

## **Evaluación de la mejora en la resistencia de un depósito de suelo areno limoso con inclusión del PET reciclado para fines de pavimentación en el distrito de Villa El Salvador**

Item Type	info:eu-repo/semantics/bachelorThesis
Authors	Ortega Cabello, Alex Marco; Capcha Camasita, Gloria Ines
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	info:eu-repo/semantics/openAccess
Download date	27/11/2024 23:58:08
Item License	<a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/</a>
Link to Item	<a href="http://hdl.handle.net/10757/670245">http://hdl.handle.net/10757/670245</a>



# **UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

Evaluación de la mejora en la resistencia de un depósito de suelo areno limoso con inclusión del PET reciclado para fines de pavimentación en el distrito de Villa El Salvador

### **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

#### **AUTOR(ES)**

Ortega Cabello, Alex Marco	0009-0006-6771-4798
Capcha Camasita, Gloria Ines	0009-0004-8498-3178

#### **ASESOR(ES)**

Calderón Cahuana, Diana Lucía	0000-0001-6007-9177
-------------------------------	---------------------

**Lima, 13 de noviembre de 2023**

## *DEDICATORIA*

*A mi Madre y hermanos por todo su apoyo incondicional durante el proceso de formación académica, sin ellos no sería posible lograr este objetivo de mi vida y crecer profesionalmente.*

## AGRADECIMIENTOS

Un profundo agradecemos a nuestra asesora, la Ing. Diana Lucia Calderón Cahuana por su apoyo y dedicación para el desarrollo de la investigación, gracias a sus conocimientos profesionales se logró finalizar la tesis.

Finalmente, a los amigos y familiares que nos apoyaron incondicionalmente para lograr el objetivo de la tesis.

## **RESUMEN**

Ante la ausencia de recursos que incluya materiales no convencionales que puedan ser utilizados como componente de relleno o préstamo en obras de pavimentación, motivo por el cual ocasiona que estos insumos sean trasladados desde otras canteras alejadas del lugar de ejecución de la obra, afectando al medio ambiente al realizar su explotación. En esta investigación se pretende mejorar la resistencia del suelo areno limoso con la inclusión del PET reciclado, ya que el PET a nivel mundial se ha convertido en un material desechable que está causando daño al ecosistema, pues estos plásticos de un solo uso, son arrojados al océano, ríos o los botaderos como relleno sanitario. Por tal motivo, para resolver la problemática del suelo areno limoso del distrito de Villa el Salvador y darle un destino adecuado al PET, se ejecutaron los ensayos en un laboratorio antes y después de la mejora, para lo cual, se utilizó el PET en los porcentajes 0%, 2%, 4% y 6% respectivamente. Asimismo, para el desarrollo de la investigación se utilizaron los Ensayos de Granulometría, Proctor Modificado y el CBR.

Para finalizar, se evaluó la mejora de resistencia del suelo areno limoso con los diferentes porcentajes de PET, encontrándose que con la inclusión del 2% de PET se llega a satisfacer los requisitos mínimos del manual de carreteras para uso como alternativa de material de préstamo para una sub base granular en obras de pavimentación.

Palabras clave: suelo arenoso; PET; granulometría; proctor modificado; CBR

"Evaluation of the improvement in the strength of a silty sandy soil deposit with the inclusion of recycled PET for paving purposes in the district of Villa el Salvador"

## ABSTRACT

In the absence of resources that include non-conventional materials that can be used as a filler or borrow component in paving works, which causes these inputs to be transported from other quarries far from the site of the work, affecting the environment when exploiting them. The purpose of this research is to improve the resistance of the silty sandy soil with the inclusion of recycled PET, since PET has become a disposable material that is causing damage to the ecosystem, since these single-use plastics are thrown into the ocean, rivers or landfills as sanitary landfills. For this reason, in order to solve the problem of the silty sandy soil in the district of Villa el Salvador and to provide an adequate destination for PET, tests were carried out in a laboratory before and after the improvement, for which PET was used in percentages of 0%, 2%, 4% and 6%, respectively. Likewise, the Granulometry, Modified Proctor and CBR tests were used for the development of the research.

Finally, the improvement in the resistance of the silty sandy soil with the different percentages of PET was evaluated, finding that with the inclusion of 2% of PET the minimum requirements of the road manual were met for use as an alternative loan material for a granular subbase in paving works.

Keywords: sandy soil; PET; granulometry; modified proctor; CBR.

---

u201300778\_Alex Marco Ortega Cabello\_Evaluación de la mejora en la resistencia de un depósito de suelo areno limoso con inclusión del PET reciclado para fines de pavimentación en el distrito de Villa

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---



FUENTES PRIMARIAS

---

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	idoc.pub Fuente de Internet	1%
4	www.laccei.org Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
6	Paredes Ceron, Andrea Carolina. "Evaluacion experimental del efecto de la compactacion en la resistencia a corto plazo de arena limosa (SM) A-2-4 (PR-108)", Proquest, 20111108 Publicación	1%

---

## **TABLA DE CONTENIDOS**

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>EL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>5</b>
<b>ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>5</b>
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>7</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>7</b>
<b>LIMITACIONES DEL PROYECTO</b> .....	<b>8</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO</b> .....	<b>8</b>
<b>1 MARCO TEORICO</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 SUELOS ARENOSOS</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS</b> .....	<b>10</b>
<b>1.3 POLIETILENO TEREFLALATO (PET)</b> .....	<b>10</b>
<b>1.4 COMPACTACIÓN DE SUELOS</b> .....	<b>11</b>
<b>1.5 SUBBASE</b> .....	<b>12</b>
<b>1.6 LÍMITES DE ATTERBERG</b> .....	<b>12</b>
<b>1.7 ENSAYO PROCTOR MODIFICADO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.8 ENSAYO CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)</b> .....	<b>12</b>
<b>2 METODOLOGÍA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>13</b>
<b>2.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>2.4 PROCEDIMIENTO:</b> .....	<b>13</b>
<b>3 DESARROLLO DE LA TESIS</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO ARENO LIMOSO SIN LA INCLUSIÓN DE PET ANTES DEL MEJORAMIENTO.</b> .....	<b>15</b>



3.1.1	Ensayo de Granulometría (ASTM D6913) .....	15
3.1.2	Determinación del contenido de humedad .....	19
3.1.3	Determinación de los límites de Atterberg ASTM D4318-17e1 .....	20
3.1.4	Clasificación SUCS ASTM D2487 -17 .....	21
3.2	DETERMINACIÓN DE LOS RESULTADOS DE COMPACTACIÓN MEDIANTE EL ENSAYO DEL PROCTOR MODIFICADO SIN PET Y CON LA INCLUSIÓN DEL PET AL 2%, 4% Y 6%. .....	21
3.2.1	Ensayo de proctor modificado ASTM D-1557 .....	21
3.2.2	Proctor modificado del suelo sin PET reciclado .....	22
3.2.3	Proctor modificado del suelo con inclusión del 2% de PET reciclado .....	24
3.2.4	Proctor modificado del suelo con la inclusión del 4% de PET reciclado .....	27
3.2.5	Proctor modificado del suelo con inclusión del 6% de PET reciclado .....	29
3.3	DETERMINACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ENSAYO DEL CBR SIN PET Y CON LA INCLUSIÓN DEL PET RECICLADO AL 2%, 4% Y 6%. .....	32
3.3.1	Ensayo CBR del suelo areno limoso sin PET reciclado .....	32
3.3.2	Ensayo CBR del suelo areno limoso con inclusión del 2% de PET reciclado.....	35
3.3.3	Ensayo CBR del suelo areno limoso con inclusión del 4% de PET reciclado.....	37
3.3.4	Ensayo CBR del suelo areno limoso con inclusión del 6% de PET reciclado.....	40
3.4	EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE SUELO ARENO LIMOSO SIN PET Y CON LA INCLUSIÓN DE PET AL 2%, 4% Y 6%. .....	43
3.4.1	Evaluación del suelo sin inclusión de PET .....	43
3.4.2	Evaluación de la compactación con PET al 2%, 4% y 6% .....	44
3.4.3	Evaluación del ensayo CBR con PET al 2%, 4% y 6% .....	46
4	CONCLUSIONES .....	49
5	RECOMENDACIONES .....	50
6	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	51
7	ANEXOS .....	54
7.1	ENSAYO DE GRANULOMETRÍA .....	54
7.2	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO .....	55

<b>7.3 ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b> .....	57
---	----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Análisis granulométrica por tamizado</i> .....	18
Tabla 2 <i>Contenido de humedad de la muestra de la calicata C-01</i> .....	20
Tabla 3 <i>Límite de consistencia de la muestra calicata C-01</i> .....	20
Tabla 4 <i>Clasificación de suelos SUCS de muestra calicata C-01</i> .....	21
Tabla 5 <i>Vista del contenido de humedad sin inclusión de PET</i> .....	23
Tabla 6 <i>Vista del peso unitario máximo seco y humedad optima sin PET</i> .....	24
Tabla 7 <i>Vista del contenido de humedad con inclusión de PET 2%</i> .....	26
Tabla 8 <i>Vista del peso unitario seco y humedad optima con PET 2%</i> .....	27
Tabla 9 <i>Vista del contenido de humedad con inclusión de PET 4%</i> .....	28
Tabla 10 <i>Vista del peso unitario seco y humedad optima con PET 4%</i> .....	29
Tabla 11 <i>Vista del contenido de humedad con inclusión de PET al 6%</i> .....	30
Tabla 12 <i>Vista del peso unitario seco y la humedad optima con PET al 6%</i> .....	31
Tabla 13 <i>Vista de los resultados de CBR sin PET al 0.1 (in) de penetración</i> .....	35
Tabla 14 <i>Vista de los resultados de CBR con PET 2% al 0.1 (in) de penetración</i> .....	37
Tabla 15 <i>Vista de los resultados de CBR con PET 4% al 0.1 (in) de penetración</i> .....	40
Tabla 16 <i>Vista de los resultados de CBR con PET 6% al 0.1 (in) de Penetración</i> .....	42
Tabla 17 <i>Vista de la recopilación del ensayo proctor modificado del suelo sin PET y con inclusión de PET al 2%, 4% y 6%</i> .....	46
Tabla 18 <i>Vista de la recopilación del ensayo CBR del suelo sin PET y con la inclusión de PET al 2%, 4% y 6%</i> .....	48
Tabla 19 <i>Vista de la Tabla 402-02 Sub base granular - Requerimientos de ensayos especiales</i> .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Plano de localización del área de estudio del distrito de Villa el salvador</i> .....	2
<b>Figura 2</b> <i>Vista de la calicata 01 de la Av. primero de mayo</i> .....	3
<b>Figura 3</b> <i>Vista de la Av. primero de mayo utilizando material de afirmado para la sub base</i> .....	3
<b>Figura 4</b> <i>Vista de la isla de plástico en el Océano Pacífico</i> .....	4
<b>Figura 5</b> <i>Vista de un edificio EcoARK construido de PET en Taiwán</i> .....	11
<b>Figura 6</b> <i>Vista del cuarteo para el ensayo de granulometría</i> .....	16
<b>Figura 7</b> <i>Vista de selección de tamices para el ensayo de granulometría</i> .....	17
<b>Figura 8</b> <i>Vista del peso de la muestra que pasa la malla del ensayo de granulometría</i> ....	17
<b>Figura 9</b> <i>Vista de curva granulométrica</i> .....	19
<b>Figura 10</b> <i>Vista de los límites de consistencia del suelo</i> .....	20
<b>Figura 11</b> <i>Vista del ensayo proctor modificado</i> .....	22
<b>Figura 12</b> <i>Vista de la curva del proctor modificado sin inclusión de PET</i> .....	23
<b>Figura 13</b> <i>Vista del PET reciclado</i> .....	25
<b>Figura 14</b> <i>Vista del pesaje del 2% de PET reciclado</i> .....	25
<b>Figura 15</b> <i>Vista de la preparación de la mezcla del suelo y el PET para el ensayo del Proctor modificado</i> .....	26
<b>Figura 16</b> <i>Vista del grafico de la curva de proctor de compactación con PET 2%</i> .....	27
<b>Figura 17</b> <i>Vista de la curva de proctor con PET 4%</i> .....	29
<b>Figura 18</b> <i>Vista de la curva con PET al 6%</i> .....	31
<b>Figura 19</b> <i>Vista de compactación de la muestra del suelo sin PET</i> .....	33
<b>Figura 20</b> <i>Vista de puesta en inmersión de la muestra para saturación</i> .....	33
<b>Figura 21</b> <i>Vista de penetración de la muestra del suelo areno limoso sin PET</i> .....	34
<b>Figura 22</b> <i>Vista del grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR</i> .....	34
<b>Figura 23</b> <i>Vista de compactación de la muestra del suelo más el 2% de PET</i> .....	36
<b>Figura 24</b> <i>Vista de penetración de la muestra del suelo areno limoso más el 2% de PET</i>	36
<b>Figura 25</b> <i>Vista del grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR</i> .....	37
<b>Figura 26</b> <i>Vista del pesaje del 4% PET reciclado</i> .....	38

<b>Figura 27</b>	<i>Vista de puesta en inmersión de la muestra para saturación por 96 horas .....</i>	39
<b>Figura 28</b>	<i>Vista del grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR .....</i>	39
<b>Figura 29</b>	<i>Vista del pesaje del 6% de PET reciclado .....</i>	41
<b>Figura 30</b>	<i>Vista de puesta en inmersión de la muestra para saturación por 96 horas .....</i>	41
<b>Figura 31</b>	<i>Vista del grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR .....</i>	42
<b>Figura 32</b>	<i>Vista del gráfico de las curvas de compactación de la mezcla de suelo areno limoso con inclusión de PET reciclado en porcentajes de 0%, 2%, 4% y 6%.....</i>	45
<b>Figura 33</b>	<i>Vista del gráfico de penetración de CBR con inclusión de PET .....</i>	47

## INTRODUCCIÓN

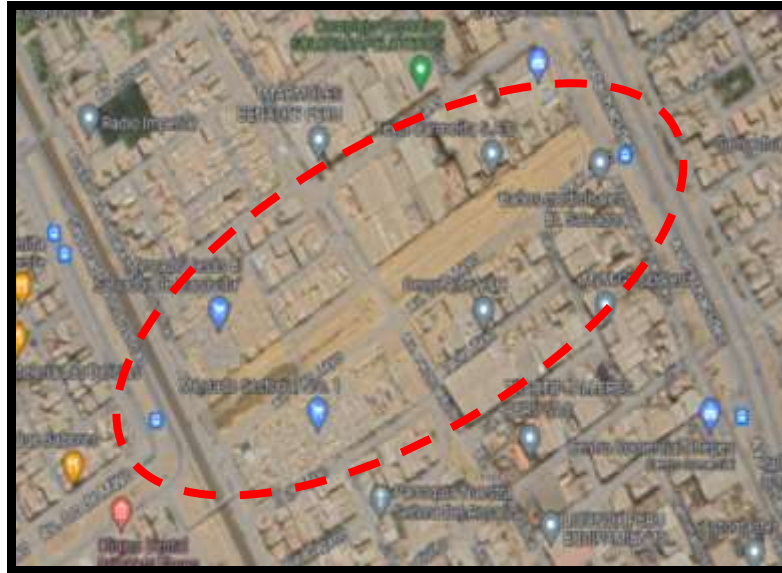
### **El problema**

En la Av. Primero de Mayo, entre los tramos de la Av. Separadora Industrial y la Av. Pachacutec de la zona Este, del distrito de Villa el Salvador, provincia de Lima, departamento de Lima (Figura 1), según el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmica y Mitigación de Desastre (CISMID, 2011), indica que los suelos se encuentra caracterizados por depósitos de relleno o suelo natural, los cuales varían de 0.30 a 1.0 m. de altura, llegando a medir hasta de 2.5m en algunos lugares y posteriormente presentan suelo areno limoso, mal graduadas, con una compacidad suelta a media densa y compactado a una profundidad de 10.0 m. Asimismo, la Geología local del distrito de Villa el Salvador, presenta suelo de afloramiento de secuencias litológicas sedimentarias, intrusivas y depósitos eólicos. Asimismo, durante la realización de la excavación de la calicata C-1 de la Av. primero de mayo se observó una compacidad suelta, con presencia de restos de materiales enterrados, como bolsa de basura o restos de materiales de construcción hasta 1.05m aproximadamente (Figura 2), lo cual indica que estos suelos deben ser removidos y restituidos con materiales de préstamo de las canteras para realizar una obra de pavimentación. A todo lo anterior, podemos decir que los suelos arenosos son esas variedades de suelos que no cumplen con esas características mecánicas de resistencia pretendidas para ser utilizada como una sub base granular de una pavimentación (Figura 3). Se debe tomar en consideración que, en la ejecución de obras de pavimentación, es recomendable reducir en lo posible el movimiento de tierras con la finalidad de que esta fase impacte al medio ambiente, y optar por la mejor alternativa ya sea esta de mejorar la

resistencia del suelo o remplazarla con material de canteras, previniendo innecesarios movimientos de tierra.

### **Figura 1**

*Plano de localización del área de estudio del distrito de Villa el salvador*



*Nota.* De [Captura de pantalla del distrito de Villa el Salvador], por Google Earth], s.f.

([https://www.google.com/maps/@-12.1894497,-](https://www.google.com/maps/@-12.1894497,-76.9423883,764a,35y,2.8t/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=ttu)

[76.9423883,764a,35y,2.8t/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=ttu](https://www.google.com/maps/@-12.1894497,-76.9423883,764a,35y,2.8t/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=ttu)).

## **Figura 2**

*Vista de la calicata 01 de la Av. primero de mayo*



## **Figura 3**

*Vista de la Av. primero de mayo utilizando material de afirmado para la sub base*



Por último, según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2018) indica que los plásticos PET a nivel mundial son arrojados al mar, aproximadamente 8 millones de toneladas, lo

cual, estaría afectado gravemente el sistema ecológico, ya que el plástico tardaría en degradarse hasta 1000 años (Figura 4). Asimismo, en el Perú la situación del plástico es preocupante, ya que el 43.7% no tiene una disposición adecuada, el 68% son plástico de un solo uso, el 47% proviene de Lima y Callao y solo el 0.3% se recicla. En tal sentido, el plástico PET se debe incluir en los proyectos de obras viales ya que, según Espinosa (2016), el PET tiene propiedades de durabilidad en degradarse, aislamiento térmico y resistencia sísmica.

#### **Figura 4**

*Vista de la isla de plástico en el Océano Pacífico*



*Nota.* De “Decreto Supremo que aprueba la reducción del plástico de un solo uso y promueve el consumo responsable del plástico en las entidades del Poder Ejecutivo”, por MINAM, 2018

([https://doc.contraloria.gob.pe/portal\\_ecoeficiencia/Diapositivas\\_y\\_Documentos\\_de\\_Interests/Consumo\\_responsable\\_de\\_plasticos.pdf](https://doc.contraloria.gob.pe/portal_ecoeficiencia/Diapositivas_y_Documentos_de_Interests/Consumo_responsable_de_plasticos.pdf))



## **Formulación del Problema**

¿Es posible, mejorar la resistencia de un depósito de suelo areno limoso con inclusión del PET reciclado para fines de pavimentación en el distrito de Villa el Salvador?

## **Estado del Arte**

Según Daza (2023) en su investigación *Efecto de fibras de polipropileno en la resistencia al corte de una arena limosa*; el autor investigó la influencia que tiene la fibra de polipropileno sobre el comportamiento de la cohesión y fricción de una arena limosa. Se realizaron ensayos de Proctor en todas las muestras y ensayos de corte directos bajo esfuerzos normales entre 100 kPa y 400 kPa de las muestras con refuerzo y sin refuerzo. La metodología aplicada fue el ensayo de compactación proctor modificado en la arena limosa con la adición de fibras de polipropileno para determinar la densidad máxima seca y la humedad óptima. Asimismo, el parámetro de control y compactación se eligió el 95% de todas las muestras de la densidad seca máxima del suelo + 2% de fibra al contenido de humedad óptima y para el ensayo de corte directo, reforzada y no reforzada los esfuerzos normales fueron 100, 200, 300, 400 kPa.

Como resultado se obtuvo que las fibras de polipropileno causan a los parámetros de corte directo de los ángulos de cohesión y fricción mejoras en los suelos aún con un porcentaje bajo de PET. El máximo de cohesión en el suelo más 1.25% de fibra, se incrementó en 36.7 Kpa, mientras que en la fricción corresponde al suelo más 0.8% de fibra, se incrementó en 39.1°.

Por otro lado, Shah y Thaker (2022) en su artículo científico *Influencia de los residuos de tereftalato de polietileno en propiedades mecánicas de los suelos arcillosos*; los autores investigaron la dosificación óptima del PET reciclado en porcentaje de 0; 0,2; 0,4; 0,8; 1%.

Los materiales que utilizaron fueron botellas de agua de plástico solo con el símbolo PET, los cuales se cortaron en tiras de 5mm de ancho y 10 - 20 mm de longitud. Asimismo, para el procedimiento se utilizaron dos series de experimento básicas de laboratorio como el ensayo de compactación y el ensayo de CBR para determinar los parámetros de acuerdo la norma IS. Los resultados obtenidos en los ensayos de proctor estándar con el suelo arcilloso y el PET, determinaron, que los efectos del PET en los parámetros de compactación, indica que a mayor contenido de PET se produce la disminución de la característica de la compactación y continúa debido a la densidad del PET en comparación del suelo. Por otro lado, el efecto de las tiras de PET en el CBR, los resultados indican que el CBR aumenta hasta 0,4% con la adición del PET y disminuye con otros materiales. En conclusión, la prueba con mejor resultado son los tamaños de 5mm por 10mm, mientras que el tamaño de 5mm por 20mm el valor disminuye.

Asimismo, Paredes et al. (2020) en su investigación *Estudio experimental de las propiedades mecánicas de una arena limosa con PET reciclado*, ubicado en el distrito de Chorrillos, los autores analizaron las propiedades mecánicas de una arena limosa adicionado con PET en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4% y 5% respectivamente. Para el procedimiento utilizaron la malla # 4 para la realización de la granulometría por tamizado y para obtener los resultados utilizaron los ensayos de límite de atterberg, gravedad específica, proctor estándar y corte directo para todas las mezclas. Como resultados del análisis de las propiedades mecánicas se obtuvo que con un 3% de PET a la arena limosa sus propiedades mecánicas del suelo mejoran, pasando de un ángulo de fricción ( $\Theta$ ) de 33.7° a 35° y de cohesión de 1.2 kPa a 5.6 kPa.

Por último, Hernández y Botero (2019) en su artículo científico *Comportamiento estático de un suelo fino con inclusiones de fibra de polietileno de tereftalato (PET)*; ellos mostraron en su investigación la inclusión de fibra de polietileno de tereftalato y utilizaron para el reforzamiento en un suelo fino los porcentajes 0%,0.1%,0.3% ,0.5% y 0.7%, respaldándose con ensayos de laboratorio. A todo lo anterior, se definieron la densidad de los sólidos, el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) en donde se obtiene como resultado que la cantidad de agua necesaria que se requiere para que un suelo cambie de un estado plástico a líquido se incrementa a medida que el contenido de fibra crece. Además, se desarrollaron pruebas de compactación con el suelo natural y con adición de la fibra obteniéndose resultados como el incremento del peso volumétrico seco máximo a las que se adicionaron fibras en 0.5% y 0.8%.

### **Hipótesis**

La adición del agregado PET reciclado mejora la resistencia de un depósito de suelo areno limoso para fines de pavimentación en el distrito de Villa el Salvador.

### **Objetivo General**

Evaluar la mejora de la resistencia de un depósito de suelo areno limoso, con la inclusión de PET reciclado para fines de pavimentación

### **Objetivos Específicos**

- Determinar las propiedades físicas del suelo areno limoso sin la inclusión de PET antes del mejoramiento.
- Determinar los resultados de la compactación mediante los ensayos del proctor modificado del suelo sin PET reciclado y del suelo con la inclusión de PET al 2%, 4%, y 6%.

- Determinar los resultados del ensayo CBR, de un suelo sin PET reciclado y del suelo con la inclusión de PET reciclado al 2%, 4% y 6%.
- Evaluar los resultados del suelo areno limoso sin la inclusión de PET y del suelo con la inclusión de PET al 2%, 4% y 6%.

### **Limitaciones del proyecto**

Las limitaciones que mencionaremos a continuación son las más importantes que podemos rescatar:

- Limitaciones para realizar la calicata in situ, ya que no se tenía permiso para la excavación.
- Limitaciones en la búsqueda de los proveedores de materiales de PET reciclado, ya que, sin este material no sería posible el desarrollo de la investigación.
- Limitaciones en la accesibilidad a los laboratorios de Mecánicas de suelos para realizar los ensayos.

### **Descripción del Contenido**

La presente tesis contiene 4 capítulos, el cual se resume a continuación:

#### **Introducción**

En la introducción se detalla la realidad de la problemática de la resistencia de un suelo areno limoso y del PET, se menciona numerosos artículos científicos que servirá como antecedente para la tesis. Asimismo, se plantea la formulación del problema, la hipótesis y los objetivos para la realización de la tesis.

## **Capítulo 1: Marco teórico**

En el primer capítulo, se desarrolla los conceptos principales, suelo arenoso, estabilización de los suelos, polietileno tereftalato (PET), la compactación del suelo, sub base, límite de atterberg, ensayo proctor y CBR.

## **Capítulo 2: Metodología**

En el segundo capítulo, se detallan el método de trabajo a desarrollar para la tesis que consiste en el nivel de investigación, el diseño de la investigación y el procedimiento.

## **Capítulo 3: Desarrollo de la Tesis**

En este capítulo se determina los resultados de los objetivos específicos, de cada uno de los ensayos, de granulometría, proctor modificado y el CBR, para conocer la mejora del suelo areno limoso con la inclusión del PET para fines de pavimentación.

## **Capítulo 4: Conclusiones**

Se realizó las conclusiones de acuerdo a los objetivos desarrollados de la tesis.

## **Capítulo 5: Recomendaciones**

Se mencionan las recomendaciones para que los futuros investigadores profundicen del tema.

## **Referencia bibliográfica**

Se presenta la lista de las referencias bibliográficas que fueron de sustento para la realización de la tesis.

## **Anexos**

Por último, se añadirán los resultados de los ensayos que son los documentos de la tesis que forma parte de la investigación.

## **1 MARCO TEORICO**

### **1.1 Suelos arenosos**

Según Das (2014) son llamados también arenas eólicas, conformados por partículas pequeñas de piedras disgregadas, su tamaño varía entre 0.05 a 2 milímetro de diámetro, son muy ligero y son transportados por la erosión del agua y el viento, depositados en las playas, los ríos, dunas y médanos. Asimismo, la arena tiene la característica de tener una textura áspera y poroso al tacto.

### **1.2 Estabilización de suelos**

Entre los métodos de estabilización de suelos se tiene el proceso con maquinaria pesada para densificación, e inclusión de materiales químicos; así como con material convencional y no convencional se logra la mejora de las propiedades físicas del suelo. La finalidad de la estabilización del suelo es buscar conferir en su estructura, la resistencia mecánica y la conservación de esas características por mucho tiempo de su vida útil. (Ministerio de Transportes y Comunicación [MTC], 2014).

### **1.3 Polietileno tereftalato (PET)**

Según Reyes (2013) el PET es un derivado del petróleo donde sus componentes químicas son deformados por el calor y la compresión, que posteriormente serán transformados en un nuevo producto o envase, ya sea en una botella de bebida de agua o carbonada que son las presentaciones más comunes. Estas botellas luego de haber sido utilizadas pueden ser recicladas para su uso en diferentes áreas, tales como en la construcción de mampostería (Figura 5) y la pavimentación de carreteras.

- **Propiedades del PET:** presenta dos propiedades química y física

Propiedades químicas:

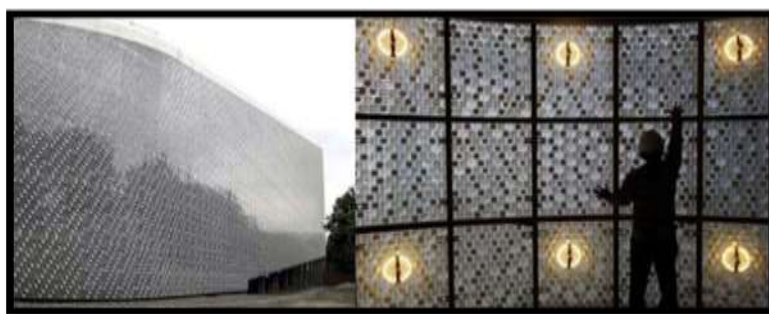
Buena resistencia a la grasa, alimentos, jabones, hidrocarburos, también presenta poca resistencia a otros productos como los solventes, las acetonas, etc.

Propiedades físicas:

Buenas propiedades térmicas, buena barrera a CO<sub>2</sub> (bióxido de carbono) y aceptable barrera a O<sub>2</sub> (oxígeno) y humedad, buen comportamiento a esfuerzos permanentes, son reciclable, alta resistencia al desgaste y buena resistencia química.

### **Figura 5**

*Vista de un edificio EcoARK construido con plástico PET en Taiwán*



*Nota.* De “El PET como sistema alternativo para la construcción de muros en la vivienda”, por Reyes, 2013 (<https://core.ac.uk/download/pdf/128738089.pdf>).

### **1.4 Compactación de suelos**

Según Das (2014) la compactación es la consolidación del suelo para eliminar el aire y tiene como objetivo aumentar la resistencia del suelo y la estabilidad de los taludes de los terraplenes, incrementando la capacidad para las construcciones viales de carreteras, pavimentos, calles y otras estructuras de ingeniería. Asimismo, para la compactación del suelo se utiliza la energía mecánica y para medir el grado de compactación es a través de su peso unitario seco.

## **1.5 Subbase**

Se define como una capa de material establecido y con un grosor de diseño el cual se apoya en la subrasante y se usa como una capa de apoyo de la base de pavimentos asfálticos y losa de concreto. Esta capa puede estar constituida de material granular ( $\text{CBR} \geq 40\%$ ) o combinado con asfalto cal o cemento. (Ministerio de Transportes y Comunicación [MTC], 2014).

## **1.6 Límites de atterberg**

Se menciona que los límites de Atterberg se determinan en función a su capacidad de humedad midiendo en cuanto es susceptible el proceder del suelo. Además, se determinan los límites adecuados a tres estados de consistencia en relación a la humedad en donde el suelo se muestra; en líquido, plástico o sólido (Ministerio de Transportes y Comunicación [MTC], 2014).

## **1.7 Ensayo proctor modificado**

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) *Manual de ensayos de materiales*; señala que el ensayo Proctor tiene la finalidad de definir el vínculo que existe entre los dos componentes, el contenido de humedad y peso unitario seco de los suelos, mediante procedimientos de compactación utilizados en el laboratorio. Asimismo, la compactación se realizará en moldes de 4 o 6 pulgadas de diámetro mediante un pisón de 10 Lbf que caerá desde una altura de 18 pulgadas generando una energía de compactación de 2700 KN-m/m<sup>3</sup>.

## **1.8 Ensayo CBR (California Bearing Ratio)**

Según Valdez (2016) el CBR es la medida del suelo de la resistencia al esfuerzo cortante, mediante las condiciones de humedad y densidad, debidamente controlados para el diseño



de vías terrestre. Asimismo, consiste en la relación de un esfuerzo para introducir un pistón normalizado al suelo que se ensaya y el mismo esfuerzo para introducir al mismo pistón hasta la profundidad de una muestra de piedras trituradas.

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 Nivel de investigación**

Nivel exploratorio: Se trata de un nivel de investigación exploratoria ya que, se busca evaluar el suelo areno limoso con la inclusión de PET reciclado para mejorar su resistencia para fines de pavimentación, para lo cual, se realizaron los ensayos del proctor modificado y el ensayo de CBR.

### **2.2 Diseño experimental**

Porque se pretende evaluar el resultado del suelo natural y el resultado del suelo con la inclusión del PET reciclado.

### **2.3 Diseño de investigación**

Diseño de campo y experimental: dado que para obtener una información real se realizará una calicata en el lugar de donde se obtendrá una muestra de suelo de areno limoso, a esta muestra se le añadirá el PET triturado en diferentes porcentajes y posteriormente se realizará los ensayos propuestos para determinar su influencia en la resistencia del suelo.

### **2.4 Procedimiento:**

Se describe los pasos para el desarrollo de la investigación:

- Paso 1:  
Elección y ubicación del lugar para la exploración geotécnica

- Paso 2:

Excavación de la calicata a 1,50 m de profundidad y obtención de la muestra del suelo alterado. La excavación se efectuará según las recomendaciones de la norma ASTM D-2488 para describir el material que se hallará, comprendiendo la clasificación visual manual del tipo de suelo.

- Paso 3:

Ensayos de laboratorio: los ensayos para las muestras obtenidas se realizarán, en un laboratorio de mecánica de suelos cuyos equipos se encuentren calibrados según la normativa.

Ensayo Estándar: con la muestra alterada que se obtendrán de la calicata se efectuarán el ensayo estándar de la clasificación de suelos, donde se realizarán análisis granulométrico por tamizado, determinación de límites de Attemberg y el contenido de humedad siguiendo la normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Ensayo proctor modificado: el fin de este ensayo es determinar la Máxima Densidad Seca y la Humedad óptima para que se logre obtener una buena compactación del suelo. Se realizarán los ensayos con la inclusión del PET reciclado triturado en proporciones de 0%, 2%, 4% y 6%.

Ensayo de CBR: con la muestra alterada que se obtendrán de la calicata se efectuará el ensayo de CBR (ASTM D-1883) para la determinación del Índice de Soporte del suelo o resistencia del suelo.

- Paso 4:

Evaluación de los resultados: se evaluará el comparativo de los resultados de los ensayos realizados al suelo sin PET y al suelo con inclusión de PET en dosificaciones de 2%, 4% y 6% para evaluar su influencia en la resistencia del suelo con fines de pavimentación.

### **3 DESARROLLO DE LA TESIS**

En el siguiente capítulo se obtienen los resultados de los ensayos del suelo sin PET y con la inclusión de PET reciclado.

#### **3.1 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO ARENO LIMOSO SIN LA INCLUSIÓN DE PET ANTES DEL MEJORAMIENTO.**

Para determinar las propiedades físicas del suelo areno limoso se ejecutaron ensayos de laboratorio, tales como el ensayo de granulometría, cálculo del contenido de humedad, límites de Atterberg y la clasificación SUCS.

##### **3.1.1 Ensayo de Granulometría (ASTM D6913)**

Este ensayo nos facilita distribuir según el tamaño de las partículas del suelo para posteriormente poder clasificarlo según el sistema SUCS ASTM D2487. Asimismo, uno de los procedimientos es realizar el cuarteo de la muestra del suelo para el ensayo de granulometría y posteriormente pesar la muestra que pasa la malla y anotar para llevar el respectivo control (Figuras 6, 7 y 8).

**Figura 6**

*Vista del cuarteo para el ensayo de granulometría*



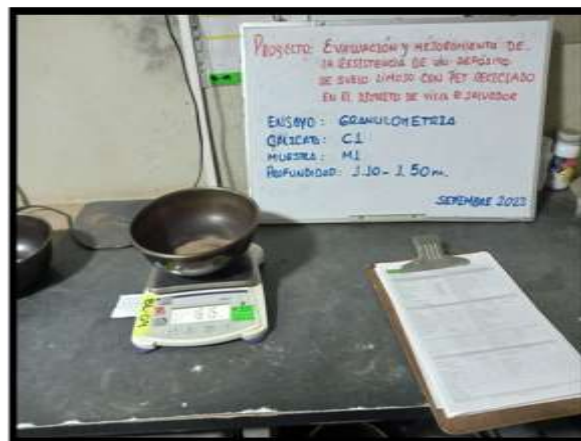
**Figura 7**

*Vista de selección de tamices para el ensayo de granulometría*



**Figura 8**

*Vista del peso de la muestra que pasa la malla del ensayo de granulometría*



La Tabla 1, representa el resumen del ensayo granulométrico realizado a la calicata C-01 en donde se observa que el 21.3% pasa por la malla N°200 representando el contenido de finos.

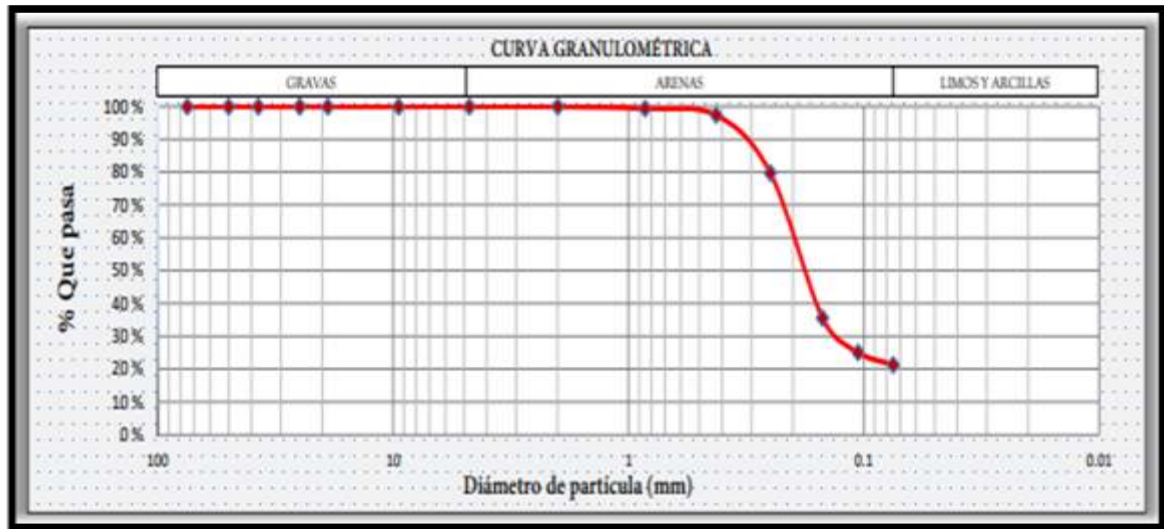
**Tabla 1***Análisis granulométrica por tamizado*

Malla		% pasante
Tamiz	mm	C-01
3"	76.20	100
2"	50.80	100
1 1/2"	38.10	100
1"	25.40	100
3/4"	19.00	100
1/2"	12.50	100
3/8"	9.50	100
N°4	4.75	100
N°10	2.00	100
N°20	0.84	99
N°40	0.425	97
N°60	0.30	80
N°100	0.15	36
N°140	0.105	25
N°200	0.075	21.3

Como resultado del ensayo de granulometría se obtiene que el porcentaje con mayor índice de material es de la arena con 78.7%, seguidamente 21.3% de limo y, por último, la grava no se encontró. (Figura 9)

**Figura 9**

*Vista de curva granulométrica*



### 3.1.2 Determinación del contenido de humedad

El valor del contenido de humedad representa una proximidad que el suelo debe tener de acuerdo al óptimo contenido de humedad para que se logre una favorable compactación.

Por otro lado, es importante realizar el ensayo de Contenido de Humedad, para conocer la dosificación de agua que presenta el terreno en el cual se construirán las carreteras, la pavimentación o una edificación. Asimismo, el suelo del distrito de Villa el Salvador según la clasificación de SUCS es areno limoso (SM), según se observa en la Tabla 2 y el contenido de humedad es 6%.

**Tabla 2***Contenido de humedad de la muestra de la calicata C-01*

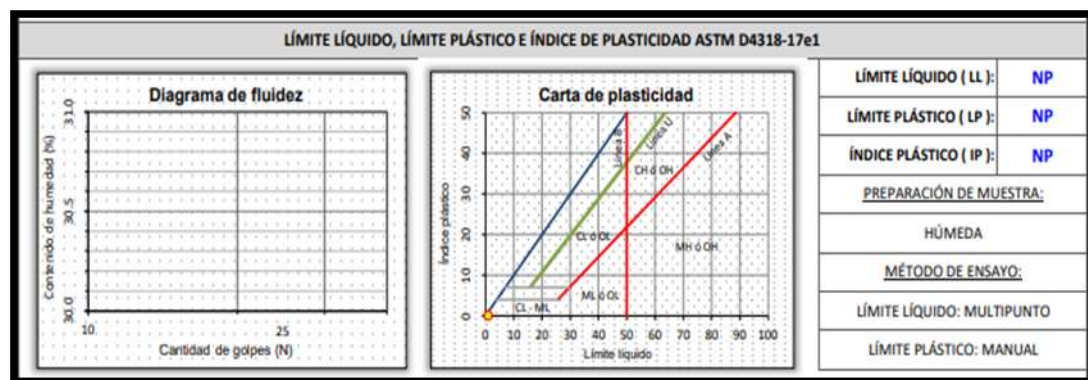
Contenido de humedad			
Progresiva (Km)	Calicata	Profundidad(m)	(W%)
0 + 070	C - 01	1.50	6.0

**3.1.3 Determinación de los límites de Atterberg ASTM D4318-17e1**

En la Tabla 3, se observa los valores de los ensayos de límites de consistencia a la muestra, estos no presentan valores de límite líquido, límite plástico e índice plástico, cuyos datos obtenidos se puede observar de la Figura 10.

**Tabla 3***Límite de consistencia de la muestra calicata C-01*

Progresiva (Km)	Calicata	L.L	L.P	I.P
0 + 070	C - 01	NP	NP	NP

**Figura 10***Vista de los límites de consistencia del suelo*



### 3.1.4 Clasificación SUCS ASTM D2487 -17

Según se observa en la Tabla 4, el tipo de suelo es arena y limos, clasificado como SM.

**Tabla 4**

*Clasificación de suelos SUCS de muestra calicata C-01*

Progresiva (Km)	Calicata	Clasificación SUCS
0 + 070	C - 01	Arena y limos (SM)

## 3.2 DETERMINACIÓN DE LOS RESULTADOS DE COMPACTACIÓN MEDIANTE EL ENSAYO DEL PROCTOR MODIFICADO SIN PET Y CON LA INCLUSIÓN DEL PET AL 2%, 4% Y 6%.

Para la determinación de los resultados de compactación se utilizó el proctor modificado debido a que es el más recomendado para el uso en la ejecución de un pavimento, pues se usa una mayor energía de compactación ( $2700 \text{ KN-m/m}^3$ ) que el ensayo proctor estándar ( $600 \text{ KN-m/m}^3$ ). Por otro lado, se determinaron los ensayos del proctor modificado del suelo areno limoso con la inclusión de PET en las proporciones de 0%, 2%, 4% y 6% para ver su influencia en las características del suelo.

### 3.2.1 Ensayo de proctor modificado ASTM D-1557

El objetivo de este ensayo es obtener la máxima densidad seca con un adecuado porcentaje de humedad optima, para lograr la mejor compactación del suelo.

### 3.2.2 Proctor modificado del suelo sin PET reciclado

Se determina la correlación del contenido de humedad y el peso volumétrico seco para lograr graficar la curva de compactación de la muestra obtenida del suelo con el propósito de hallar la máxima densidad seca para un contenido óptimo de humedad.

Para nuestro ensayo usamos el molde de compactación de 6" de diámetro que corresponde al método C. Se utilizó 5.9 Kg de la muestra del suelo tamizado para cada espécimen, en una bandeja se acomoda la muestra y se agrega el agua para combinarlo homogéneamente para lograr la consistencia y humedad adecuada que se acerque a la óptima. A todo lo anterior, para luego colocarlo en el molde en cinco capas y aplicarle 56 golpes para cada capa, terminada la última capa se enrasa. En total se prepararon cuatro especímenes para poder crear la curva de compactación respectiva

Por lo tanto, es importante tener una buena humedad óptima para lograr la máxima densidad seca para obtener la mayor compactación del suelo (Figura 11).

#### **Figura 11**

*Vista del ensayo proctor modificado*



Por otro lado, se observa la descripción de las cuatro muestras del suelo con los resultados del contenido de agua y el peso unitario seco, que servirá para graficar la curva del proctor modificado sin la inclusión del PET al 0% (Tabla 5).

**Tabla 5**

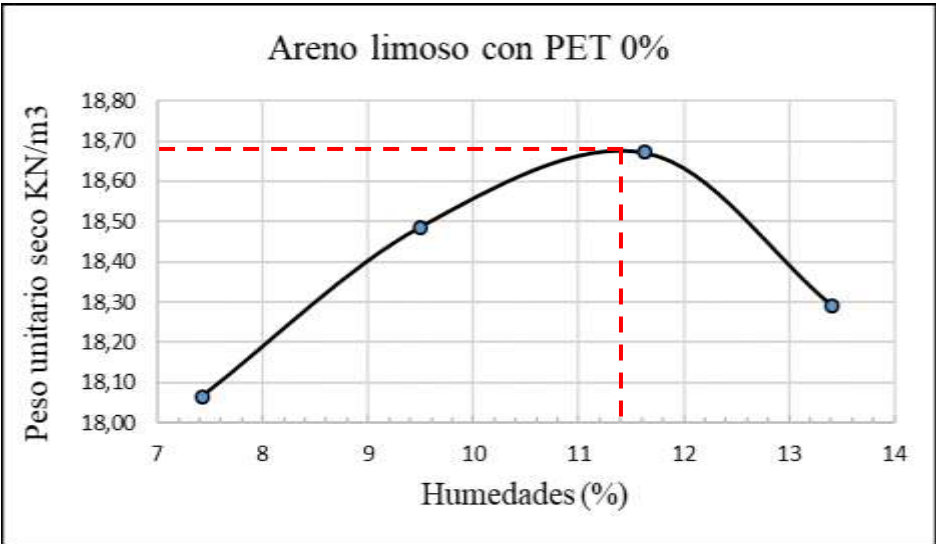
*Vista del contenido de humedad sin inclusión de PET*

CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente N°	T-56	T-52	T-06	T-33
Contenido de agua (%)	7.42	9.49	11.63	13.41
Peso unitario seco (KN/m3)	18.06	18.48	18.67	18.28

Asimismo, se graficó la curva del proctor modificado (Figura 12) realizado al suelo areno limoso sin PET, donde el resultado se obtuvo de la proyección máximo del peso unitario seco de 18.68 KN/m³ y de la humedad óptima de 11.3%.

**Figura 12**

*Vista de la curva del proctor modificado sin inclusión de PET*



Por último, se observa el resultado obtenido del gráfico de la curva de proctor modificado que contiene los índices máximos del peso unitario seco y de la humedad óptima de la compactación del suelo sin PET (Tabla 6).

**Tabla 6**

*Vista del peso unitario máximo seco y humedad óptima sin PET*

<b>SUELO ARENO LIMOSO SIN PET</b>	
Peso unitario máximo seco (KN/m <sup>3</sup> )	18.68
Humedad Óptima (%)	11.3

### **3.2.3 Proctor modificado del suelo con inclusión del 2% de PET reciclado**

Para nuestro ensayo usamos el molde de compactación de 6" de diámetro que corresponde al método C. Se utilizó 5.9 Kg de la muestra del suelo tamizado para cada espécimen, en una bandeja se acomoda la muestra del suelo areno limoso más el 2% del PET reciclado, añadimos el agua poco a poco para combinarlo homogéneamente para lograr la consistencia y humedad adecuada que se acerque a la óptima. A todo lo anterior, para luego colocarlo en el molde en cinco capas y aplicarle 56 golpes para cada capa, terminada la última capa se enrasa. En total se prepararon cuatro especímenes para poder crear la curva de compactación respectiva. En las Figuras 13, 14 y 15 se muestran el PET reciclado, el pesado del PET y preparado de la mezcla para el ensayo de Proctor modificado respectivamente.

**Figura 13**

*Vista del PET reciclado*



**Figura 14**

*Vista del pesaje del 2% de PET reciclado*



### Figura 15

*Vista de la preparación de la mezcla del suelo y el PET para el ensayo del Proctor modificado*



Por otro lado, se observa la descripción de las cuatro muestras del suelo con los resultados del contenido de agua y el peso unitario seco, que servirá para graficar la curva del proctor modificado con la inclusión del PET al 2%. (Tabla 7)

**Tabla 7**

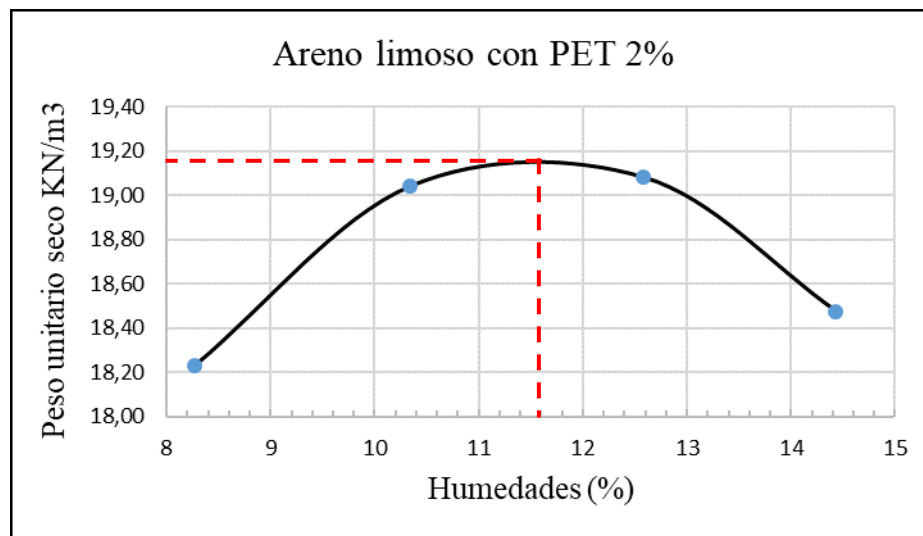
*Vista del contenido de humedad con inclusión de PET 2%*

CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente N°	56	36	11	14
Contenido de agua (%)	8.27	10.34	12.58	14.43
Peso unitario seco (KN/m <sup>3</sup> )	18.23	19.04	19.08	18.47

Asimismo, se graficó la curva del proctor modificado (Figura 16) realizado al suelo areno limoso con PET al 2%, donde el resultado se obtuvo de la proyección máximo del peso unitario seco de 19.17 KN/m<sup>3</sup> y de la humedad óptima de 11.6%.

**Figura 16**

*Vista del grafico de la curva de proctor de compactación con PET 2%*



Por último, se observa el resultado obtenido del grafico de la curva de proctor modificado que contiene los índices máximos del peso unitario seco y de la humedad óptima de la compactación del suelo con PET al 2% (Tabla 8).

**Tabla 8**

*Vista del peso unitario seco y humedad optima con PET 2%*

SUELO ARENO LIMOSO CON PET 2%	
Peso unitario máximo seco (KN/m3)	19.17
Humedad Optima (%)	11.6

### 3.2.4 Proctor modificado del suelo con la inclusión del 4% de PET reciclado

Para nuestro ensayo usamos el molde de compactación de 6" de diámetro que corresponde al método C. Se utilizó 5.9 Kg de la muestra del suelo tamizado para cada espécimen, en una bandeja se acomoda la muestra del suelo areno limoso más el 4% del PET reciclado, añadimos el agua poco a poco para combinarlo homogéneamente para lograr la

consistencia y humedad adecuada que se acerque a la óptima. A todo lo anterior, para luego colocarlo en el molde en cinco capas y aplicarle 56 golpes para cada capa, terminada la última capa se enraso. En total se prepararon cuatro especímenes para poder crear la curva de compactación respectivamente.

Por otro lado, se observa la descripción de las cuatro muestras del suelo con los resultados del contenido de agua y el peso unitario seco, que servirá para graficar la curva del Proctor modificado con la inclusión del PET al 4%. (Tabla 9)

**Tabla 9**

*Vista del contenido de humedad con inclusión de PET 4%*

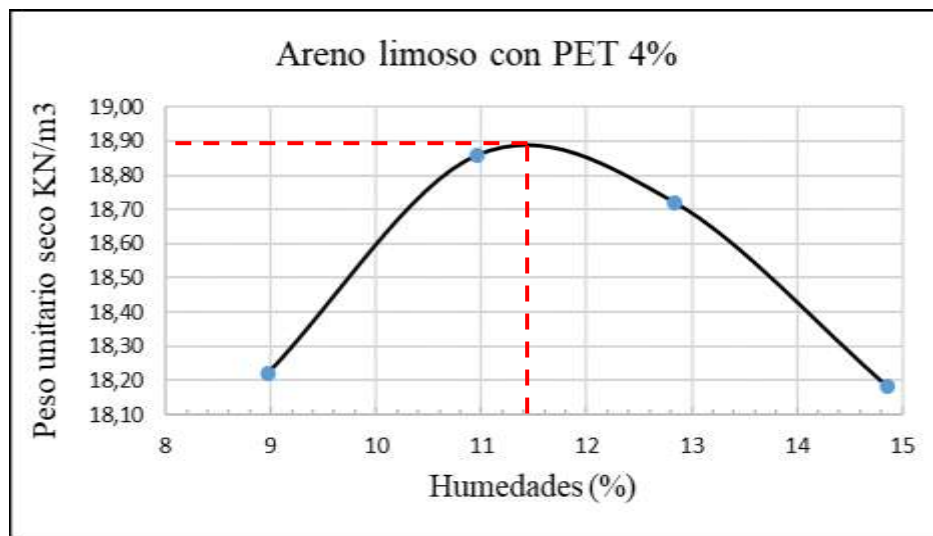
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
Recipiente N°	19	10	36	58
Contenido de agua (%)	8.97	10.96	12.83	14.86
Peso unitario seco (KN/m <sup>3</sup> )	18.22	18.86	18.72	18.18

Asimismo, se graficó la curva del Proctor modificado (Figura 17) realizado al suelo areno limoso con PET al 4%, donde el resultado se obtuvo de la proyección máximo del peso unitario seco de 18.87 KN/m<sup>3</sup> y de la humedad óptima de 11.4%.



**Figura 17**

*Vista de la curva de proctor con PET 4%*



Por último, se observa el resultado obtenido del gráfico de la curva de proctor modificado que contiene los índices máximos del peso unitario seco y de la humedad óptima de la compactación del suelo con PET al 4% (Tabla 10).

**Tabla 10**

*Vista del peso unitario seco y humedad optima con PET 4%*

SUELO ARENO LIMOSO CON PET AL 4%	
Peso unitario máximo seco (KN/m <sup>3</sup> )	18.87
Humedad Optima (%)	11.4

### 3.2.5 Proctor modificado del suelo con inclusión del 6% de PET reciclado

Para nuestro ensayo usamos el molde de compactación de 6" de diámetro que corresponde al método C. Se utilizó 5.9 Kg de la muestra del suelo tamizado para cada espécimen, en una bandeja se acomoda la muestra del suelo areno limoso más el 6% del PET reciclado, añadimos el agua poco a poco para combinarlo homogéneamente para lograr la

consistencia y humedad adecuada que se acerque a la óptima. A todo lo anterior, para luego colocarlo en el molde en cinco capas y aplicarle 56 golpes para cada capa, terminada la última capa se enraso. En total se prepararon cuatro especímenes para poder crear la curva de compactación respectiva.

Por otro lado, se observa la descripción de las cuatro muestras del suelo con los resultados del contenido de agua y el peso unitario seco, que servirá para graficar la curva del proctor modificado con la inclusión del PET al 6%. (Tabla 11).

**Tabla 11**

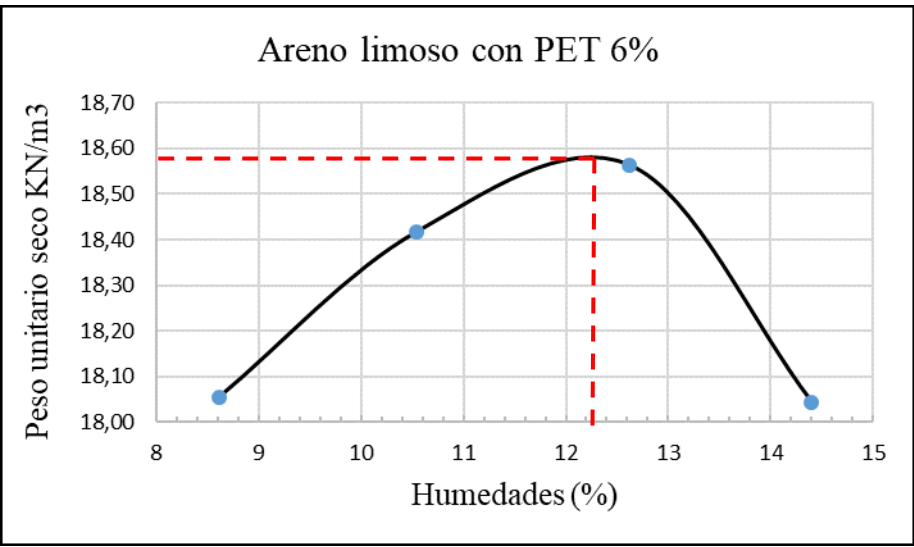
*Vista del contenido de humedad con inclusión de PET al 6%*

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
Recipiente N°	2	50	59	4
Contenido de agua (%)	8.61	10.54	12.62	14.40
Peso unitario seco (KN/m <sup>3</sup> )	18.05	18.42	18.58	18.04

Asimismo, se graficó la curva del proctor modificado (Figura 18) realizado al suelo areno limoso con PET al 6%, donde el resultado se obtuvo de la proyección máximo del peso unitario seco de 18.58 KN/m<sup>3</sup> y de la humedad óptima de 12.2%.

**Figura 18**

*Vista de la curva con PET al 6%*



Por último, se observa los resultados obtenidos del grafico de la curva de proctor modificado que contiene el índice del peso unitario máximo seco y la humedad óptima de la compactación del suelo con PET al 6% (Tabla 12).

**Tabla 12**

*Vista del peso unitario seco y la humedad optima con PET al 6%*

SUELO ARENO LIMOSO CON PET AL 6%	
Peso unitario máximo seco (KN/m3)	18.58
Humedad Optima (%)	12.2

### **3.3 DETERMINACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ENSAYO DEL CBR SIN PET Y CON LA INCLUSIÓN DEL PET RECICLADO AL 2%, 4% Y 6%.**

El ensayo CBR realizado en el laboratorio se usa para hallar la capacidad de soporte del suelo o resistencia del suelo. Así también, se ejecutaron los ensayos del CBR del suelo areno limoso con la inclusión del PET reciclado en porcentajes del 0%, 2%, 4% y 6% para evaluar su incidencia en el índice de soporte del suelo.

#### **3.3.1 Ensayo CBR del suelo areno limoso sin PET reciclado**

En una bandeja mezclamos la muestra del suelo areno limoso con agua lo suficiente para aproximarnos a la humedad optima y dividimos en submuestras en la bandeja para el proceso de compactado en los moldes de 6", (Figura 19).

Para la prueba se utilizaron tres moldes respectivamente para 10, 25 y 56 golpes por capa, con el objetivo de lograr un grupo de curvas que indican la vinculación entre la humedad, el peso específico y el índice de soporte del suelo. Luego de tener listos los moldes, estos se llevan a saturación por 96 horas, (Figura 20). Finalmente, se escurre la muestra y se realiza la penetración del espécimen para determinar su resistencia y se anotan los datos, (Figura 21).

El grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR se muestra en la Figura 22.

**Figura 19**

*Vista de compactación de la muestra del suelo sin PET*



**Figura 20**

*Vista de puesta en inmersión de la muestra para saturación*



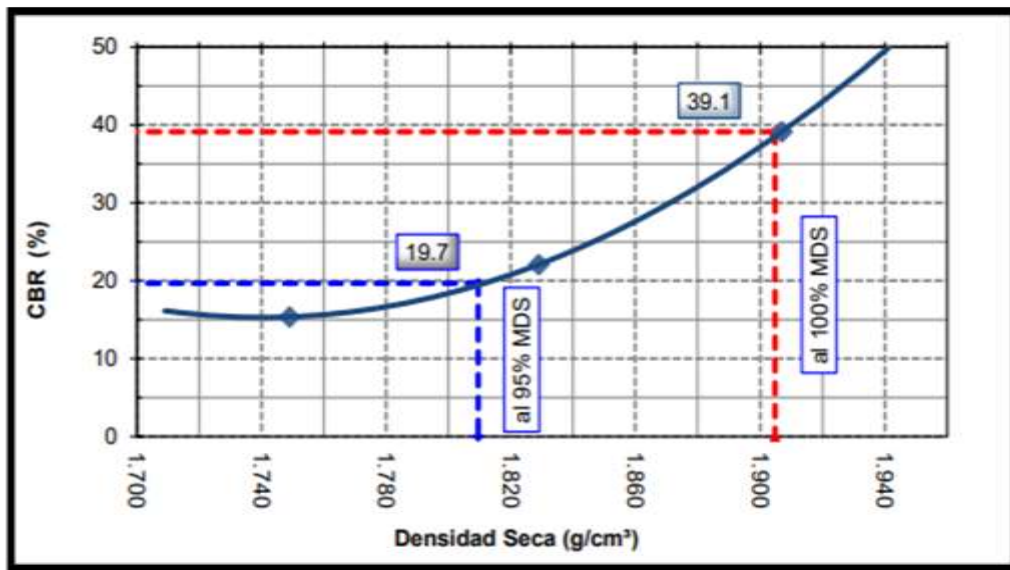
**Figura 21**

*Vista de penetración de la muestra del suelo areno limoso sin PET*



**Figura 22**

*Vista del grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR*



En la Tabla 13 se muestran los valores obtenidos del CBR del suelo natural al 95% y 100% de la MDS respectivamente.

**Tabla 13**

*Vista de los resultados de CBR sin PET al 0.1 (in) de penetración*

<b>CBR sin PET al 0.1 (in) de penetración</b>		
<b>CBR (%)</b>		<b>Máxima Densidad seca (g/cm3)</b>
100%	39.1%	1.905
95%	19.7%	1.809
Expansión	0.0%	

### **3.3.2 Ensayo CBR del suelo areno limoso con inclusión del 2% de PET reciclado**

En una bandeja mezclamos la muestra del suelo areno limoso más el 2% de PET reciclado y agua lo suficiente para aproximarnos a la humedad optima y dividimos en submuestras en la bandeja para el proceso de compactado en los moldes de 6", (Figura 23). Para la prueba se utilizaron tres moldes respectivamente para 10, 25 y 56 golpes por capa. Luego de tener listos los moldes, estos se llevan a saturación por 96 horas. Finalmente, se escurre la muestra y se realiza la penetración del espécimen, (Figura 24).

El grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR se muestra en la Figura 25.

**Figura 23**

*Vista de compactación de la muestra del suelo más el 2% de PET*



**Figura 24**

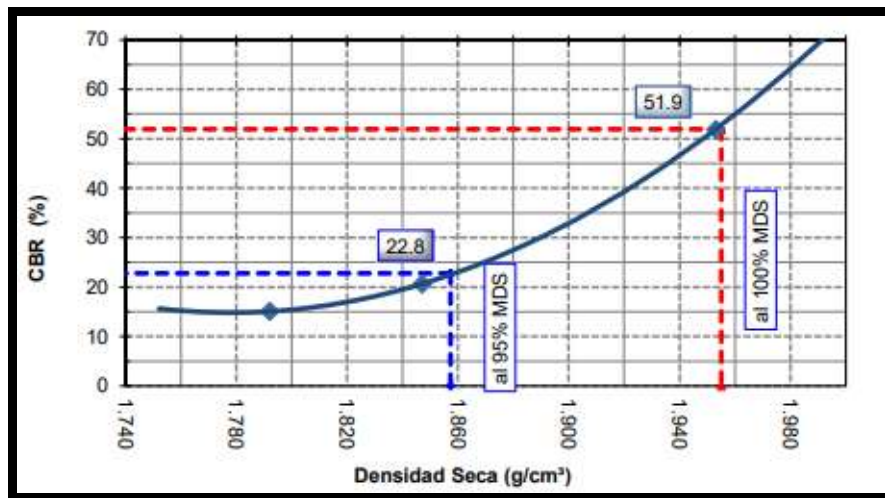
*Vista de penetración de la muestra del suelo areno limoso más el 2% de PET*





**Figura 25**

*Vista del grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR*



En la Tabla 14 se muestran los valores obtenidos del CBR del suelo con el 2% de PET al 95% y 100% de la MDS respectivamente.

**Tabla 14**

*Vista de los resultados de CBR con PET 2% al 0.1 (in) de penetración*

CBR con PET 2% al 0.1 (in) de penetración		
CBR (%)		Máxima Densidad seca (g/cm3)
100%	51.9%	1.955
95%	22.8%	1.857
Expansión	0.0%	

### 3.3.3 Ensayo CBR del suelo areno limoso con inclusión del 4% de PET reciclado

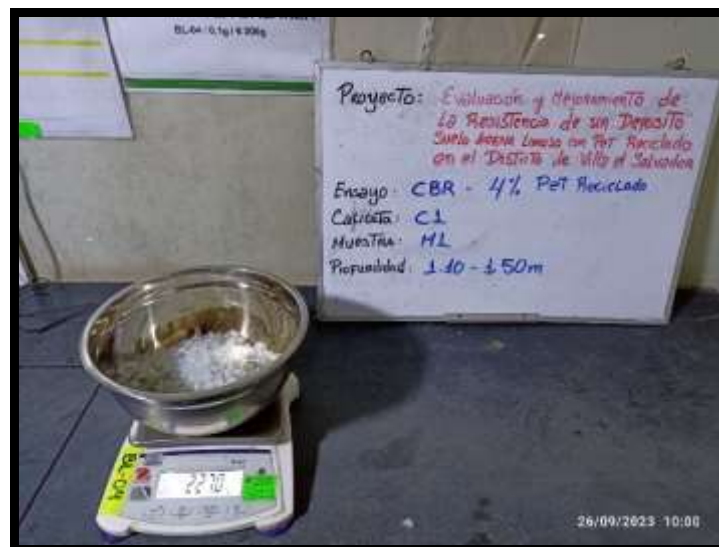
En una bandeja mezclamos la muestra del suelo areno limoso más el 4% de PET reciclado (Figura 26) y agua lo suficiente para aproximarnos a la humedad optima y dividimos en

submuestras en la bandeja para el proceso de compactado en los moldes de 6". Para la prueba se utilizaron tres moldes respectivamente para 10, 25 y 56 golpes por capa. Luego de tener listos los moldes, estos se llevan a saturación por 96 horas (Figura 27). Finalmente, se escurre la muestra y se realiza la penetración del espécimen.

Asimismo, el grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR se muestra en la Figura 28.

## Figura 26

*Vista del pesaje del 4% PET reciclado*



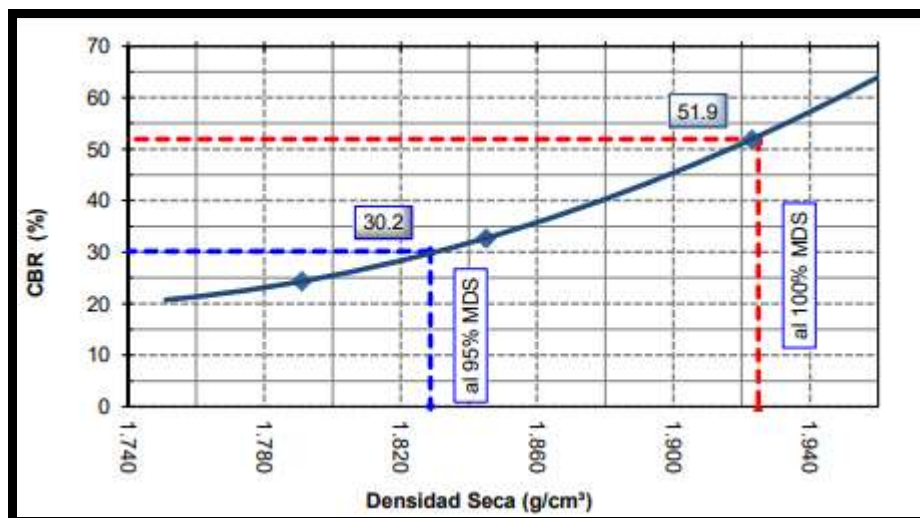
**Figura 27**

*Vista de puesta en inmersión de la muestra para saturación por 96 horas*



**Figura 28**

*Vista del grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR*



En la Tabla 15 se muestran los valores obtenidos del CBR del suelo con el 4% de PET al 95% y 100% de la MDS respectivamente.

**Tabla 15**

*Vista de los resultados de CBR con PET 4% al 0.1 (in) de penetración*

<b>CBR con PET 4% al 0.1 (in) de penetración</b>		
<b>CBR (%)</b>		<b>Máxima Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>
100%	51.9%	1.925
95%	30.2%	1.829
Expansión	0.0%	

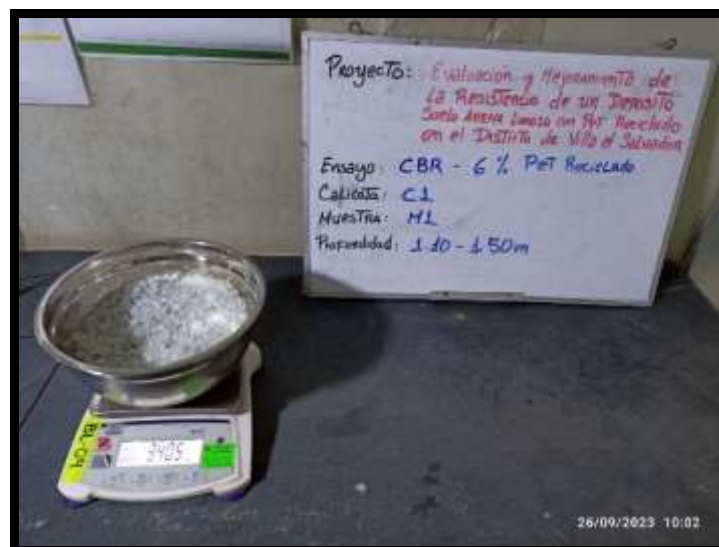
### **3.3.4 Ensayo CBR del suelo areno limoso con inclusión del 6% de PET reciclado**

En una bandeja mezclamos la muestra del suelo areno limoso más el 6% de PET reciclado (Figura 29) y agua lo suficiente para aproximarnos a la humedad optima y dividimos en submuestras en la bandeja para el proceso de compactado en los moldes de 6". Para la prueba se utilizaron tres moldes respectivamente para 10, 25 y 56 golpes por capa. Luego de tener listos los moldes, estos se llevan a saturación por 96 horas (Figura 30). Finalmente, se escurre la muestra y se realiza la penetración del espécimen.

Asimismo, el grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR se muestra en la Figura 31.

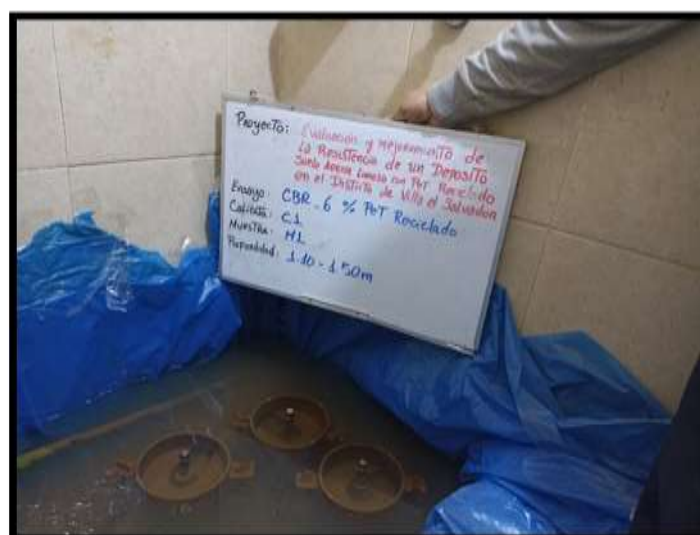
**Figura 29**

*Vista del pesaje del 6% de PET reciclado*



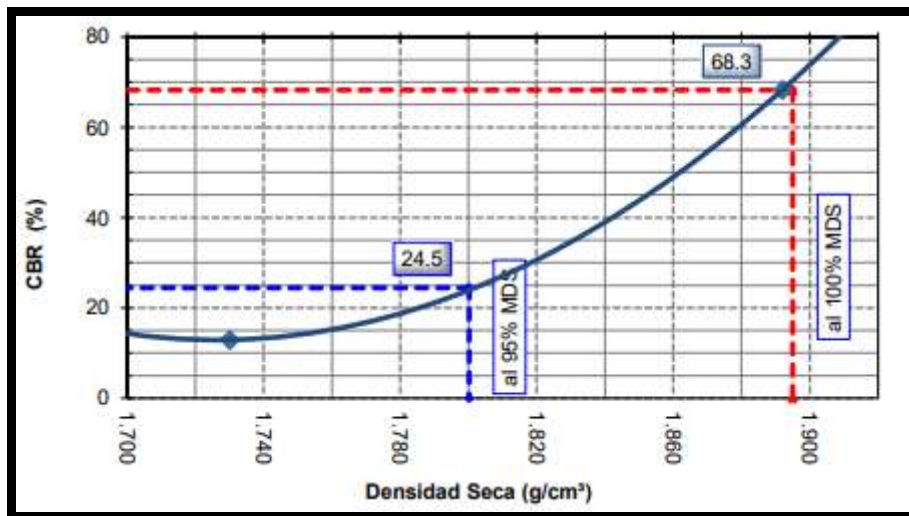
**Figura 30**

*Vista de puesta en inmersión de la muestra para saturación por 96 horas*



**Figura 31**

*Vista del grafico de la curva de máxima densidad seca y el porcentaje de CBR*



En la Tabla 16 se muestran los valores obtenidos del CBR de suelo con el 6% de PET al 95% y 100% de la MDS respectivamente.

**Tabla 16**

*Vista de los resultados de CBR con PET 6% al 0.1 (in) de Penetración*

CBR con PET 6% al 0.1 (in) de Penetración		
CBR (%)		Máxima Densidad seca (g/cm3)
100%	68.3%	1.895
95%	24.5%	1.800
Expansión	0.0%	

### **3.4 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE SUELO ARENO LIMOSO SIN PET Y CON LA INCLUSIÓN DE PET AL 2%, 4% Y 6%.**

En el laboratorio se ejecutaron los ensayos estándar (granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg) para determinar sus propiedades físicas, así también se realizó el ensayo de proctor modificado para determinar su máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad y el ensayo de CBR, para determinar el índice de soporte del suelo. Los resultados de estos ensayos fueron evaluados para determinar la influencia de la participación del PET en la resistencia del suelo.

#### **3.4.1 Evaluación del suelo sin inclusión de PET**

Para la evaluación de suelo sin PET antes del mejoramiento se realizaron, los ensayos de granulometría, proctor modificado y el CBR.

Para el ensayo de Granulometría, se utilizó el método A, que consiste en un tamizado simple. De la curva granulométrica de la Figura 9 se observa que la muestra recién comienza a ser retenida a partir de la malla número 20, y pasa la malla número 200 en un porcentaje mayor a 20%, como resultado se obtuvo que el suelo de la Av. primero de mayo está compuesto por arena con un 78.7% y limos con 21.3%, clasificándose como un suelo areno limoso (SM).

Asimismo, se procedió a realizar el ensayo del proctor modificado, para lo cual se utilizó cuatro muestras con diferentes dosificaciones de agua para obtener la mejor humedad óptima de esta manera alcanzar la máxima densidad seca. Como resultado del ensayo se obtuvo que el suelo areno limoso tiene un 11.3% de humedad optima, para un máximo peso unitario seco de  $1.905 \text{ g/cm}^3$ , como se observa en la Figura 12.

Por otro lado, para los ensayos de CBR se evaluaron, tres muestras de suelos de areno limoso que fueron compactadas en cinco capas, recibiendo una energía de compactación de 10, 25 y 56 golpes, al finalizar el ensayo se obtuvo el índice de soporte del suelo de 39.1% y 19.7% al 100% y 95% respectivamente, como se observa en la Figura 22 y Tabla 13.

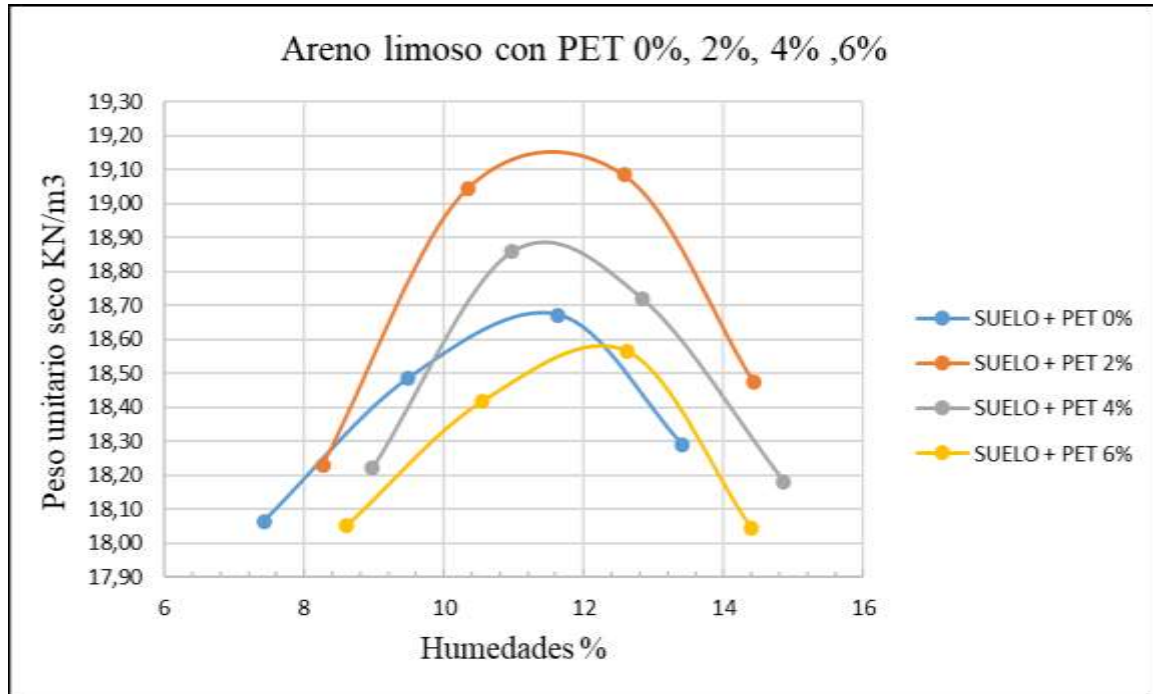
### **3.4.2 Evaluación de la compactación con PET al 2%, 4% y 6%**

Se evaluó la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo areno limoso del distrito de Villa el Salvador, para lo cual se realizó el ensayo proctor modificado en muestras de suelo con la inclusión del PET reciclado en los porcentajes de 2%, 4% y 6%. Los resultados de las curvas de compactación se muestran en la Figura 32. En esta figura se observa que el suelo con inclusión del 2% de PET presenta el mayor valor de densidad seca, en comparación con el suelo con inclusión del 4%, 6% de PET y el suelo natural. Asimismo, el suelo con la inclusión del 6% de PET disminuyo en su máxima densidad seca a  $18.58 \text{ KN/m}^3$ , con respecto al suelo sin PET que alcanzo un  $18.68 \text{ KN/m}^3$ . En anteriores investigaciones, los autores Shah y Thaker (2022) sostienen que “la disminución se debe a la densidad del PET en comparación del suelo” (p.4); pues la densidad del PET es  $1.38 \text{ gr/cm}^3$  y en el caso del suelo areno limoso es  $1.905 \text{ gr/cm}^3$ . Por otro lado, también se debe a la absorción del agua con la combinación del suelo y el PET, ya que la arena es porosa y necesita mayor cantidad de agua y con la inclusión del PET, evitaría la absorción en su totalidad del agua.



**Figura 32**

*Vista del gráfico de las curvas de compactación de la mezcla de suelo areno limoso con inclusión de PET reciclado en porcentajes de 0%, 2%, 4% y 6%*



Conforme a la Tabla 17, la inclusión del elemento estabilizante formulado modifica la máxima densidad seca creciendo para las dosificaciones del 2% y 4% y disminuyendo en forma no significativa para la dosificación del 6%. Además, es importante indicar que el óptimo contenido de humedad con las dosificaciones del 2% y 4% varía y aumenta en valores mínimos en comparación al contenido de humedad del suelo sin PET; mientras que con la dosificación del 6% se incrementa en mayor valor que con las dosificaciones del 0%, 2% y 4% de PET.

**Tabla 17**

*Vista de la recopilación del ensayo proctor modificado del suelo sin PET y con inclusión de PET al 2%, 4% y 6%*

<b>MUESTRA</b>	<b>ENSAYO PROCTOR MODIFICADO</b>	
	<b>Máxima Densidad Seca MDS</b> <b>KN/m3     /     (gr/cm3)</b>	<b>Óptimo</b> <b>contenido de</b> <b>humedad (%)</b>
Suelo sin PET	18.68 KN/m3     /     (1.905 gr/m3)	11.3%
Más 2% PET	19.17 KN/m3     /     (1.955 gr/m3)	11.6%
Más 4% PET	18.87 KN/m3     /     (1.925 gr/m3)	11.4%
Más 6% PET	18.58 KN/m3     /     (1.895 gr/m3)	12.2%

### **3.4.3 Evaluación del ensayo CBR con PET al 2%, 4% y 6%**

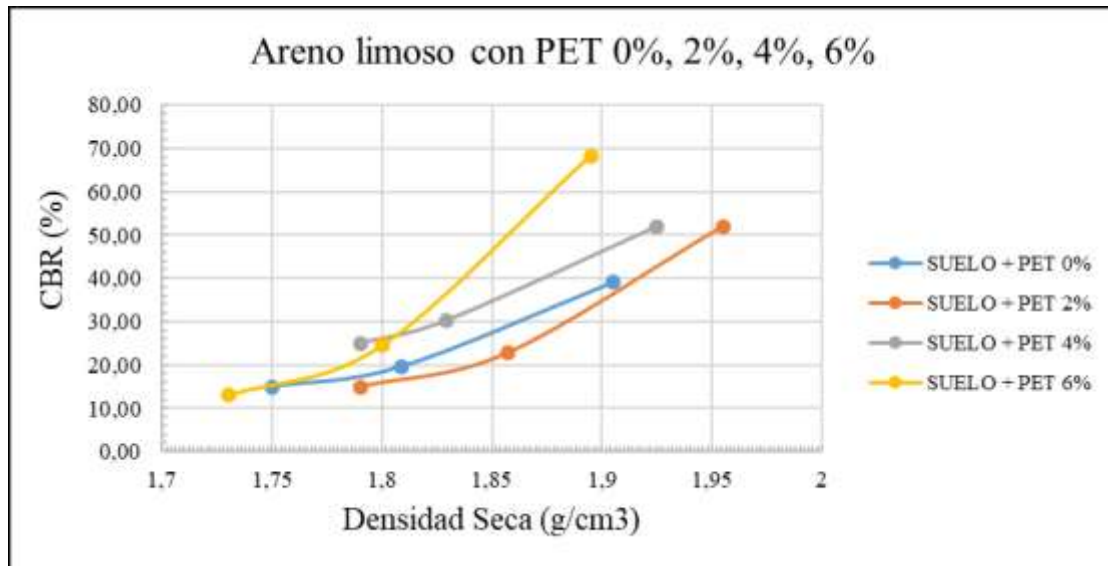
Se evaluó al 100% del índice de soporte del suelo areno limoso del distrito de Villa el Salvador, para lo cual se realizó el ensayo de CBR en muestras de suelo con la inclusión del PET reciclado en los porcentajes de 2%, 4% y 6%.

Los resultados de las curvas de CBR se muestran en la Figura 33 y la Tabla 18. En esta figura se observa que el suelo a partir del 2% de PET, presenta un aumento en la resistencia del suelo, manteniendo el mismo valor para un 4% e incrementándose con un 6% de PET, en comparación con el suelo natural. Por lo tanto, con el 2% de PET, se

cumple los requisitos mínimos del valor de CBR que exige la norma del manual de carreteras para una sub base granular de una pavimentación. (Figura 34).

**Figura 33**

*Vista del gráfico de penetración de CBR con inclusión de PET*



Conforme a la Tabla 18, la inclusión del elemento estabilizante (2% PET) formulado modifica el índice de soporte del CBR incrementando el valor a 51.9%, a todo lo mencionado si lo referenciamos conforme al manual de carreteras 2013 en donde indica en la tabla 402-02 el requisito mínimo de CBR para una sub base granular tiene un valor de 40%. Por lo tanto, el suelo sin PET se puede estabilizar con el fin de utilizarlo como sub base granular. (Tabla 19)

**Tabla 18**

*Vista de la recopilación del ensayo CBR del suelo sin PET y con la inclusión de PET al 2%, 4% y 6%*

MUESTRA	RESULTADOS DE CBR AL 0,1 in	
	CBR al 95%	CBR al 100%
Suelo sin PET	19.7%	39.1%
Más 2% PET	22.8%	51.9%
Más 4% PET	30.2%	51,9%
Más 6% PET	24.5%	68.3%

**Tabla 19**

*Vista de la Tabla 402-02 Sub base granular - Requerimientos de ensayos especiales*

**Tabla 402-02**  
**Subbase Granular Requerimientos de Ensayos Especiales**

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	-.-	-.-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-.-	D 4791	-.-	20% máx.	20% máx.

Nota: Adaptado de “Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción”, por MTC, 2013.

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_10%20EG%202013.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf)

#### **4 CONCLUSIONES**

Con los resultados de los ensayos de granulometría, ensayo de proctor modificado y ensayo de CBR, de una muestra tomada en el distrito de Villa el Salvador con fines de pavimentación, se evaluó el comportamiento del suelo natural y con la inclusión de PET a 2%, 4% y 6%, se llegó a las siguientes conclusiones.

1. Del ensayo de granulometría realizado al suelo natural, se obtuvo la clasificación SUCS de un suelo areno limoso (SM).
2. En los ensayos de Limites de Atterberg, no se encontró ningún comportamiento de cambios de estado del suelo. Por lo tanto, el suelo no presenta índice de plasticidad.
3. Para el ensayo de proctor modificado, se logró la mayor compactación del suelo areno limoso con el 2% de PET reciclado obteniendo un máximo peso unitario seco y humedad óptima por encima del suelo natural.
4. Asimismo, en el ensayo de CBR se logró aumentar el índice de resistencia del suelo areno limoso a partir de la inclusión del 2% de PET. Esto mejoró el índice de soporte con respecto al suelo natural pasando de 39.1% a 51.9%.
5. Por lo tanto, con la inclusión del PET al 2%, el suelo areno limoso del distrito de Villa el Salvador presenta una mejora y puede ser utilizado como una sub base granular para la pavimentación, ya que, cumple el requerimiento mínimo del índice de CBR del manual carreteras, que es 40%.
6. Para finalizar, el PET es un material importante por sus propiedades físicas, ya que mejora las propiedades del suelo areno limoso convirtiéndolo en un material que puede ser utilizado para diferentes fines de construcción como losas deportivas, veredas, terraplenes, carreteras, etc.

## **5 RECOMENDACIONES**

1. En función a los efectos conseguidos advertimos que el índice de soporte o resistencia del suelo presenta mejoría a medida que se incrementa los porcentajes del PET reciclado triturado. Por lo tanto, se aconseja estimar el CBR en suelos con inclusión de PET en porcentaje mayores al 6%, dado que el valor mínimo de CBR para una Base granular es 80%, para carreteras de segunda y tercera clase con bajo volumen de tránsito.
2. El PET reciclado triturado en función a nuestra tesis es un favorable estabilizante por lo que recomendamos su utilización por su bajo costo en comparación con los agregados de material de préstamo.
3. Se sugiere que se experimente el suelo areno limoso con otros materiales y se evalúe su comportamiento.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmica y Mitigación de Desastre. (2011). *Microzonificación Sísmica del distrito de Villa el Salvador*.  
<http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/CISMID/Villa%20El%20Salvador%20Informe%20Microzonificacion%20Sismica%20MVCS-CISMID.pdf>
- Das, B.M. (2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, México: Thomson Learning
- Daza, R. (2023). Efecto de fibras de Polipropileno en la Resistencia al corte de una arena limosa. *Revista Ingeniería e Investigación*.  
<https://www.sib.org.bo/actividad/articulossib/item/860>
- Espinosa, F. (2016). *Caracterización de Botellas PET para su uso como elementos constructivos de muros de carga*. [Trabajo de maestría, Instituto Tecnológico y de estudios superiores de occidentes].  
<https://rei.iteso.mx/xmlui/themes/Mirage2/bookview/template.html?path=/bitstream/handle/11117/3847/Caracterizaci%3bn%20de%20botellas%20PET%20para%20su%20uso%20com.pdf?sequence=2&isAllowed=y#page=1>
- Google Earth. (s.f.). [Captura de pantalla de la Av. Primero de Mayo entre los tramos de la intersección de la Av. Separadora Industrial y Av. Pachacutec en el distrito de Villa el salvador]. Recuperado el 25 de setiembre de 2023, de  
<https://www.google.com/maps/@-12.1894497,-76.9423883,764a,35y,2.8t/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=ttu>
- Hernández, C., y Botero, E. (2019, 17–20 noviembre). *Comportamiento estático de un suelo fino con inclusiones de fibra de Polietileno de Tereftalato (PET)* [Conferencia]. International Society for Soil Mechanics and Geotechnical

Engineering,

Cancun,

Mexico.

<https://www.issmge.org/uploads/publications/84/85/13-09-carolina-hernandez.pdf>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción*.  
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_10%20EG%202013.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos*.  
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*.  
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)

Ministerio del Ambiente. (2018). *D.S. N° 013-2018-MINAM - Decreto Supremo que aprueba la reducción del plástico de un solo uso y promueve el consumo responsable del plástico en las entidades del Poder Ejecutivo*. Recuperado el 2 de setiembre de 2023, de  
[https://doc.contraloria.gob.pe/portal\\_ecoeficiencia/Diapositivas\\_y\\_Documentos\\_de\\_Interes/Consumo\\_responsable\\_de\\_plasticos.pdf](https://doc.contraloria.gob.pe/portal_ecoeficiencia/Diapositivas_y_Documentos_de_Interes/Consumo_responsable_de_plasticos.pdf)

Paredes, S., Ramírez, J., y Duran, G. (2020, 27–31 Julio). *Estudio experimental de las propiedades mecánicas de una arena limosa con PET reciclado* [Conferencia]. Consorcio de Escuelas de Ingeniería de Latinoamérica y del Caribe, Buenos Aires,



Argentina. [https://www.laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/full\\_papers/FP379.pdf](https://www.laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/full_papers/FP379.pdf).

Reyes, C. (2013). *El PET como sistema alternativo para la construcción de muros en la vivienda*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]. <https://core.ac.uk/download/pdf/128738089.pdf>

Salas, L. (2020, 03 de noviembre). Al año se producen 1,4 millones de toneladas de plástico en Perú. *Peru21*. <https://peru21.pe/economia/al-ano-se-producen-14-millones-de-toneladas-de-plastico-en-peru-cifras-del-reciclaje-solo-el-15-del-plastico-que-se-desecha-al-ano-asociacion-civil-reciclame-grupo-gea-residuos-solidos-informalidad-ncze-noticia/>

Shah y Thaker. (2022, 15-17 diciembre). *Influencia de los residuos de Tereftalato de polietileno en propiedades mecánicas de los suelos*. [Conferencia]. Indian Geotechnical Conference, Gujarat, India. [https://www.igc2022kochi.org/Img/FINAL\\_PAPER/TH-02/TH-02-056.pdf](https://www.igc2022kochi.org/Img/FINAL_PAPER/TH-02/TH-02-056.pdf).

Valdez, A. (2016). *Capacidad de carga y su incidencia en la subrasante en la vía pelileo-patate* [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23022/1/Maaestr%C3%ADa%20V.%20T.%2076%20-%20Valdez%20Sevilla%20Angel%20Neptal%C3%AD.pdf>

## 7 ANEXOS

### 7.1 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

LEMICONS

INFORME DE ENSAYO				N° LEM2309165/01											
<b>NOMBRE DE PROYECTO:</b> TESIS: "EVALUACIÓN DE LA MEJORA EN LA RESISTENCIA DE UN DEPÓSITO SUELO ARENA LIMOSO CON INCLUSIÓN DE PET RECICLADO PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR"															
<b>UBICACIÓN DEL PROYECTO:</b> AV. PRIMERO DE MAYO ENTRE LOS TRAMOS DE AV. SEPARADORA INDUSTRIAL Y AV. PACHACÚTEC EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR			<b>PROCEDENCIA:</b> MUESTRA DE CALICATA (TERRENO NATURAL)												
<b>SOLICITANTE:</b> TESISISTAS ALEX MARCO ORTEGA CABELLO Y GLORIA INES CAPCHA CAMASITA			<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 2023-09-18												
<b>DIRECCIÓN SOLICITANTE:</b> —			<b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 2023-09-29												
IDENTIFICACIÓN VISUAL DE MUESTRA															
<b>MATERIAL/CALICATA:</b>	C-01_M-01	<b>PROFUNDIDAD:</b>	1.10 m - 1.30 m	<b>CONSISTENCIA/COMPACTACIÓN:</b>	—										
<b>FORMA:</b>	—	<b>TMP:</b>	No. 4	<b>COLOR:</b>	—										
CLASIFICACIÓN DE SUELO (SUCS) ASTM D2487 - 17															
<b>SILTY SAND</b>			<b>SM</b>												
<b>MÉTODO DE ENSAYO ASTM D2216-19</b>		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b> 6 %		<b>MÉTODO DE ENSAYO:</b> A <b>TEMP:</b> 110 °C											
LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM D4318-17e1															
				<b>LÍMITE LÍQUIDO (LL):</b>	<b>NP</b>										
				<b>LÍMITE PLÁSTICO (LP):</b>	<b>NP</b>										
				<b>ÍNDICE PLÁSTICO (IP):</b>	<b>NP</b>										
				<b>PREPARACIÓN DE MUESTRA:</b>											
		HÚMEDA													
		MÉTODO DE ENSAYO:													
		LÍMITE LÍQUIDO: MULTIPUNTO													
		LÍMITE PLÁSTICO: MANUAL													
MÉTODO DE ENSAYO ASTM D6913/D6913M-17															
<b>TAMIZ</b>	3 in	2 in	1 1/2 in	1 in	3/4 in	3/8 in	N° 4	N° 10	N° 20	N° 40	N° 60	N° 100	N° 140	N° 200	FONDO
<b>ABERTURA (mm)</b>	75.00	50.00	37.50	25.00	19.00	9.50	4.75	2.00	0.850	0.425	0.250	0.150	0.106	0.075	< 0.075
<b>MASA RETENIDO (g)</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	4.0	36.1	90.3	21.3	7.9	43.5
<b>% QUE PASA</b>	100	100	100	100	100	100	100	99	97	80	36	25	21	21	0
<b>TIPO DE TAMIZADO:</b>		SIMPLE		<b>TAMIZ SEPARADOR DE FRACCIÓN:</b>											
<b>PREPARACIÓN DE MUESTRA:</b>		HÚMEDO		<b>MÉTODO DE ENSAYO:</b>		A		<b>GRAVA: 0.0% ARENA: 78.7% FINOS: 21.3%</b>							
<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:</b>		N/A		<b>COEFICIENTE DE CURVATURA:</b>		N/A		<b>D10: 0.00 D30: 0.12 D60: 0.20</b>							
<b>OBSERVACIONES:</b> A-1(2)															
<small>Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) ASTM D2487 - 17  Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils ASTM D4318-17e1  Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Sieve) of Soils Using Sieve Analysis ASTM D6913/D6913M-17  Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass ASTM D2216-19</small>															
<small>Los Resultados de los Ensayos no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Normas de Producto o como Certificado del Sistema de Calidad de LEMICONS S.R.L.  Prohíbese la Reproducción Total o Parcial, Excepto con Autorización previa por escrito de LEMICONS S.R.L.  Los Resultados solo están relacionados con la Muestra Ensayada. La Muestra ha sido identificada y Entregada en el Laboratorio por el Cliente bajo su Responsabilidad.</small>															

LEM-LAB-F-DE 2019-08-16 Ver: 02  
 LEMICONS S.R.L. Calle Tulum Mz. 1 Lote 27 Coop. Huastapalapa, Los Olivos - Uru.  
 Telf. 394236703 / 652-4558

**ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA**, 3 de 4  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 79951

LEMICONS

Los Resultados de los Ensayos no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Normas de Productos o como Certificado del Sistema de Calidad de LEMMON S.R.L.  
Prohibido la Reproducción Total o Parcial, Excepto con Autorización previa por escrito de LEMMON S.R.L.  
Los Resultados solo están Relacionados con la Muestra Ensayada. La Muestra ha sido identificada y Entregada en el Laboratorio por el Cliente bajo su Responsabilidad.

LEMICONS S.R.L. Calle Triloma Mz. 1 Lote 27 Corp. Hueyapallana, Los Olivos - Lima  
Telf.: 994236763 / 653-8558

ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA 2 de 4  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 79251

INFORME DE ENSAYO				N° LEM2309165/02	
<i>Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ASTM D1557 - 12e1</i>					
<b>NOMBRE DE PROYECTO:</b>	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA MEJORA EN LA RESISTENCIA DE UN DEPOSITO SUELO ARENA LIMOSO CON INCLUSION DE PET ECICLADO PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR"				
<b>UBICACIÓN DEL PROYECTO:</b>	AV. PRIMERO DE MAYO ENTRE LOS TRAMOS DE AV. SEPARADORA INDUSTRIAL Y AV. PACHACÚTEC EN EL DISTRITO DE VILLA EL		<b>PROCEDENCIA:</b> TERRENO NATURAL + 2% PET		
<b>SOLICITANTE:</b>	TESISTAS ALEX MARCO ORTEGA CABELLO Y GLORIA INES CAPCHA CAMASITA.		<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 2023-09-18		
<b>DIRECCIÓN SOLICITANTE:</b>	-		<b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 2023-09-29		
DESCRIPCIÓN DE MUESTRA					
MATERIAL/CALICATA:	C-01_M-01		PROFUNDIDAD:	1.10 m - 1.50 m	
COLOR DE MUESTRA:	--		TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA:	No. 4	
CLASIFICACIÓN SUCS:	SILTY SAND		SÍMBOLO:	SM	
MÉTODO UTILIZADO:	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input checked="" type="checkbox"/>		MÉTODO DE PREPARACIÓN:	SECO HÚMEDO	
TAMIZ UTILIZADO:	3/4 in		RETENIDO ACUMULADO:	0 %	
			% DE PASANTE:	100 %	
N° DE MOLDE:	MG-02		VOLUMEN DEL MOLDE (cm³):	2123	
NÚMERO DE ENSAYOS:			MASA DEL MOLDE (g):	6428	
			1	2	3
MASA SUELO + MOLDE (g)			10700	10978	11078
MASA SUELO HÚMEDO COMPACTADO (g)			4272	4550	4650
PESO UNITARIO HÚMEDO (g/cm³)			2.012	2.143	2.190
PESO UNITARIO HÚMEDO (kN/m³)			19.733	21.018	21.479
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°			56	36	11
MASA SUELO HÚMEDO + TARA (g)			456.2	438.5	490.3
MASA SUELO SECO + TARA (g)			435.7	426.0	468.3
MASA DE LA TARA (g)			188.1	304.8	293.6
MASA DE AGUA (g)			20.48	12.53	21.98
MASA DE SUELO SECO (g)			247.60	121.16	174.73
CONTENIDO DE AGUA (%)			8.27	10.34	12.58
PESO UNITARIO SECO (g/cm³)			1.859	1.942	1.946
PESO UNITARIO SECO (kN/m³)			18.231	19.044	19.084
PESO UNITARIO MÁXIMO SECO (g/cm³):			1.955	HUMEDAD ÓPTIMA (%):	
PESO UNITARIO MÁXIMO SECO (kN/m³):			19.172	HUMEDAD DE SAT. 100 %:	
GRAVEDAD ESPECÍFICA:			-		

**CURVA PROCTOR**

Los Resultados de los Ensayos no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Normas de Producto o como Certificado del Sistema de Calidad de LEMICONS S.R.L.  
 Prohibida la Reproducción Total o Parcial, Excepto con Autorización previa por escrito de LEMICONS S.R.L.  
 Los Resultados solo están Relacionados con la Muestra Ensayada. La Muestra ha sido Identificada y Entregada en el Laboratorio por el Cliente bajo su Responsabilidad.



### 7.3 ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)



Nº LEM2309165/01

INFORME DE ENSAYO

Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils ASTM D1883

NOMBRE DE PROYECTO:

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

SOLICITANTE:

DIRECCIÓN SOLICITANTE:

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA MEJORA EN LA RESISTENCIA DE UN DEPÓSITO SUELO ARENA LIMOSO CON INCLUSIÓN DE PET RECICLADO PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR"

AV. PRIMERO DE MAYO ENTRE LOS TRAMOS DE AV. SEPARADORA INDUSTRIAL Y AV. PACHACÚTEC EN EL DISTRITO DE VILLA EL

TESISTAS ALEX MARCO ORTEGA CABELLO Y GLORIA INES CARPIA

CAMASITA

—

PROCEDENCIA: MUESTRA DE CALICATA (TERRENO NATURAL)

FECHA DE RECEPCIÓN: 2023-09-18

FECHA DE EMISIÓN: 2023-09-29

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

MATERIAL/CALICATA:	C-01_M-01	PROFUNDIDAD:	1.10 m - 1.50 m	TMP	No. 4
--------------------	-----------	--------------	-----------------	-----	-------

ENSAYO CBR ASTM D 1883

Molde Nº	10	11	12			
Nº Capa	5	5	5			
Golpes por capa Nº	56	25	10			
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	13075	11174	32562	32715	12130	12330
Peso de molde [g]	6590	6590	8242	8242	9007	8007
Peso del suelo húmedo [g]	4485	4584	4320	4473	4323	4323
Volumen del molde [cm³]	2113	2113	2124	2124	2110	2110
Densidad húmeda [g/cm³]	2.123	2.169	2.034	2.106	1.948	2.043
% de humedad	11.30	13.00	11.20	15.10	11.40	16.81
Densidad seca [g/cm³]	1.907	1.909	1.829	1.830	1.749	1.749
Densidad Máxima Laboratorio [g/cm³]	1.905	1.905	1.905	1.905	1.905	1.905
	100.1	100.2	96.0	96.1	91.8	91.8
Tarro Nº	T-33	T-11	T-06	T-14	T-54	T-02
Tarra + Suelo húmedo [g]	589.67	448.08	553.25	453.12	511.72	389.12
Tarra + Suelo seco [g]	565.79	429.58	528.13	431.55	490.79	361.26
Peso del Agua [g]	23.88	18.48	25.12	21.57	22.93	27.86
Peso del tarro [g]	354.50	293.67	303.81	288.67	289.69	195.52
Peso del suelo seco [g]	211.29	135.91	224.32	142.88	201.10	165.74
% de humedad	11.3	13.6	11.2	15.1	11.4	16.8
Promedio de Humedad (%)						

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO h	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
Sub Total											
Total											
0.0 %											

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN [m]	CARGA	MOLDE Nº 10					MOLDE Nº 11				MOLDE Nº 12			
	STAND.	CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN			
	kg/cm²	kg f	kg/cm²	kg/cm²		%	kg f	kg/cm²		kg/cm²	%	kg f		kg/cm²
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0			
0.025		44.1	2.3			39.2	2.0			43.9	2.3			
0.050		121.9	6.3			95.8	5.2			97.7	5.1			
0.075		230.9	12.0			163.5	8.5			157.9	8.2			
0.100	70	357.8	18.5	-27.5	39.1	236.0	12.2	-15.5	-22.0	209.2	10.8	-10.8	15.4	
0.125		480.1	24.8			308.7	16.0			247.4	12.8			
0.150		634.6	32.8			381.2	19.7			279.7	14.5			
0.175		766.0	39.6			466.2	24.1			303.3	15.6			
0.200	105	917.1	47.5	-56.0	53.3	532.4	27.6	-30.5	-29.0	324.8	16.8	-16.8	16.0	
0.300		1445.3	74.8			801.2	41.5			377.6	19.5			
0.400		1409.6	76.1			786.3	51.1			402.2	20.8			
0.500		1482.0	76.7			1035.0	53.6			420.2	21.7			

Los Resultados de los Ensayos no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Normas de Producto o como Certificados del Sistema de Calidad de LEMICON S.R.L.  
Prohibido la Reproducción Total o Parcial, Excepto con Autorización previa por escrito de LEMICON S.R.L.  
Los Resultados solo están relacionados con la Muestra Brugada. La Muestra ha sido Identificada y Enregistrada en el Laboratorio por el Cliente bajo su Responsabilidad.

Los Resultados solo están relacionados con la Muestra Original. La Muestra ha sido identificada y entregada en el Laboratorio por el Cliente bajo su Responsabilidad.

LEW-LAB-F-12 2013-09-28 Ver. 03

LEMICONS S.R.L. Calle Triforma Mz. 1 Lote 27 Coop. Hueytopallana, Los Olivos - Lima

Tel.: 994236769 / 652-8558

ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 79951

INFORME DE ENSAYO		N° LEM2309165/01																						
<i>Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils ASTM D1883</i>																								
NOMBRE DE PROYECTO:	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA MEJORA EN LA RESISTENCIA DE UN DEPOSITO SUELO ARENA LIMOSO CON INCLUSION DE PET ECICLADO PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR"																							
UBICACIÓN DEL PROYECTO:	AV. PRIMERO DE MAYO ENTRE LOS TRAMOS DE AV. SEPARADORA INDUSTRIAL Y AV. PACHACÚTEC EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR	PROCEDENCIA: MUESTRA DE CALICATA (TERREÑO NATURAL)																						
SOLICITANTE:	TESISTAS ALEX MARCO ORTEGA CABELLO Y GLORIA INES CAPCHA CAMASITA	FECHA DE RECEPCIÓN: 2023-09-18																						
DIRECCIÓN SOLICITANTE:	-	FECHA DE EMISIÓN: 2023-09-29																						
DESCRIPCIÓN DE MUESTRA																								
MATERIAL/CALICATA:	C-01_M-01	PROFUNDIDAD: 1.10 m - 1.50 m																						
		TMP No. 4																						
GRÁFICO DE PENETRACIÓN DE CBR																								
		<table border="1" style="width: 100%;"> <tr><th colspan="2">DATOS DEL PROCTOR</th></tr> <tr><td>Densidad seca</td><td>1.905 g/cm³</td></tr> <tr><td>Óptimo Humedad</td><td>11.3 %</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><th colspan="2">RESULTADOS DE CBR al 0.1 in.</th></tr> <tr><td>CBR al 100 %</td><td>39.1 %</td></tr> <tr><td>CBR al 95 %</td><td>19.7 %</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><th colspan="2">DENSIDAD</th></tr> <tr><td>Densidad al 100 %</td><td>1.905 g/cm³</td></tr> <tr><td>Densidad al 95 %</td><td>1.809 g/cm³</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><th colspan="2">EXPANSIÓN</th></tr> <tr><td>Expansión</td><td>0.0 %</td></tr> </table>	DATOS DEL PROCTOR		Densidad seca	1.905 g/cm³	Óptimo Humedad	11.3 %	RESULTADOS DE CBR al 0.1 in.		CBR al 100 %	39.1 %	CBR al 95 %	19.7 %	DENSIDAD		Densidad al 100 %	1.905 g/cm³	Densidad al 95 %	1.809 g/cm³	EXPANSIÓN		Expansión	0.0 %
DATOS DEL PROCTOR																								
Densidad seca	1.905 g/cm³																							
Óptimo Humedad	11.3 %																							
RESULTADOS DE CBR al 0.1 in.																								
CBR al 100 %	39.1 %																							
CBR al 95 %	19.7 %																							
DENSIDAD																								
Densidad al 100 %	1.905 g/cm³																							
Densidad al 95 %	1.809 g/cm³																							
EXPANSIÓN																								
Expansión	0.0 %																							
EC = 56 GOLPES	EC = 25 GOLPES	EC = 10 GOLPES																						

Los Resultados de los Ensayos no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Normas de Producto o como Certificado del Sistema de Calidad de LEMICONS S.R.L.

Prohibido la Reproducción Total o Parcial, Excepto con Autorización previa por escrito de LEMICONS S.R.L.

Los Resultados solo están relacionados con la Muestra Ensayada. La Muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el Cliente bajo su Responsabilidad.

ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 79951

INFORME DE ENSAYO

N° LEM2309165/02

Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils ASTM D1883

NOMBRE DEL PROYECTO:

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA MEJORA EN LA RESISTENCIA DE UN DEPÓSITO SUELO ARENA LIMOSO CON INCLUSIÓN DE PET RECICLADO PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

AV. PRIMERO DE MAYO ENTRE LOS TRAMOS DE AV. SEPARADORA INDUSTRIAL Y AV. PACHACÚTEC EN EL DISTRITO DE VILLA EL

PROCEDENCIA:

TERREÑO NATURAL + 2% PET

SOLICITANTE

TESTIGAS ALEX MARCO ORTEGA CABELLO Y GLORIA INÉS CARPACHA CAMASITA

FECHA DE RECEPCIÓN:

2023-09-18

DIRECCIÓN SOLICITANTE:

---

FECHA DE EMISIÓN:

2023-09-29

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

MATERIAL/CALICATA:	C-01_M-01	PROFUNDIDAD:	1.10 m - 1.50 m	TMP	No. 4
--------------------	-----------	--------------	-----------------	-----	-------

ENSAYO CBR ASTM D 1883

Molde N°	4	5	6			
Nº Capa	5	5	5			
Golpes por capa Nº	96	25	10			
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	1247.7	1252.6	1301.8	1311.25	1206.5	1225.5
Peso de molde [g]	789.7	789.7	662.8	662.8	783.8	783.8
Peso del suelo húmedo [g]	458.0	462.9	439.0	449.7	422.7	441.7
Volumen del molde [cm³]	2303	2303	2333	2333	2315	2315
Densidad húmeda [g/cm³]	2.178	2.201	2.058	2.308	1.999	2.088
% de humedad	11.30	12.71	11.42	14.20	13.53	16.60
Densidad seca [g/cm³]	1.953	1.953	1.847	1.846	1.792	1.791
Densidad Máxima Laboratorio [g/cm³]	1.955	1.955	1.955	1.955	1.955	1.955
	99.9	99.9	94.5	94.4	93.7	93.6
Tarro N°	T-08	T-98	T-30	T-20	T-11	T-04
Tarro + Suelo húmedo [g]	559.33	443.61	291.58	276.88	533.12	384.91
Tarro + Suelo seco [g]	532.27	427.96	275.28	262.34	508.60	360.90
Peso del Agua [g]	27.06	15.65	16.30	14.50	24.52	24.01
Peso del tarro [g]	296.92	304.81	132.61	160.20	296.02	216.26
Peso del suelo seco [g]	235.35	228.15	142.67	102.14	212.58	144.64
% de humedad	11.5	12.7	11.4	14.2	11.5	16.6
Promedio de Humedad (%)						

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO h	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
Sub Total											
Total											
0.0 %											

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN [in]	CARGA STAND. kg/cm²	MOLDE N° 4				MOLDE N° 5				MOLDE N° 6			
		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
		kg f	kg/cm²	kg/cm²	%	kg f	kg/cm²	kg/cm²	%	kg f	kg/cm²	kg/cm²	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.025		54.7	2.8			36.7	1.9			55.2	2.9		
0.050		163.6	8.5			86.1	4.5			98.9	5.1		
0.075		313.1	16.2			134.0	6.9			153.6	8.0		
0.100	70	489.2	25.3	30.3	51.9	193.4	10.0	14.5	20.6	204.1	10.6	10.6	15.3
0.125		656.3	34.0			257.8	13.3			277.6	14.4		
0.150		845.4	43.8			329.5	17.1			348.2	18.0		
0.175		1030.0	53.3			395.0	20.4			392.7	20.3		
0.200	105	1192.1	61.7	70.0	66.7	464.5	24.0	28.0	26.7	440.7	22.8	22.8	21.7
0.300		1706.1	88.3			722.8	37.4			580.6	30.6		
0.400		1734.0	89.8			972.4	50.3			670.2	34.7		
0.500		1781.4	92.2			1181.2	61.1			690.4	35.7		

Los Resultados de los Ensayos no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Normas de Producto o como Certificación del Sistema de Calidad de LEMCONG S.R.L.  
Prohibida la Reproducción Total o Parcial. Excepto con Autorización previa por escrito de LEMCONG S.R.L.  
Los Resultados, solo están homologados con la Muestra Ensayada. La Muestra ha sido identificada y Etiquetada en el Laboratorio por el Cliente bajo su Responsabilidad.

ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 79951

INFORME DE ENSAYO		N° LEM2309165/02																						
<i>Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils ASTM D1883</i>																								
NOMBRE DE PROYECTO:	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA MEJORA EN LA RESISTENCIA DE UN DEPOSITO SUELO ARENA LIMOSO CON INCLUSIÓN DE PET E OCLADO PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR"																							
UBICACIÓN DEL PROYECTO:	AV. PRIMERO DE MAYO ENTRE LOS TRAMOS DE AV. SEPARADORA INDUSTRIAL Y AV. PACHACÚTEC EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR	PROCEDENCIA: TERRENO NATURAL + 2% PET																						
SOLICITANTE:	TESISTAS ALEX MARCO ORTEGA CABELLO Y GLORIA INES CAPCHA CAMASITA	FECHA DE RECEPCIÓN: 2023-09-18																						
DIRECCIÓN SOLICITANTE:	-	FECHA DE EMISIÓN: 2023-09-29																						
DESCRIPCIÓN DE MUESTRA																								
MATERIAL/CALICATA:	C-01_M-01	PROFUNDIDAD: 1.10 m - 1.50 m																						
		TMP No. 4																						
GRÁFICO DE PENETRACIÓN DE CBR																								
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS DEL PROCTOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Densidad Seca</td> <td>1.955 g/cm³</td> </tr> <tr> <td>Óptimo Humedad</td> <td>11.6 %</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">RESULTADOS DE CBR al 0.1 in</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CBR al 100 %</td> <td>51.9 %</td> </tr> <tr> <td>CBR al 95 %</td> <td>22.8 %</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DENSIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Densidad al 100 %</td> <td>1.955 g/cm³</td> </tr> <tr> <td>Densidad al 95 %</td> <td>1.857 g/cm³</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">EXPANSIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Expansión</td> <td>0.0 %</td> </tr> </tbody> </table>	DATOS DEL PROCTOR		Densidad Seca	1.955 g/cm³	Óptimo Humedad	11.6 %	RESULTADOS DE CBR al 0.1 in		CBR al 100 %	51.9 %	CBR al 95 %	22.8 %	DENSIDAD		Densidad al 100 %	1.955 g/cm³	Densidad al 95 %	1.857 g/cm³	EXPANSIÓN		Expansión	0.0 %
DATOS DEL PROCTOR																								
Densidad Seca	1.955 g/cm³																							
Óptimo Humedad	11.6 %																							
RESULTADOS DE CBR al 0.1 in																								
CBR al 100 %	51.9 %																							
CBR al 95 %	22.8 %																							
DENSIDAD																								
Densidad al 100 %	1.955 g/cm³																							
Densidad al 95 %	1.857 g/cm³																							
EXPANSIÓN																								
Expansión	0.0 %																							
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>EC = 56 GOLPES</span> <span>EC = 25 GOLPES</span> <span>EC = 10 GOLPES</span> </div>																								

Los Resultados de los Ensayos no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Normas de Producto o como Certificado del Sistema de Calidad de LEMICONS S.R.L.  
 Prohibida la Reproducción Total o Parcial, Excepto con Autorización previa por escrito de LEMICONS S.R.L.  
 Los Resultados solo están Relacionados con la Muestra Ensayada. La Muestra ha sido Identificada y Entregada en el Laboratorio por el Cliente bajo su Responsabilidad.

**ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 79951