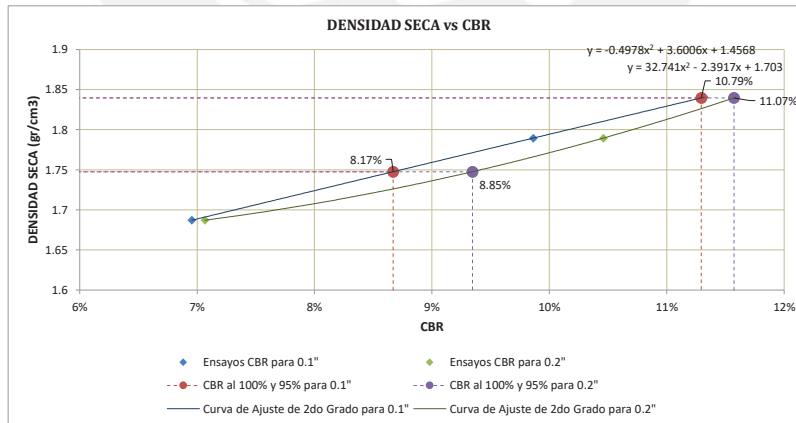
Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Muestra: SUELO ARCILLOSO + 0.6% FIBRAS PP
 Fecha: Dic-22

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
 MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193



CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg
kg/cm ²	2.540	7.61	10.82%	2.540	6.58	9.36%	2.540	4.54	6.45%
	105.46	5.080	11.70	5.080	10.50	9.96%	5.080	6.92	6.57%



Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	10.82%	11.09%	1.84 gr/cm ³
26	9.36%	9.96%	1.79 gr/cm ³
12	6.45%	6.57%	1.69 gr/cm ³

Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	1.84
95% de la DSM (gr/cm ³)	1.75

CBR al 100% de la DSM	10.79%	11.07%
CBR al 95% de la DSM	8.17%	8.85%

**PRO&CON SILVER S.C.R.L.**

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Muestra: Suelo reforzado + 0.6% PP

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Calicata: -

Fecha: Dic-22

Profundidad: -

CORTE DIRECTO

MTC E 123 , Basado en la Norma ASTM D-3080 y AASHTO T-236

DIMENSIONES DE LA MUESTRA	
Diámetro =	50.80 mm
Altura L_0 =	21.50 mm
Área =	20.27 cm ²
Volumen =	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LAS MUESTRAS			
Muestras	M-01	M-02	M-03
Peso	92.10 gr	92.01 gr	92.15 gr
Peso Unitario húmedo	2.11 gr/cm ³	2.11 gr/cm ³	2.11 gr/cm ³
Contenido de Humedad	15.21%	15.26%	15.23%
Peso Unitario seco	1.83 gr/cm ³	1.83 gr/cm ³	1.84 gr/cm ³

Velocidad de Deformación Horizontal = 0.50 mm/min

DEFORMÍMETRO DE LONGITUD DE CORTE	LECTURA DE CARGA HORIZONTAL			DEFORMÍMETRO DE LONGITUD VERTICAL			FUERZA DE CORTE HORIZONTAL			ESFUERZO CORTANTE τ		
	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03
mm	N			mm			kg			kg/cm ²		
0.20	12.0	45.0	53.0	0.004	0.005	0.012	1.22	4.59	5.40	0.06	0.23	0.27
0.40	19.3	57.8	71.8	0.009	0.012	0.022	1.97	5.90	7.32	0.10	0.29	0.36
0.60	25.9	80.4	97.6	0.010	0.018	0.040	2.64	8.19	9.95	0.13	0.40	0.49
0.80	36.8	101.8	117.0	0.018	0.025	0.050	3.75	10.38	11.93	0.19	0.51	0.59
1.00	51.9	121.2	133.1	0.021	0.036	0.059	5.30	12.36	13.58	0.26	0.61	0.67
1.50	96.9	150.2	163.8	0.029	0.042	0.062	9.88	15.31	16.70	0.49	0.76	0.82
2.00	114.9	149.5	180.0	0.035	0.051	0.096	11.72	15.25	18.36	0.58	0.75	0.91
2.50	87.9	142.2	190.4	0.036	0.059	0.120	8.97	14.50	19.42	0.44	0.72	0.96
3.00	81.2	140.8	198.1	0.041	0.074	0.142	8.28	14.36	20.20	0.41	0.71	1.00
3.50	78.7	139.9	203.4	0.046	0.085	0.168	8.02	14.26	20.74	0.40	0.70	1.02
4.00	76.3	138.3	207.6	0.052	0.121	0.191	7.78	14.10	21.17	0.38	0.70	1.04
4.50	74.8	135.8	214.8	0.056	0.145	0.210	7.62	13.85	21.90	0.38	0.68	1.08
5.00	73.9	134.7	220.4	0.059	0.185	0.230	7.54	13.73	22.47	0.37	0.68	1.11
5.50	73.6	133.3	223.9	0.062	0.198	0.248	7.51	13.59	22.83	0.37	0.67	1.13
6.00	73.1	131.7	226.7	0.069	0.206	0.254	7.45	13.43	23.11	0.37	0.66	1.14
6.50	73.1	129.5	228.9	0.071	0.219	0.285	7.45	13.21	23.34	0.37	0.65	1.15
7.00	73.4	127.0	232.1	0.076	0.235	0.301	7.48	12.95	23.67	0.37	0.64	1.17
7.50	73.4	124.6	235.1	0.078	0.250	0.310	7.48	12.71	23.97	0.37	0.63	1.18
8.00	73.5	123.2	236.3	0.084	0.255	0.325	7.49	12.56	24.10	0.37	0.62	1.19
8.50	73.6	121.7	236.2	0.090	0.258	0.336	7.51	12.41	24.08	0.37	0.61	1.19
9.00	73.4	120.5	233.2	0.093	0.260	0.345	7.48	12.29	23.78	0.37	0.61	1.17
9.50	73.2	119.0	233.1	0.095	0.261	0.351	7.47	12.13	23.77	0.37	0.60	1.17
10.00	72.8	117.3	232.0	0.098	0.262	0.360	7.42	11.96	23.66	0.37	0.59	1.17



Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.

Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

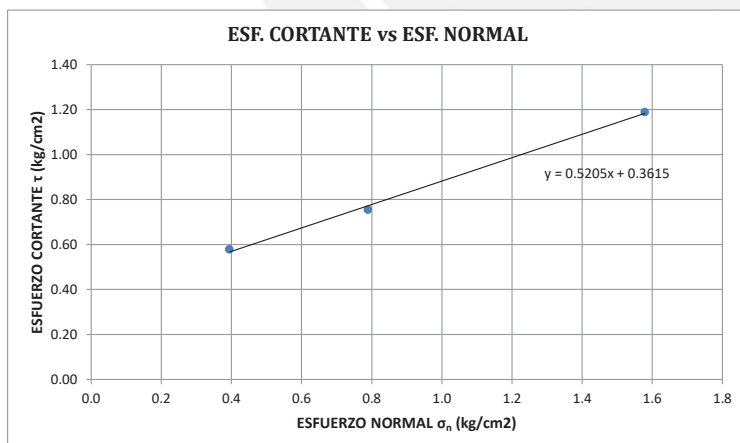
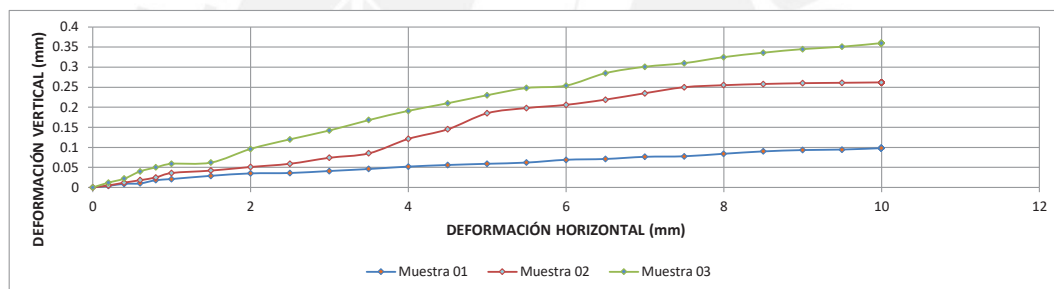
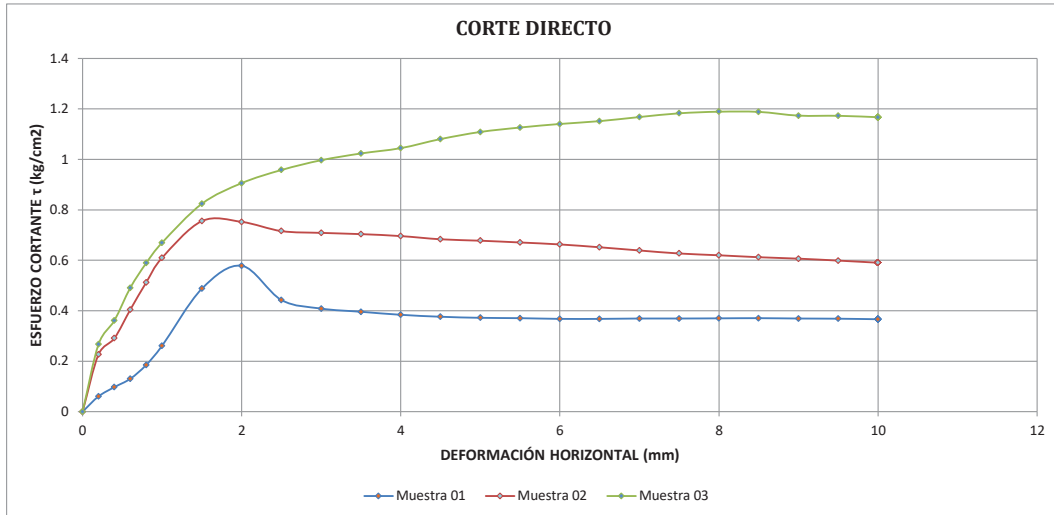
- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO
 Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Fecha: Dic-22

Muestra: Suelo reforzado + 0.6% PP
 Calicata: -
 Profundidad: -

CORTE DIRECTO

MTC E 123 , Basado en la Norma ASTM D-3080 y AASHTO T-236



Muestras	M-01	M-02	M-03
Carga Vertical (kg)	8.00	16.00	32.00
Area en Corte (cm ²)	20.27	20.27	20.27
σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.6
τ (kg/cm ²)	0.58	0.76	1.19

Cohesión = 0.362 kg/cm ²
Ángulo de fricción interna = 27° 29' 56"

Laboratorio de Suelos y Materiales
 PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.

Sergio Ivan Liendo Vargas
 Ingeniero Civil



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Muestra: SUELO ARCILLOSO + 0.9% FIBRAS PP

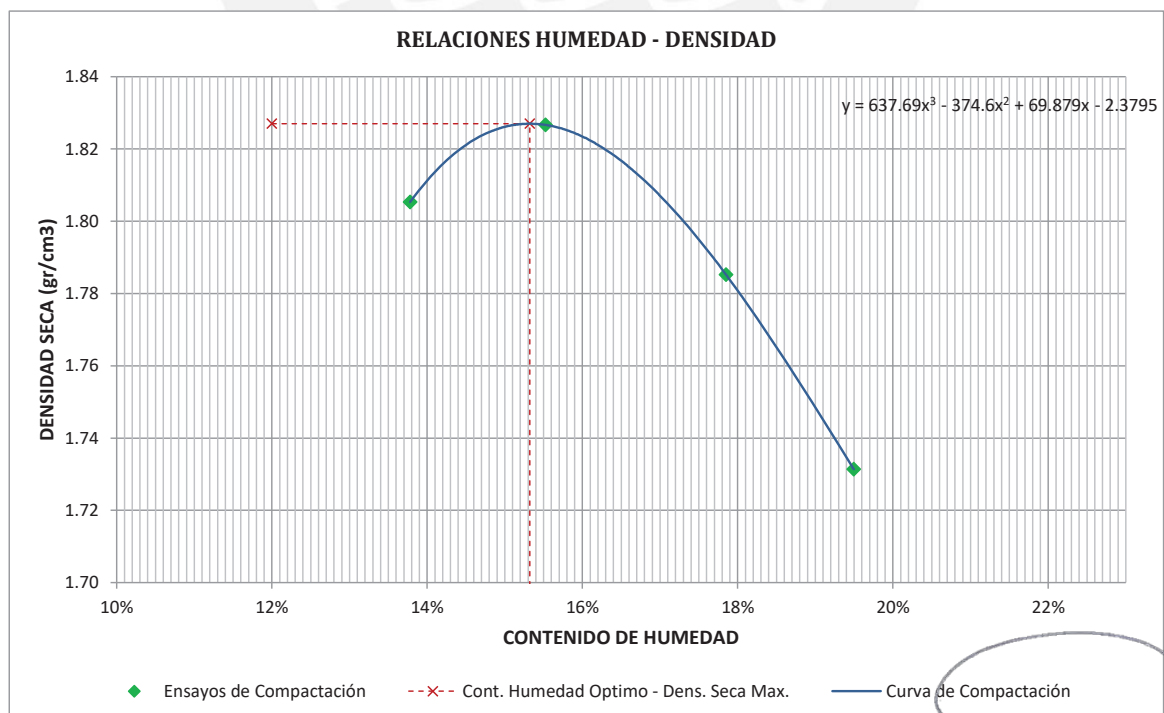
Fecha: Dic-22

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO, UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA

MTC E 115, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

DATOS PRELIMINARES	
Método = A	
Número de capas = 5	
Número de golpes por capa = 25	
Masa del pisón = 4.54 Kg	
Altura de caída del pisón = 45.72 cm	

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Proctor Utilizado	P-4	P-4	P-4	P-4
Diámetro del Molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	943.96	943.96	943.96	943.96
Peso del Molde (gr)	3,570.00	3,570.00	3,570.00	3,570.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,509.00	5,562.00	5,556.00	5,523.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1939.00	1992.00	1986.00	1953.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	1704.15	1724.30	1685.21	1634.35
Densidad Seca (gr/cm³)	1.81	1.83	1.79	1.73
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	18.66	16.28	16.15	15.42
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	80.50	83.25	86.93	85.23
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	73.01	74.25	76.21	73.84
Peso del Agua (gr)	7.49	9.00	10.72	11.39
Peso de la Muestra Seca (gr)	54.35	57.97	60.06	58.42
Contenido de Humedad	13.78%	15.53%	17.85%	19.50%



DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1.83 gr/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 15.32%



Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

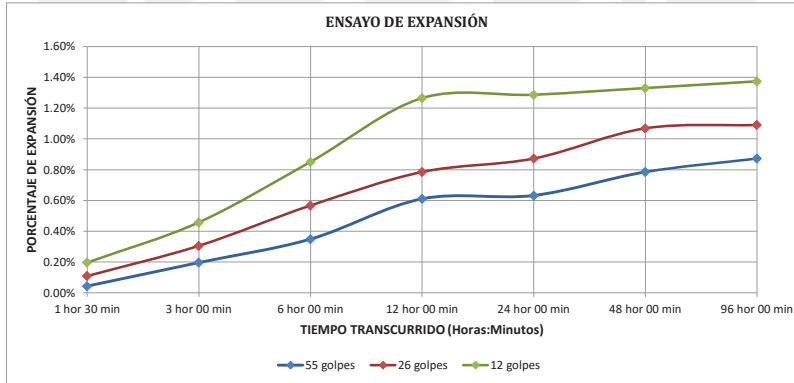
Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Muestra: SUELO ARCILLOSO + 0.9% FIBRAS PP
 Fecha: Dic-22

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
 MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO			DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN			DATOS DEL MOLDE		
Densidad Seca Máxima = 1.83 cm3			Peso del Martillo = 4.54 Kg			Diámetro del Molde = 15.24 cm		
Contenido Humedad Óptimo = 15.32%			Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm			Altura del Molde = 17.78 cm		
Contenido Humedad Natural = 18.73%			Número de Capas = 5			Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm		
						Altura de la Muestra = 11.64 cm		
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN								
Constante del Anillo de Carga = +1.20E+01 +3.3E+00 *X			+0.00E+00 *X ²			+0.0E+00 *X ² (KN)		
Área del Pistón = 19.35 cm2						Área = 182.41 cm2		
						Volumen = 2123.92 cm3		

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	19.17	18.81	11.85	19.33	16.45	11.64
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	76.77	84.34	61.58	84.49	70.48	69.86
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	69.16	74.74	55.02	74.20	63.22	60.32
Peso del Agua (gr)	7.61	9.60	6.56	10.29	7.26	9.54
Peso de la Muestra Seca (gr)	49.99	55.93	43.17	54.87	46.77	48.68
Contenido de Humedad	15.22%	17.16%	15.20%	18.75%	15.52%	19.60%
Porcentaje de Absorción	-	1.94%	-	3.56%	-	4.07%
Peso del Molde (gr)	7516		7235		7309	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11995	12149	11488	11723	11289	11592
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4479	4633	4253	4488	3980	4283
Peso de la Muestra Seca (gr)	3887.24		3691.98		3445.21	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	154	-	235	-	303
Porcentaje de Absorción	-	3.96%	-	6.37%	-	8.79%
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.11	2.16	2.00	2.09	1.87	1.99
Densidad Seca (gr/cm3)	1.83	1.81	1.74	1.72	1.62	1.60

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Días	Tiempo Transcurrido	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de
	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	2	0.002	0.051	0.04%	5	0.005	0.127	0.11%	9	0.009	0.229	0.20%
0.125	3 hor 00 min	9	0.009	0.229	0.20%	14	0.014	0.356	0.31%	21	0.021	0.533	0.46%
0.25	6 hor 00 min	16	0.016	0.406	0.35%	26	0.026	0.660	0.57%	39	0.039	0.991	0.85%
0.5	12 hor 00 min	28	0.028	0.711	0.61%	36	0.036	0.914	0.79%	58	0.058	1.473	1.27%
1	24 hor 00 min	29	0.029	0.737	0.63%	40	0.04	1.016	0.87%	59	0.059	1.499	1.29%
2	48 hor 00 min	36	0.036	0.914	0.79%	49	0.049	1.245	1.07%	61	0.061	1.549	1.33%
4	96 hor 00 min	40	0.04	1.016	0.87%	50	0.05	1.270	1.09%	63	0.063	1.600	1.37%



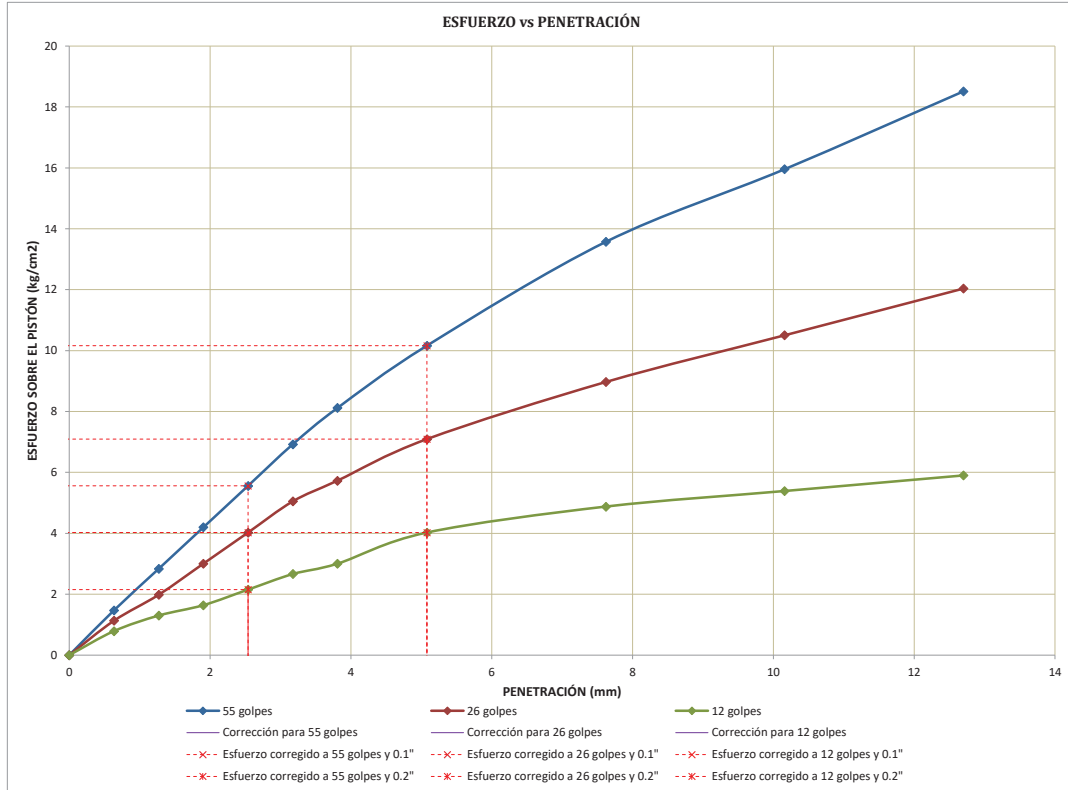
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
0	0.000	0	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	5	5	28.47	1.47		3	21.87	1.13		1	15.27	0.79	
50	1.270	13	13	54.85	2.83		8	38.36	1.98		4	25.17	1.30	
75	1.905	21	21	81.24	4.20		14	58.15	3.00		6	31.76	1.64	
70.31	2.540	29	29	107.63	5.56	7.91%	20	77.94	4.03	5.73%	9	41.66	2.15	3.06%
125	3.175	37	37	134.01	6.92		26	97.73	5.05		12	51.55	2.66	
150	3.810	44	44	157.10	8.12		30	110.93	5.73		14	58.15	3.00	
105.46	5.080	56	56	196.68	10.16	9.64%	38	137.31	7.09	6.73%	20	77.94	4.03	3.82%
300	7.620	76	76	262.65	13.57		49	173.60	8.97		25	94.43	4.88	
400	10.160	90	90	308.83	15.96		58	203.28	10.50		28	104.83	5.39	
500	12.700	105	105	358.31	18.51		67	232.97	12.04		31	114.22	5.90	



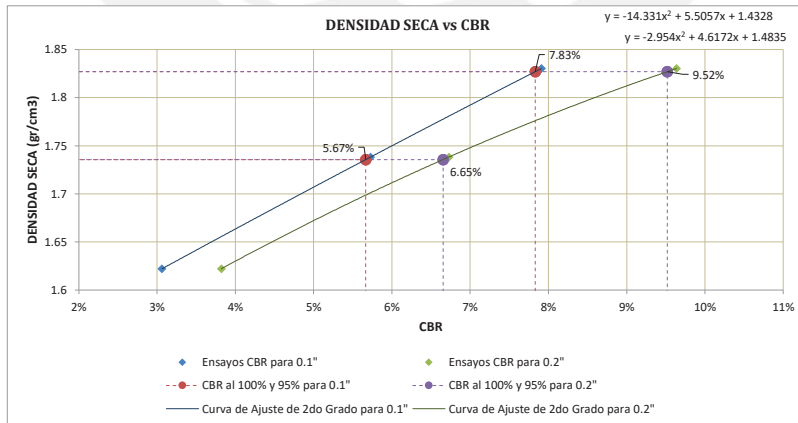
Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Muestra: SUELO ARCILLOSO + 0.9% FIBRAS PP
 Fecha: Dic-22

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
 MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193



CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
	Penetr. Patrón	Esfuer. Correg	CBR Correg	Penetr. Patrón	Esfuer. Correg	CBR Correg	Penetr. Patrón	Esfuer. Correg	CBR Correg
kg/cm2	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	2.540	5.56	7.91%	2.540	4.03	5.73%	2.540	2.15	3.06%
105.46	5.080	10.16	9.64%	5.080	7.09	6.73%	5.080	4.03	3.82%



Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	7.91%	9.64%	1.83 gr/cm3
26	5.73%	6.73%	1.74 gr/cm3
12	3.06%	3.82%	1.62 gr/cm3

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.83
95% de la DSM (gr/cm3)	1.74

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	7.83%	9.52%
CBR al 95% de la DSM	5.67%	6.65%



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Muestra: Suelo reforzado + 0.9% PP

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Calicata: -

Fecha: Dic-22

Profundidad: -

CORTE DIRECTO

MTC E 123 , Basado en la Norma ASTM D-3080 y AASHTO T-236

DIMENSIONES DE LA MUESTRA	
Diámetro =	50.80 mm
Altura L_0 =	21.50 mm
Área =	20.27 cm ²
Volumen =	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LAS MUESTRAS			
Muestras	M-01	M-02	M-03
Peso	91.41 gr	91.24 gr	91.20 gr
Peso Unitario húmedo	2.10 gr/cm ³	2.09 gr/cm ³	2.09 gr/cm ³
Contenido de Humedad	15.18%	15.28%	15.30%
Peso Unitario seco	1.82 gr/cm ³	1.82 gr/cm ³	1.82 gr/cm ³

Velocidad de Deformación Horizontal = 0.50 mm/min

DEFORMÍMETRO DE LONGITUD DE CORTE mm	LECTURA DE CARGA HORIZONTAL			DEFORMÍMETRO DE LONGITUD VERTICAL			FUERZA DE CORTE HORIZONTAL			ESFUERZO CORTANTE τ		
	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03
	N			mm			kg			kg/cm ²		
0.20	34.3	43.7	61.0	0.002	0.015	0.018	3.49	4.45	6.22	0.17	0.22	0.31
0.40	62.4	72.9	87.4	0.003	0.025	0.036	6.37	7.43	8.91	0.31	0.37	0.44
0.60	97.1	101.9	143.2	0.005	0.032	0.065	9.90	10.39	14.60	0.49	0.51	0.72
0.80	111.3	119.7	188.6	0.008	0.041	0.085	11.35	12.20	19.23	0.56	0.60	0.95
1.00	113.3	134.3	200.1	0.009	0.065	0.100	11.56	13.69	20.41	0.57	0.68	1.01
1.50	112.5	149.8	216.8	0.011	0.075	0.120	11.47	15.28	22.11	0.57	0.75	1.09
2.00	109.8	149.1	228.2	0.015	0.098	0.156	11.19	15.20	23.27	0.55	0.75	1.15
2.50	106.1	146.8	229.3	0.019	0.115	0.178	10.81	14.97	23.38	0.53	0.74	1.15
3.00	102.4	143.5	231.3	0.025	0.136	0.200	10.44	14.64	23.59	0.51	0.72	1.16
3.50	100.6	142.0	232.2	0.038	0.157	0.221	10.26	14.48	23.67	0.51	0.71	1.17
4.00	98.2	140.2	234.1	0.045	0.193	0.242	10.01	14.30	23.87	0.49	0.71	1.18
4.50	98.0	137.6	236.4	0.047	0.204	0.261	9.99	14.03	24.10	0.49	0.69	1.19
5.00	96.9	137.0	235.1	0.054	0.215	0.270	9.88	13.97	23.98	0.49	0.69	1.18
5.50	95.6	136.5	234.4	0.058	0.221	0.286	9.75	13.92	23.91	0.48	0.69	1.18
6.00	93.5	135.4	234.0	0.061	0.236	0.304	9.53	13.81	23.86	0.47	0.68	1.18
6.50	92.2	128.6	232.5	0.069	0.242	0.311	9.40	13.12	23.71	0.46	0.65	1.17
7.00	90.0	128.6	232.2	0.074	0.255	0.330	9.17	13.12	23.67	0.45	0.65	1.17
7.50	89.3	128.4	232.0	0.084	0.260	0.345	9.11	13.09	23.66	0.45	0.65	1.17
8.00	87.7	129.5	227.8	0.090	0.263	0.365	8.94	13.21	23.23	0.44	0.65	1.15
8.50	88.0	129.4	226.4	0.104	0.274	0.387	8.98	13.19	23.09	0.44	0.65	1.14
9.00	88.2	127.7	225.4	0.109	0.279	0.398	8.99	13.02	22.98	0.44	0.64	1.13
9.50	86.9	126.0	224.1	0.112	0.300	0.415	8.86	12.85	22.85	0.44	0.63	1.13
10.00	85.0	126.0	223.1	0.117	0.300	0.456	8.66	12.85	22.75	0.43	0.63	1.12

MCMXVII


Laboratorio de Suelos y Materiales
 PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
 Sergio Ivan Liendo Vargas
 Ingeniero Civil



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Muestra: Suelo reforzado + 0.9% PP

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

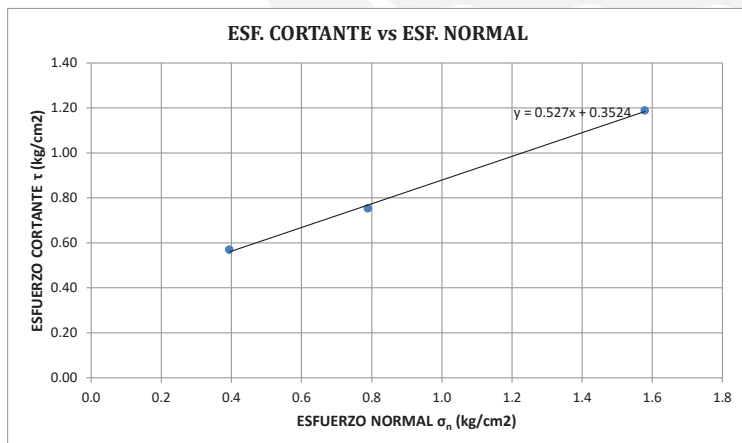
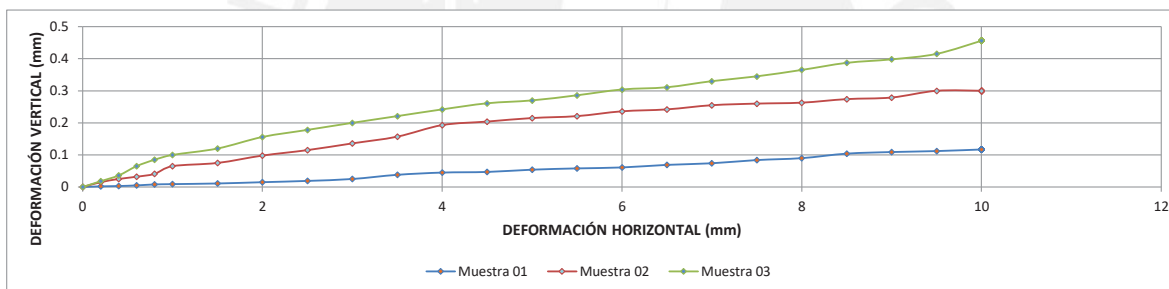
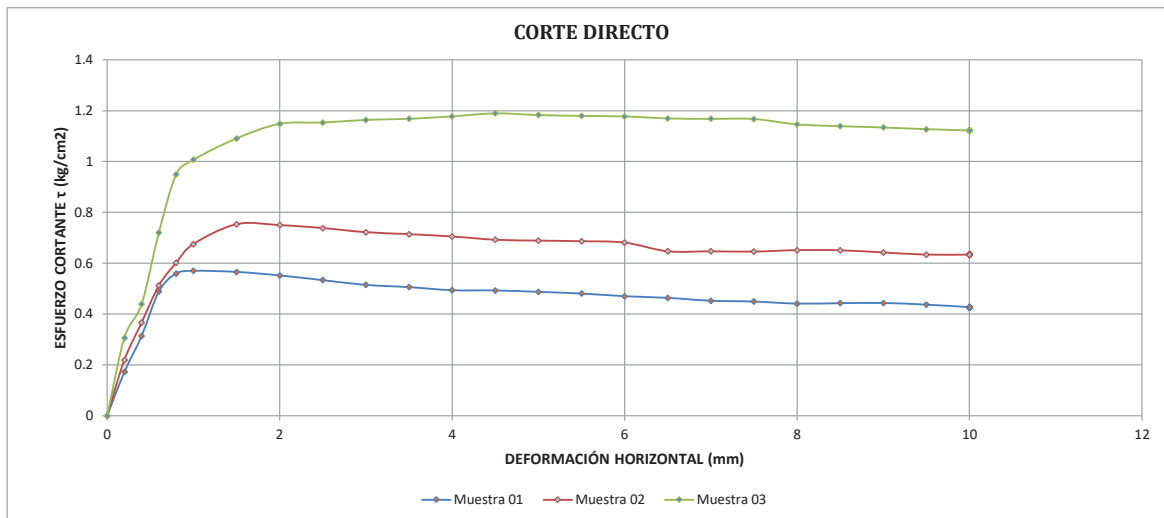
Calicata: -

Fecha: Dic-22

Profundidad: -

CORTE DIRECTO

MTC E 123 , Basado en la Norma ASTM D-3080 y AASHTO T-236



Muestras	M-01	M-02	M-03
Carga Vertical (kg)	8.00	16.00	32.00
Area en Corte (cm ²)	20.27	20.27	20.27
σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.6
τ (kg/cm ²)	0.57	0.75	1.19

Cohesión = 0.352 kg/cm²
 Ángulo de fricción interna = 27° 47' 19"

Laboratorio de Suelos y Materiales
 PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
 Sergio Ivan Liendo Vargas
 Ingeniero Civil



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Muestra: SUELO ARCILLOSO + 1.2% FIBRAS PP

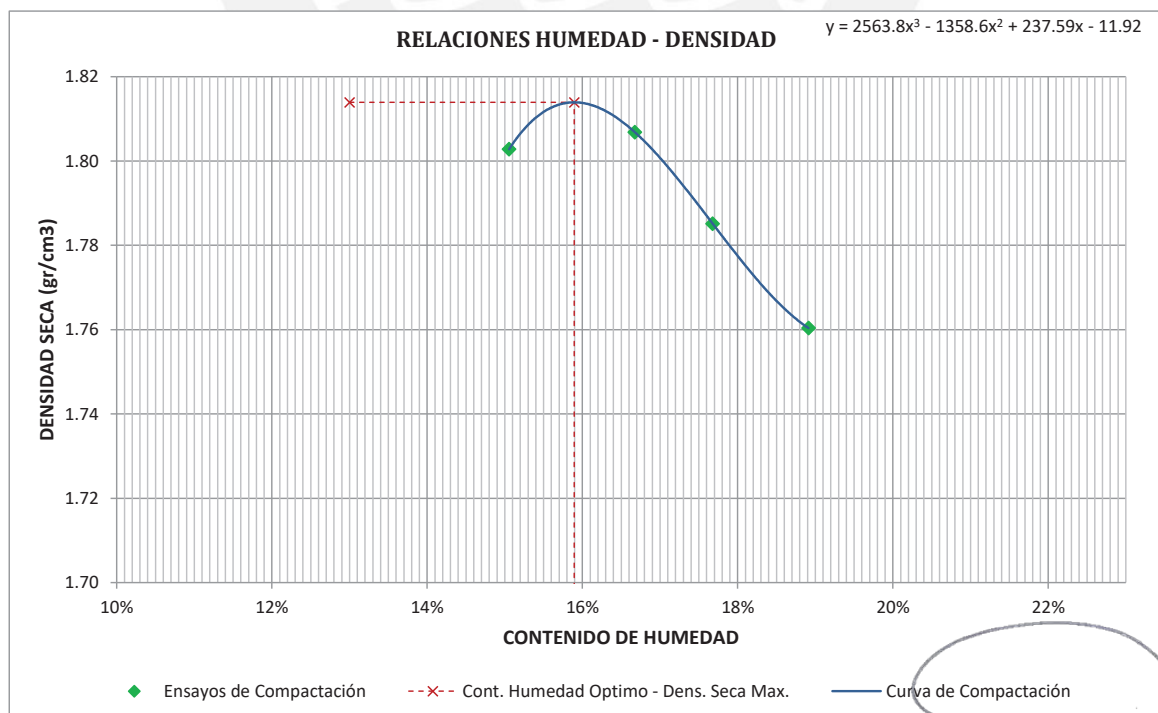
Fecha: Dic-22

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO, UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA

MTC E 115, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

DATOS PRELIMINARES	
Método =	A
Número de capas =	5
Número de golpes por capa =	25
Masa del pisón =	4.54 Kg
Altura de caída del pisón =	45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Proctor Utilizado	P-4	P-4	P-4	P-4
Diámetro del Molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm3)	943.96	943.96	943.96	943.96
Peso del Molde (gr)	3,570.00	3,570.00	3,570.00	3,570.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,528.00	5,560.00	5,553.00	5,546.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1958.00	1990.00	1983.00	1976.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	1701.80	1705.60	1685.10	1661.73
Densidad Seca (gr/cm3)	1.80	1.81	1.79	1.76
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	19.37	15.65	15.26	16.22
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	72.79	64.77	76.50	71.55
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	65.80	57.75	67.30	62.75
Peso del Agua (gr)	6.99	7.02	9.20	8.80
Peso de la Muestra Seca (gr)	46.43	42.10	52.04	46.53
Contenido de Humedad	15.05%	16.67%	17.68%	18.91%



DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1.81 gr/cm3
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 15.89%

Laboratorio de Suelos y Materiales
 PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.

Sergio Ivan Liendo Vargas
 Ingeniero Civil



Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

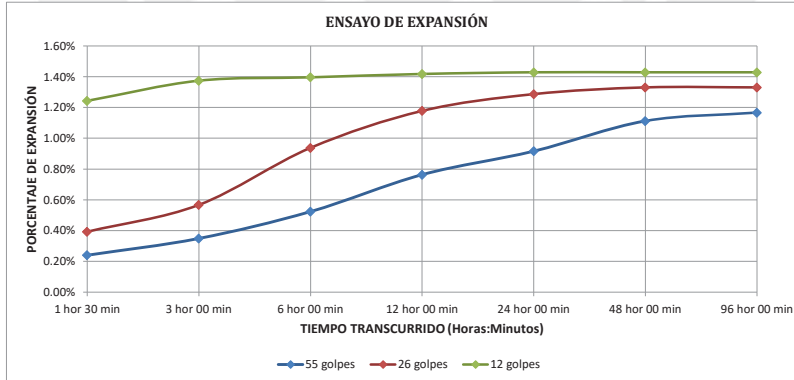
Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Muestra: SUELO ARCILLOSO + 1.2% FIBRAS PP
 Fecha: Dic-22

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
 MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 1.81 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 15.89% Contenido Humedad Natural = 18.73%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = +1.20E+01 +3.3E+00 *X Área del Pistón = 19.35 cm2	+0.00E+00 *X ²	+0.0E+00 *X ² (KN) Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	19.21	19.45	18.47	18.24	18.08	19.18
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	77.87	81.01	66.89	79.82	80.70	89.40
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	69.85	72.13	60.42	70.26	72.35	76.86
Peso del Agua (gr)	8.02	8.88	6.47	9.56	8.35	12.54
Peso de la Muestra Seca (gr)	50.64	52.68	41.95	52.02	54.27	57.68
Contenido de Humedad	15.84%	16.86%	15.42%	18.38%	15.39%	21.74%
Porcentaje de Absorción	-	1.02%	-	2.95%	-	6.35%
Peso del Molde (gr)	7034		7686		7104	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11514	11651	11962	12178	11038	11370
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4480	4617	4276	4492	3934	4266
Peso de la Muestra Seca (gr)	3867.49		3704.63		3409.42	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	137	-	216	-	332
Porcentaje de Absorción	-	3.54%	-	5.83%	-	9.74%
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.11	2.15	2.01	2.09	1.85	1.98
Densidad Seca (gr/cm3)	1.82	1.80	1.74	1.72	1.61	1.58

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	11	0.011	0.279	0.24%	18	0.018	0.457	0.39%	57	0.057	1.448	1.24%
0.125	3 hor 00 min	16	0.016	0.406	0.35%	26	0.026	0.660	0.57%	63	0.063	1.600	1.37%
0.25	6 hor 00 min	24	0.024	0.610	0.52%	43	0.043	1.092	0.94%	64	0.064	1.626	1.40%
0.5	12 hor 00 min	35	0.035	0.889	0.76%	54	0.054	1.372	1.18%	65	0.065	1.651	1.42%
1	24 hor 00 min	42	0.042	1.067	0.92%	59	0.059	1.499	1.29%	65.5	0.0655	1.664	1.43%
2	48 hor 00 min	51	0.051	1.295	1.11%	61	0.061	1.549	1.33%	65.5	0.0655	1.664	1.43%
4	96 hor 00 min	53.5	0.0535	1.359	1.17%	61	0.061	1.549	1.33%	65.5	0.0655	1.664	1.43%



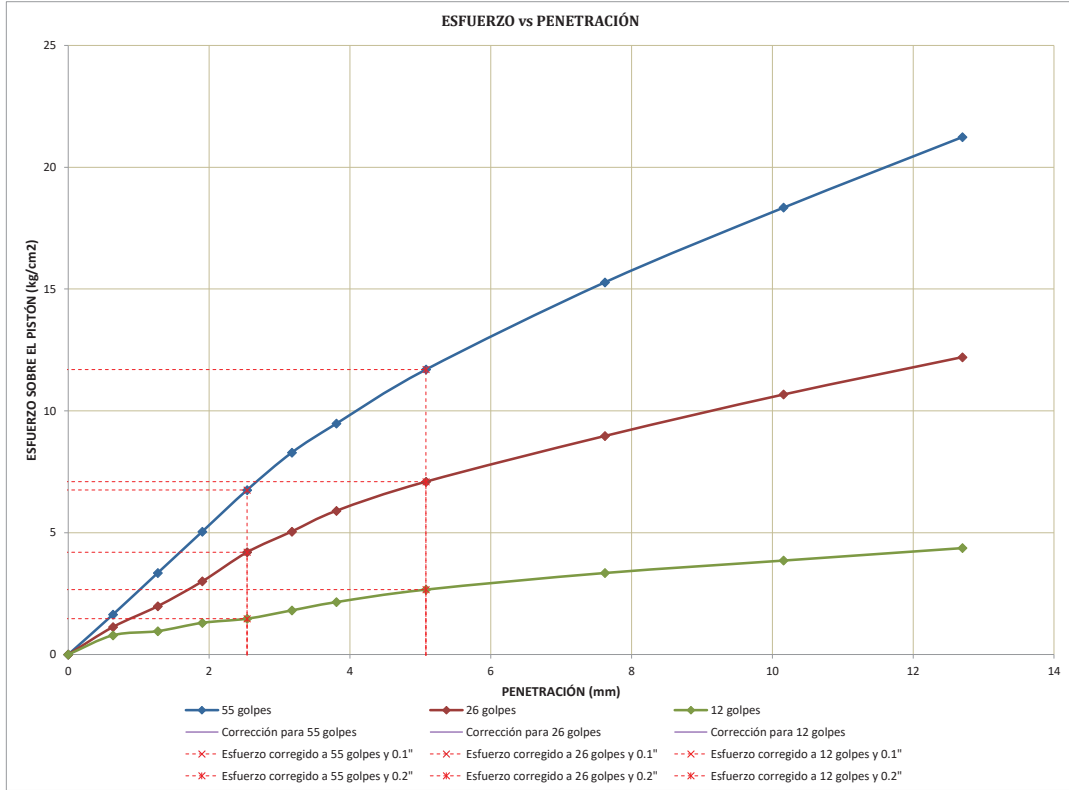
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
0	0.000		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	6	31.76	1.64			3	21.87	1.13		1	15.27	0.79	
50	1.270	16	64.75	3.35			8	38.36	1.98		2	18.57	0.96	
75	1.905	26	97.73	5.05			14	58.15	3.00		4	25.17	1.30	
100	2.540	36	130.72	6.75	9.61%		21	81.24	4.20	5.97%	5	28.47	1.47	2.09%
125	3.175	45	160.40	8.29			26	97.73	5.05		7	35.06	1.81	
150	3.810	52	183.49	9.48			31	114.22	5.90		9	41.66	2.15	
200	5.080	65	226.37	11.70	11.09%		38	137.31	7.09	6.73%	12	51.55	2.66	2.53%
300	7.620	86	295.64	15.27			49	173.60	8.97		16	64.75	3.25	
400	10.160	104	355.01	18.34			59	206.58	10.67		19	74.64	3.86	
500	12.700	121	411.08	21.24			68	236.27	12.21		22	84.84	4.37	



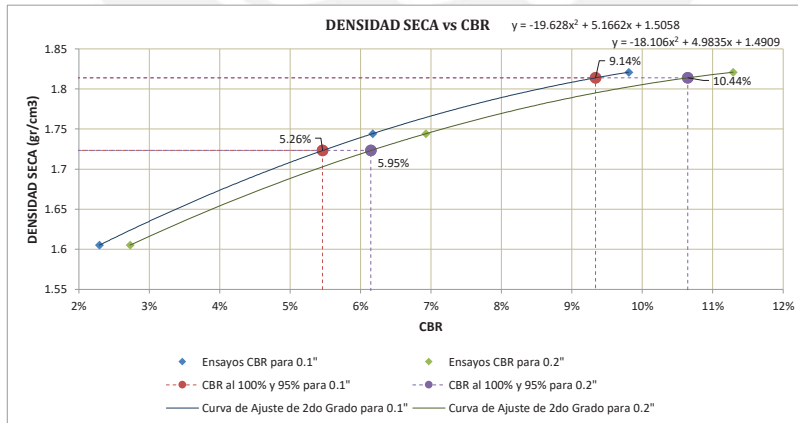
Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE
 Muestra: SUELO ARCILLOSO + 1.2% FIBRAS PP
 Fecha: Dic-22

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
 MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193



CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg
Carga Unitaria Patrón	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	2.540	6.75	9.61%	2.540	4.20	5.97%	2.540	1.47	2.09%
105.46	5.080	11.70	11.09%	5.080	7.09	6.73%	5.080	2.66	2.53%



Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	9.61%	11.09%	1.82 gr/cm3
26	5.97%	6.73%	1.74 gr/cm3
12	2.09%	2.53%	1.61 gr/cm3

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.81
95% de la DSM (gr/cm3)	1.72

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	9.14%	10.44%
CBR al 95% de la DSM	5.26%	5.95%

**PRO&CON SILVER S.C.R.L.****- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.**

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Fecha: Dic-22

Muestra: Suelo reforzado + 1.2% PP

Calicata: -

Profundidad: -

CORTE DIRECTO

MTC E 123, Basado en la Norma ASTM D-3080 y AASHTO T-236

DIMENSIONES DE LA MUESTRA	
Diámetro =	50.80 mm
Altura L_0 =	21.50 mm
Área =	20.27 cm ²
Volumen =	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LAS MUESTRAS			
Muestras	M-01	M-02	M-03
Peso	91.03 gr	91.05 gr	90.98 gr
Peso Unitario húmedo	2.09 gr/cm ³	2.09 gr/cm ³	2.09 gr/cm ³
Contenido de Humedad	15.69%	15.79%	15.81%
Peso Unitario seco	1.81 gr/cm ³	1.80 gr/cm ³	1.80 gr/cm ³

Velocidad de Deformación Horizontal = 0.50 mm/min

DEFORMÍMETRO DE LONGITUD DE CORTE	LECTURA DE CARGA HORIZONTAL			DEFORMÍMETRO DE LONGITUD VERTICAL			FUERZA DE CORTE HORIZONTAL			ESFUERZO CORTANTE τ		
	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03
mm	N			mm			kg			kg/cm ²		
0.20	33.2	48.5	54.6	0.002	0.020	0.030	3.39	4.95	5.57	0.17	0.24	0.27
0.40	49.0	66.8	81.5	0.003	0.030	0.045	4.99	6.81	8.31	0.25	0.34	0.41
0.60	60.6	90.8	103.7	0.004	0.033	0.065	6.18	9.26	10.57	0.31	0.46	0.52
0.80	79.7	112.2	134.8	0.005	0.044	0.089	8.13	11.44	13.74	0.40	0.56	0.68
1.00	92.7	132.2	167.0	0.008	0.051	0.094	9.45	13.48	17.03	0.47	0.66	0.84
1.50	101.2	147.5	206.5	0.010	0.068	0.123	10.32	15.04	21.06	0.51	0.74	1.04
2.00	93.6	142.8	226.5	0.012	0.090	0.145	9.54	14.56	23.10	0.47	0.72	1.14
2.50	88.4	133.2	225.4	0.015	0.122	0.168	9.01	13.58	22.98	0.44	0.67	1.13
3.00	83.9	123.8	212.0	0.022	0.152	0.201	8.56	12.62	21.62	0.42	0.62	1.07
3.50	82.5	119.6	203.1	0.029	0.174	0.245	8.41	12.20	20.71	0.41	0.60	1.02
4.00	82.5	118.0	200.0	0.036	0.198	0.269	8.41	12.03	20.39	0.41	0.59	1.01
4.50	82.5	116.2	196.6	0.045	0.209	0.296	8.41	11.85	20.04	0.41	0.58	0.99
5.00	80.9	113.0	195.1	0.052	0.225	0.306	8.25	11.53	19.90	0.41	0.57	0.98
5.50	79.7	112.2	193.3	0.061	0.229	0.326	8.12	11.44	19.71	0.40	0.56	0.97
6.00	78.4	107.0	190.6	0.069	0.245	0.345	8.00	10.91	19.44	0.39	0.54	0.96
6.50	77.3	100.4	190.5	0.073	0.256	0.384	7.88	10.23	19.43	0.39	0.50	0.96
7.00	76.3	94.6	189.6	0.084	0.269	0.402	7.78	9.65	19.33	0.38	0.48	0.95
7.50	74.5	91.4	189.4	0.090	0.270	0.439	7.59	9.32	19.31	0.37	0.46	0.95
8.00	71.9	86.3	190.3	0.095	0.274	0.465	7.33	8.80	19.41	0.36	0.43	0.96
8.50	71.6	84.4	189.1	0.102	0.280	0.489	7.30	8.61	19.28	0.36	0.42	0.95
9.00	71.1	83.8	186.3	0.114	0.291	0.500	7.25	8.55	18.99	0.36	0.42	0.94
9.50	70.3	82.0	179.5	0.125	0.309	0.500	7.17	8.36	18.30	0.35	0.41	0.90
10.00	67.3	81.4	176.9	0.139	0.312	0.500	6.86	8.30	18.04	0.34	0.41	0.89

MCMXVII



Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. Los Licenciados L-3 San Sebastián, Telf: 084-606519, Cel. Claro: 984-727700

Proyecto: EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ARCILLOSO DE BAJA COMPRESIBILIDAD REFORZADO CON INCLUSIONES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Ubicación: WANCHAQ - CUSCO - CUSCO

Solicita: CAROL ESTEFANI LIENDO LUQUE

Fecha: Dic-22

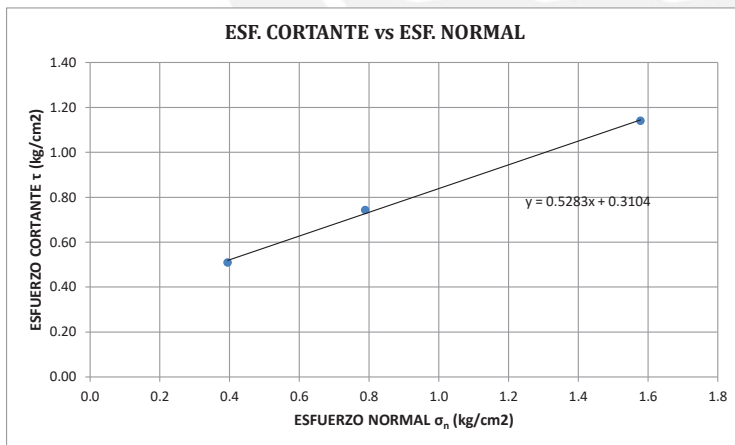
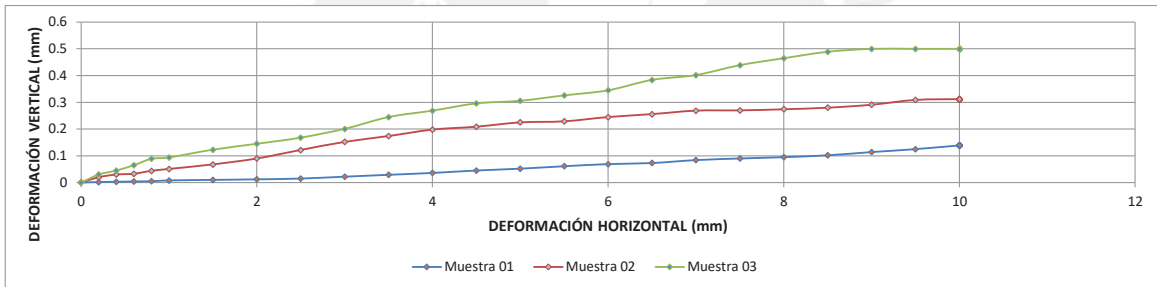
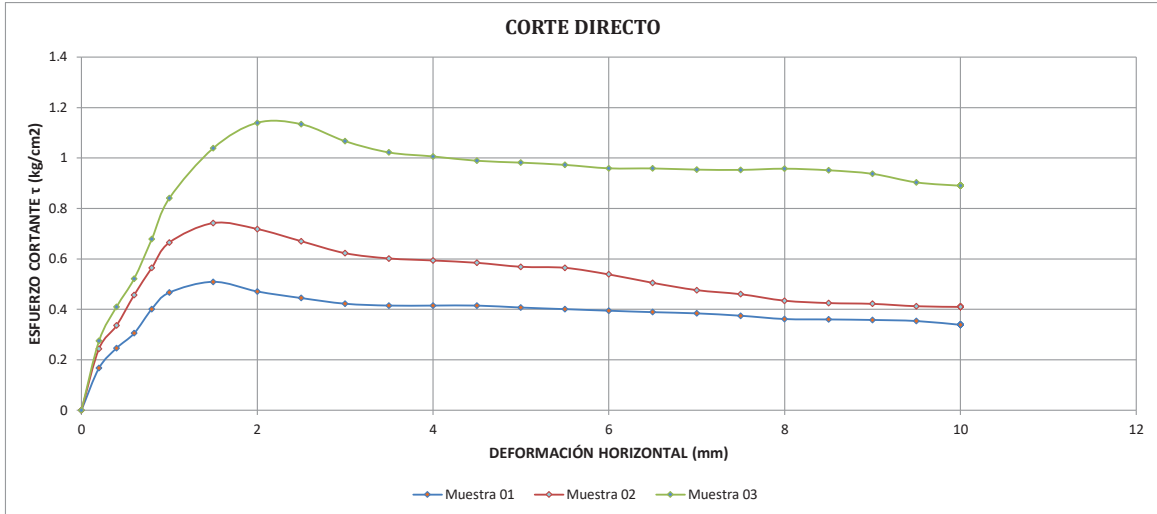
Muestra: Suelo reforzado + 1.2% PP

Calicata: -

Profundidad: -

CORTE DIRECTO

MTC E 123 , Basado en la Norma ASTM D-3080 y AASHTO T-236



Muestras	M-01	M-02	M-03
Carga Vertical (kg)	8.00	16.00	32.00
Area en Corte (cm ²)	20.27	20.27	20.27
σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.6
τ (kg/cm ²)	0.51	0.74	1.14

Cohesión = 0.310 kg/cm ²
Ángulo de fricción interna = 27° 50' 50"

Laboratorio de Suelos y Materiales
 PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.S.
 Sergio Ivan Liendo Vargas
 Ingeniero Civil

Anexo B: Panel fotográfico

PANEL FOTográfico

SUELO ARCILLOSO NATURAL

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



LÍMITES DE CONSISTENCIA



PESO ESPECÍFICO DE FINOS



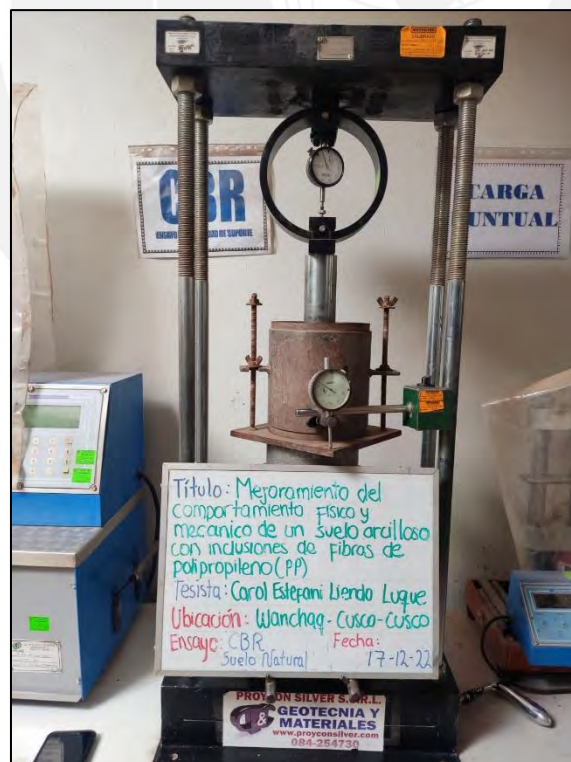
PREPARACIÓN DEL SUELO PARA ENSAYO PROCTOR



ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR



ENSAYO DE CBR



CORTE DIRECTO



SUELO ARCILLOSO + 0.3% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

CORTE DIRECTO



ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR



ENSAYO DE CBR

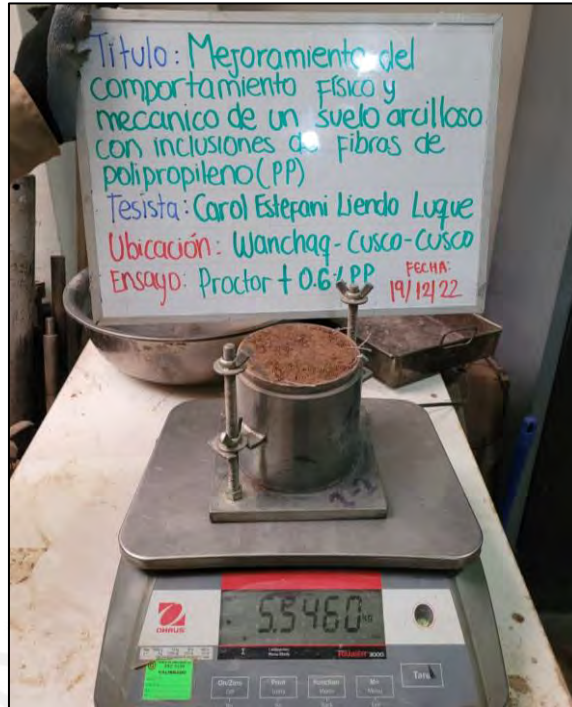


SUELO ARCILLOSO + 0.6% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

CORTE DIRECTO



ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR



ENSAYO DE CBR



SUELO ARCILLOSO + 0.9% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

CORTE DIRECTO



ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR

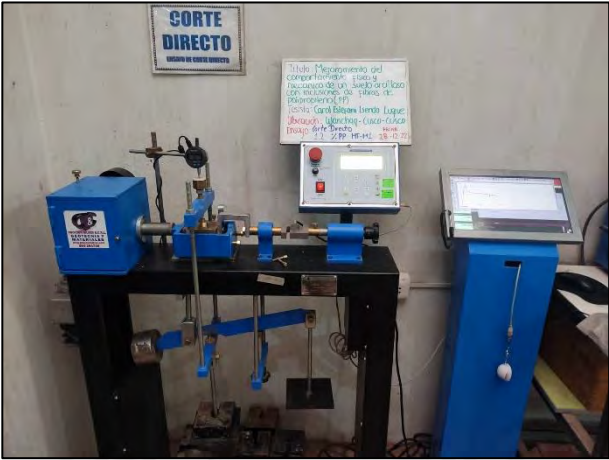


ENSAYO DE CBR

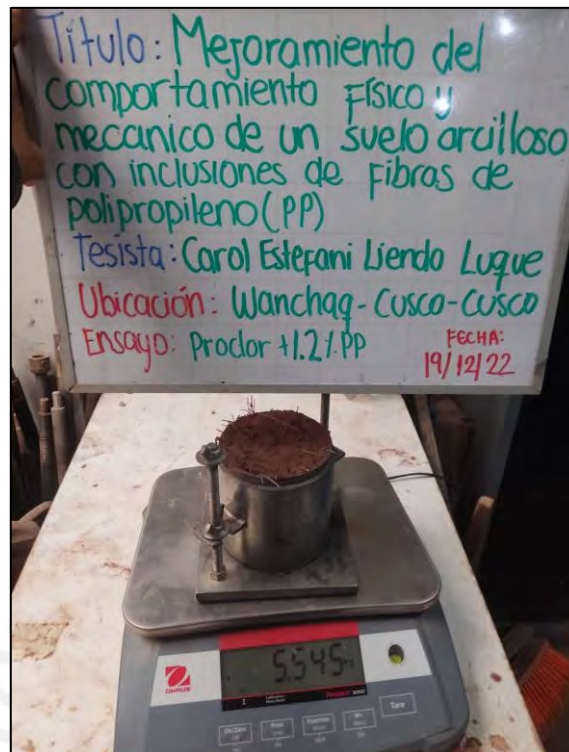


SUELO ARCILLOSO + 1.2% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

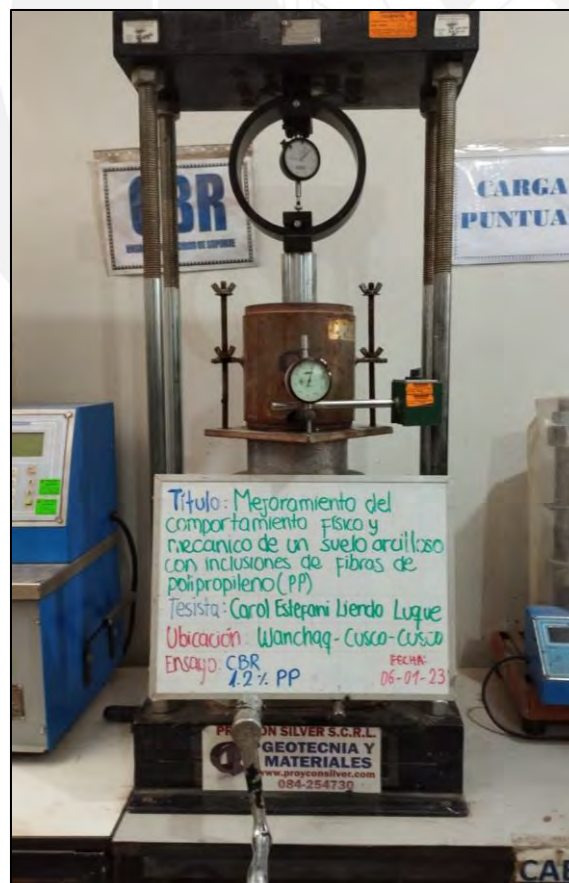
CORTE DIRECTO



ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR



ENSAYO DE CBR



FOTOGRAFÍAS ADICIONALES

PESAJE DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



INCLUSIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO A LOS ESPECÍMENES



COMPACTACIÓN DE MUESTRA CON INCLUSIONES DE FIBRAS



MUESTRAS DE SUELO REFORZADO DESPUES DEL CORTE DIRECTO



OBTENCIÓN DE MUESTRAS REMOLDEADAS PARA CORTE DIRECTO

