

## **Análisis del comportamiento de las propiedades mecánicas de un suelo limo arcilloso mediante la incorporación de tereftalato de polietileno (PET) triturado**

Item Type	info:eu-repo/semantics/bachelorThesis
Authors	Palomino Miranda, Renzo Elehazar; Trujillo Vidal, Alessandra Patricia
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	info:eu-repo/semantics/openAccess
Download date	25/11/2024 00:10:42
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/10757/655600">http://hdl.handle.net/10757/655600</a>



**UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

Análisis del comportamiento de las propiedades mecánicas de un suelo limo  
arcilloso mediante la incorporación de tereftalato de polietileno (PET)  
triturado

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Civil

**AUTOR(ES)**

Palomino Miranda, Renzo Elehazar (0000-0002-5250-154X)

Trujillo Vidal, Alessandra Patricia (0000-0002-0256-6388)

**ASESOR**

Pacheco Miranda, Lidia (0000-0002-5524-5182)

**Lima, 21 de marzo de 2021**

## **DEDICATORIA**

*Dedico esta tesis a mis padres, Luis y Magaly, por ser mi motor, por su apoyo desinteresado y la educación que me siguen brindando día a día. A mis hermanos, abuela y demás familiares por sus consejos y por ser el soporte que muchas veces necesité, muchos de mis logros se los debo a ellos.*

***Renzo Elehazar Palomino Miranda***

*A mis abuelos Noria y Ernesto por su infinito amor y apoyo durante cada etapa de mi vida.*

*A mis padres María y William por darme soporte durante estos años de formación profesional.*

***Alessandra Patricia Trujillo Vidal***

## AGRADECIMIENTOS

En grato rescatar, que, esta investigación merece ser reconocida como un trabajo en equipo con nuestra asesora la Ing. Lidia Pacheco, quien ha sido como una madre para nosotros durante este proceso, que ha sabido guiarnos y motivarnos para no desistir en el camino.

## RESUMEN

El presente documento presenta un estudio basado en el análisis del comportamiento de las propiedades mecánicas de un suelo limo arcilloso con la incorporación de fibras de PET triturado.

Para conocer el comportamiento de un suelo, es necesario conocer primero su génesis. Las muestras analizadas provienen de la capa de subrasante de una carretera que une las ciudades de Munichis y Yurimaguas, en el departamento de Loreto, Perú. El tipo de suelo en las zonas de selva baja suele tener características como bajo índice de soporte, media a elevada plasticidad, y demás características que lo hacen considerar como un suelo problemático, esto debido a factores como el clima, humedad, y ubicación geográfica. Para realizar un análisis preciso del comportamiento de este suelo en combinación con el PET, se llevó a cabo ensayos como la prueba del hidrómetro, Proctor modificado y CBR con porcentajes variables de PET respecto a la masa de la muestra de suelo. Cada uno de ellos, principalmente, para conocer bien el tipo de muestra, y el índice de soporte con cada porcentaje incorporado. Los resultados son evidencia que mientras mayor sea el porcentaje de PET, el suelo pierde características resistentes, por lo que su índice de soporte disminuye; por el contrario, mientras menor es el porcentaje de PET incorporado, el índice de soporte se incrementa. En suma, para poder conocer el comportamiento esperado, es necesario realizar distintas pruebas, y haciendo uso de distintos tipos de suelos.

**Palabras clave**—Limo arcilloso; PET; CBR; carreteras; subrasantes.

Analysis of the behavior of the mechanical properties of a silty clay soil incorporating  
crushed polyethylene terephthalate (PET)

ABSTRACT

This study is based on the analysis of the behavior of the mechanical properties of a silty clay soil with crushed PET fibers incorporated.

To understand the behavior of a soil, it is necessary to know its origin. The analyzed samples come from the subgrade layer of a highway that connects the cities of Munichis and Yurimaguas, in the region of Loreto, Peru. The material in this area usually has characteristics such as low support index, medium to high plasticity, and other characteristics that make it considered a problematic soil, this due to factors such as climate, humidity, and geographical location. To perform a precise analysis of the behavior of this soil in combination with PET, tests such as the hydrometer test, Modified Proctor and CBR with different percentages of PET, were carried out. to the mass of the sample. Each of them mainly to know well the type of sample, and the support index with each percentage incorporated. The results show that as higher the percentage of PET, the soil loses resistant characteristics, so its support index decrease, on the other hand, the lower percentage of PET used, the support index increases. In summary, to know the expected behavior, it is necessary to carry out different tests, and make use of different types of soil.

**Keywords**— Clayey silt; PET; sustainability; CBR; roads; subgrade of pavements.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>2</b>
2.1	MÉTODO .....	2
2.2	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES .....	2
2.2.1	Suelo .....	2
2.2.2	Tereftalato de polietileno .....	3
2.3	METODOLOGÍA .....	4
2.3.1	Preparación de las probetas de ensayo .....	4
2.3.2	Ensayo de Proctor modificado .....	4
2.3.3	Ensayo de CBR .....	5
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>10</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I LÍMITES DE ATTERBERG .....	3
Tabla II PROCTOR MODIFICADO .....	5
Tabla III MÁXIMA DENSIDAD SECA (MDS) ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (OCH) .....	5
Tabla IV VALOR DE CBR PARA DISTINTOS PORCENTAJES DE PET.....	6



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Perfil del suelo .....	3
Figura 2 PET en proceso de secado.....	4
Figura 3 Gráfica de contenido de humedad vs. densidad seca .....	5
Figura 4 Curva de máxima densidad seca y porcentaje de CBR.....	6
Figura 5 Gráfica de Contenido porcentual de PET respecto de la masa del suelo y su respectivo valor de CBR.....	7

## 1 INTRODUCCIÓN

La realidad actual hace que cada día aparezcan nuevas tecnologías, más baratas, más eficientes, y ahora con mayor relevancia, más amigables con el planeta. En el sector de la ingeniería civil, se realizan constantes estudios para solucionar diferentes problemas con estas nuevas tecnologías, concretamente, en el ámbito del transporte, la infraestructura vial y la geotecnia. En el caso de la geotecnia, uno de los más recurrentes y difíciles de trabajar son las bajas resistencias que ofrecen los suelos arcillosos y limo-arcillosos. Este tipo de material suele encontrarse en construcciones de pavimentos flexibles o en distintos proyectos geotécnicos, para ello, se necesita buscar soluciones económicas y que, en lo posible, permitan el aprovechamiento del terreno existente en la zona.

Frente a lo mencionado en el párrafo anterior, existen investigaciones que involucran tanto la solución del problema del tipo de suelo como el manejo de una tecnología amigable con el planeta para lograrlo. Esta tecnología radica principalmente en el uso de tereftalato de polietileno (PET), ya que su uso puede reducir la contaminación ambiental que se produce por el uso excesivo de este material utilizado principalmente en botellas de plástico. Por ejemplo, la investigación realizada por Dos Santos N., Cardoso J.A. y Dal Toé Casagrande M. En 2019, evalúa el comportamiento mecánico de un suelo arcilloso mezclado con 10%, 20% y 30% de PET triturado fino y con 3% y escamas de PET al 5% por ensayos triaxiales, que muestran mejoras considerables en el ángulo de fricción y una ligera disminución de la cohesión[4]. Asimismo, Botero, Ossa, Sherwell y Obando-Shelley en una publicación realizada en el 2015 comprueban que al utilizar PET reciclado en muestras de suelo con dosificaciones específicas (0.0, 0.1, 0.3, 0.6 y 1.0%) respecto a la masa de suelo, éstas presentan mejorías respecto a sus características mecánicas como lo es un aumento de la cohesión y disminución del ángulo de fricción, por el motivo que existe una mayor área de contacto entre las partículas de suelo[1]. Con ello, nos demuestran que es posible que estos nuevos materiales se puedan utilizar en innumerables aplicaciones en la ingeniería geotécnica.

Esta investigación muestra los resultados de las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso limoso obtenido de la capa de subrasante de un pavimento flexible, mediante la

incorporación de tereftalato de polietileno (PET) reciclado de botellas de plástico. Una de las razones básicas de este enfoque es reducir la enorme acumulación de botellas de plástico que sin duda es una amenaza para el medio ambiente. El otro radica en el problema de la mala respuesta de los suelos arcillosos de la subrasante cuando se someten a cargas de servicio en pavimentos flexibles. Los estudios revelan que el valor CBR del suelo natural mezclado con una dosis adecuada de PET muestra incrementos interesantes, así como mejoras en sus propiedades mecánicas. En virtud del incremento obtenido, se puede establecer un valor de PET óptimo para alcanzar los valores de CBR requeridos para este tipo de proyectos.

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Método

El nivel de investigación es explicativo, ya que es necesario verificar y comparar los resultados obtenidos con los de investigaciones previas. Además, el diseño de investigación a utilizar es experimental, debido a la evaluación que se realizará al índice de soporte del suelo arcilloso limoso reforzado con PET triturado.

### 2.2 Propiedades de los materiales

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron dos materiales, uno considerado material de construcción incontable y el otro considerado residuo reciclable. El primer material utilizado fue suelo a nivel de subrasante en un camino de la selva peruana a una profundidad aproximada de 1,50 metros y el segundo material fue PET de botellas trituradas, que se obtuvo mediante un proceso de reciclaje mecánico.

#### 2.2.1 Suelo

La muestra de suelo extraída en Yurimaguas fue transportada al laboratorio ubicado en Tarapoto para ser analizada y obtener sus propiedades mecánicas. La distribución porcentual del contenido de los diferentes tipos de suelo como grava, arena, limos y arcillas fueron 0%, 8,10%, 45,1% y 34% respectivamente.

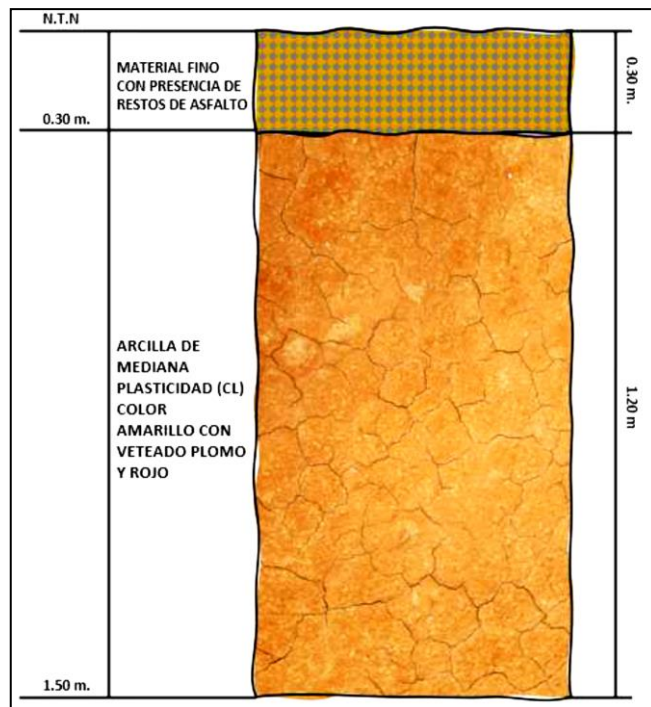


Figura 1 Perfil del suelo

En la **Fig. 1** se muestra el perfil del suelo estudiado. Esta muestra de suelo presentó los siguientes límites de Atterberg que se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1 LÍMITES DE ATTERBERG

Límites de Atterberg		
<i>LL</i> (%)	<i>LP</i> (%)	<i>IP</i> (%)
35.00	20.70	14.30

a. Los límites de Atterberg indican que se trata de un suelo de mediana plasticidad.

La clasificación correspondiente a la muestra de suelo por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS, y la Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportes, AASHTO, son CL-Arcilla de plasticidad media o Saprolita limosa **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** según el Sistema Tropical Compacto Miniatura MCT y A-6 (10) respectivamente.

Además, las características mecánicas como el contenido óptimo de agua y la máxima densidad seca obtenida de la prueba de compactación fueron 12,12% y 18,5 kN / m<sup>3</sup>.

### 2.2.2 Tereftalato de polietileno

Primero, el material plástico se lava y se deja secar por un tiempo igual a 24 horas. A continuación, el PET triturado se tamiza para obtener posteriormente una granulometría

uniforme. La mezcla de suelo se delimita con PET a través de la malla No. 4 y se retiene en la malla No. 10.



*Figura 2 PET en proceso de secado*

## 2.3 Metodología

### 2.3.1 Preparación de las probetas de ensayo

Cada probeta está compuesta por dos componentes principales que son el suelo y la adición de PET. El porcentaje de participación de cada componente será variable respecto a su masa; y, es importante mencionar que las masas de ambos componentes se entrelazan mediante el proceso mecánico de mezcla. De esta manera, la adición de PET se encontrará en cada capa a compactar de la probeta para el siguiente paso que es el ensayo de Proctor modificado.

### 2.3.2 Ensayo de Proctor modificado

Una vez distribuido el porcentaje determinado para cada espécimen de suelo a evaluar se procede a iniciar con el ensayo de Proctor modificado donde se distribuye por capas y con aplicación uniforme de energía mediante la caída de un pisón a una determinada altura por 56 veces para cada capa y se realiza la compactación. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Según la norma AASHTO T-180 que especifica el proceso de ejecución del ensayo de Proctor modificado por el método de compactación C se obtuvieron los siguientes resultados de contenido de humedad y densidad seca, valores con los que se formará la curva de compactación como se muestra en la Tabla II.

Tabla II PROCTOR MODIFICADO

PROCTOR MODIFICADO-C		
Nº CÁPSULA	W%	DS (gr/cm3)
1	4.84	1.978
2	6.44	2.079
3	8.94	2.046
4	10.79	1.954

a. Contenido de humedad de las muestras con su respectivo peso seco para la obtención de la curva de compactación

De esta manera, se obtiene el valor óptimo de contenido de humedad (OCH) y máxima densidad seca (MDS) en la **Fig. 3** denominada curva de compactación.

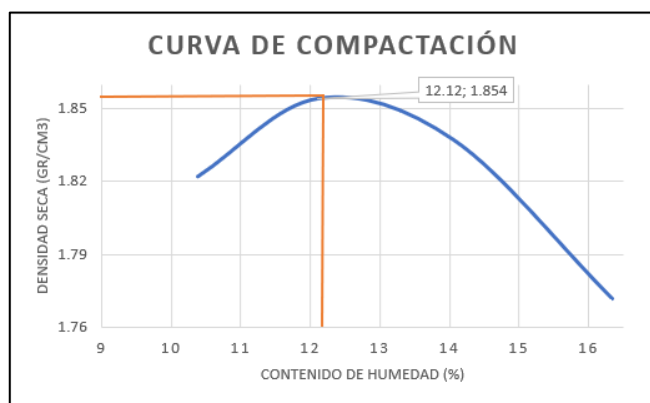


Figura 3 Gráfica de contenido de humedad vs. densidad seca

Finalmente, se resume en la siguiente tabla los valores correspondientes a la Máxima densidad seca (MDS) y Óptimo contenido de humedad (OCH).

Tabla III MÁXIMA DENSIDAD SECA (MDS) ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (OCH)

MDS (gr/cm3)	OCH (%)
1.855	12.5

a. El óptimo contenido de humedad es de 12.5% a una densidad seca de 1.855gr/cm3

### 2.3.3 Ensayo de CBR

Mediante el ensayo de California bearing ratio (CBR) se puede obtener el valor del índice de soporte del suelo en laboratorio.

Para la conformación de la curva de CBR tomaremos los valores de densidad seca cuando se aplicó la siguiente cantidad de energía: 12, 26 y 56 golpes respectivamente, teniendo en cuenta que al aplicarse la cantidad máxima de energía se obtiene la máxima densidad seca.

El valor de CBR admitido para este escenario es el correspondiente al 95% de la máxima densidad seca del suelo por tratarse del nivel de subrasante. En este sentido, teniendo en cuenta el valor de la máxima densidad seca para la calicata n°2 igual a 1.854 gr/cm<sup>3</sup> el 95% es representado por el valor de 1.761 gr/cm<sup>3</sup>.

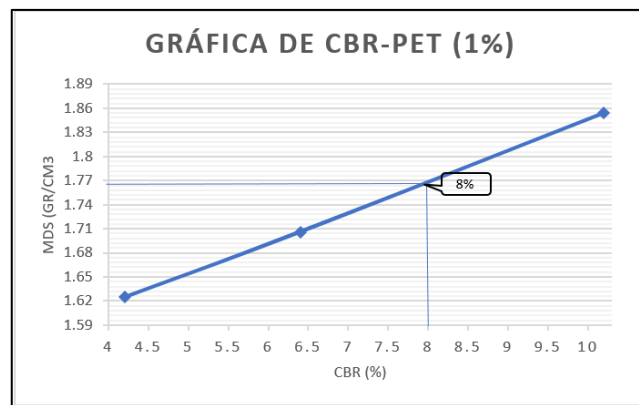


Figura 4 Curva de máxima densidad seca y porcentaje de CBR

Según los resultados obtenidos, el valor de CBR al 95% de la máxima densidad seca es igual a 8.0%.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores mostrados en la tabla anterior son referentes al 100% del valor de la máxima densidad seca del suelo; sin embargo, para determinar el valor de CBR para el suelo a nivel de subrasante se debe considerar el 95% de la máxima densidad seca. En ese sentido, se detallará en la siguiente tabla el resumen de CBR al 95% de la máxima densidad seca y en los cinco escenarios de dosificación de PET chancado y triturado.

Tabla IV VALOR DE CBR PARA DISTINTOS PORCENTAJES DE PET

CBR (%)		
%PET	95% MDS	CBR
1	1.85	8.0
3	1.806	6.2

4	1.775	6.2
5	1.798	6.0
10	1.723	4.2
15	1.709	3.2

a. Valores de CBR al 95% de la MDS

De la Tabla IV, se observa que para el 95 % de la MDS hay un incremento del CBR en el porcentaje de 1%. Este comportamiento es debido a que se produce mayor fricción entre las partículas de suelo con la adición de PET, lo que genera una mayor adherencia. Sin embargo, en los porcentajes de PET de 3%, 5%, 10% y 15% el CBR disminuye, resultado con el que se deduce que, al existir mayor cantidad de PET dentro del suelo, existe una menor adherencia entre las partículas de limo y arcilla con el PET, adicionalmente, la característica del PET de poseer una superficie plana y lisa influye en los resultados, reduciendo así su CBR.

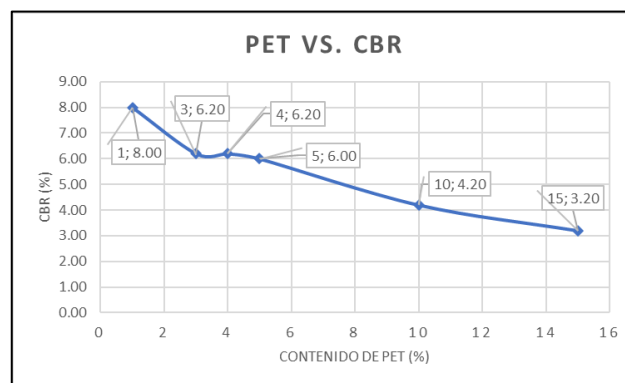


Figura 5 Gráfica de Contenido porcentual de PET respecto de la masa del suelo y su respectivo valor de CBR.

#### 4 CONCLUSIONES

- El suelo se caracterizó por ser limo arcilloso de plasticidad media. De la misma forma, la clasificación del PET triturado considerado fue solo el traspaso de la malla no. 4 y retenido en la malla no. 10 para cumplir con los requisitos establecidos para la realización de la investigación.



- El suelo sin la adición de PET tiene un CBR de 6.4%, cuando se agrega un porcentaje óptimo (1%) de PET, se logra un aumento de CBR hasta 8.0 % en base a las pruebas realizadas.
- Al mejorar el CBR, es posible mejorar las propiedades mecánicas y obtener un suelo adecuado para ser utilizado en pavimentos flexibles o proyectos geotécnicos que se requieran; sin embargo, se deben respetar los requisitos de cada proyecto de acuerdo con la normativa y especificaciones.
- También se concluye que, si el porcentaje de incorporación de PET supera el 5%, las propiedades mecánicas del suelo limo arcilloso se ven afectadas negativamente ya que pierde propiedades de cohesión debido principalmente a la superficie lisa del PET. Adicionalmente, el suelo estudiado muestra comportamientos interesantes que se diferencian de los resultados de los estudios en la literatura previamente revisada, lo que demuestra que, si bien los suelos presentan similitudes en forma, colores y algunas características mecánicas, el comportamiento de cada uno es único, y difícilmente predecible.



## 5 REFERENCIAS

- [1] Botero, E., Ossa , A., Sherwell , G., & Obando-Shelley, E. (2015). Stress-strain behavior of a silty reinforced with polyethylene terephthalate (PET). *Geotextiles and Geomembranes*, 363-369.
- [2] Carrillo, A. (1994). Caracterización de los Suelos Tropicales del Perú. *X Congreso Nacional de ingeniería Civil, Lima, Perú*. Recuperado el 25 de Abril de 2020, de [https://www.academia.edu/6887153/GEOTECNIA\\_DE\\_LOS\\_SUELOS\\_PERUANOS\\_PROPIEDADES\\_DE\\_LOS\\_SUELOS\\_TROPICALES\\_DEL\\_PERU\\_PROPERTIES\\_OF\\_THE\\_PERUVIAN\\_TROPICAL\\_SOILS](https://www.academia.edu/6887153/GEOTECNIA_DE_LOS_SUELOS_PERUANOS_PROPIEDADES_DE_LOS_SUELOS_TROPICALES_DEL_PERU_PROPERTIES_OF_THE_PERUVIAN_TROPICAL_SOILS)
- [3] Carrillo, A. (2016). Comportamiento del Suelo Tropical Peruano. *PERFILES DE INGENIERÍA*, 12(12,2016), 27-35.
- [4] Dos Santos, N., Cardoso, J., & Dal Toé, M. (2019). Behavior of clayey soil reinforced with polyethylene terephthalate. *Journal of Materials in Civil Engineering*..
- [5] MTC E 132-2000. (2006). Ensayo de CBR . Norma E 050. Lima, Lima, Perú: El Peruano. Recuperado el 25 de Abril de 2020, de NTP339.141.