



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DE LAS ESCAMAS DE TEREFTALATO DE
POLIETILENO (FLAKE PET) EN EL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO DE LOS SUELOS ARENO-LIMOSOS DEL DISTRITO
DE LA MOLINA**

PRESENTADA POR

**JUAN JHORDING SINCHE LAVADO
JOSTIN MARTIN ZEVALLOS QUEVEDO**

ASESOR

EFRAIN CHAMBI LARICO

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2019



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTIN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DE LAS ESCAMAS DE TEREFTALATO DE
POLIETILENO (FLAKE PET) EN EL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO DE LOS SUELOS ARENO-LIMOSOS DEL
DISTRITO DE LA MOLINA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

**SINCHE LAVADO, JUAN JHORDING
ZEVALLOS QUEVEDO, JOSTIN MARTIN**

LIMA – PERÚ

2019

Dedicatoria

Dedico la presente tesis a mis padres. Todo lo que soy y puedo llegar a ser es gracias a ellos.

Juan Jhording Sinche Lavado

A Dios, a mis padres ya que sin ellos no hubiese llegado tan lejos; a mis hermanos por darme la motivación para seguir esforzándome; a mi pareja que siempre me ha apoyado en todo momento; y a los docentes en general que nos brindan su tiempo para que lleguemos a ser profesionales.

Jostin Martin Zevallos Quevedo

Agradecimientos

A nuestros profesores de la Universidad San Martín de Porres por habernos guiado durante nuestra época universitaria, a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura por brindarnos sus instalaciones para poder realizar nuestros ensayos y a los ingenieros que nos guiaron durante la ejecución de la presente investigación.

ÍNDICE

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
INTRODUCCIÓN.....	III
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Antecedentes históricos.....	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.2.1. Formulación del problema	3
1.2.2. Problemas secundarios.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Justificación e importancia.....	4
1.5. Alcances y limitaciones.....	4
1.5.1. Alcances	4
1.5.2. Limitaciones	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.2. Bases teóricas	22
2.2.1. Suelos tipo dos: areno-limosos.....	22
2.2.2. Escamas de tereftalato de polietileno (flake PET)	23
2.2.3. Capacidad portante	24
2.2.5. Límites de Atterberg	27

2.2.6.	Análisis granulométrico por tamizado	27
2.2.7.	Sistema unificado de clasificación de suelos	30
2.2.8.	Ensayo de gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua	31
2.2.9.	Ensayo de Proctor estándar	32
2.2.10.	Corte directo (consolidado drenado)	33
2.3.	Definiciones de términos básicos	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		38
3.1.	Tipología	38
3.1.1.	Tipo de investigación.....	38
3.1.2.	Nivel de investigación.....	38
3.1.3.	Diseño de la investigación.....	38
3.2.	Variables.....	39
3.2.1.	Variable independiente.....	39
3.2.2.	Variable dependiente	39
3.4.	Población y muestra	41
3.4.1.	Población	42
3.4.2.	Muestra	42
3.5.	Técnicas de investigación.....	43
3.6.	Instrumentos de recolección de datos	43
3.7.	Procesamiento de datos.....	43
CAPÍTULO IV: DESARROLLO		45
4.1.	Hipótesis.....	45
4.1.1.	Cuantificación de la hipótesis	45
4.1.2.	Hipótesis general	46
4.1.3.	Hipótesis específicas.....	46
4.2.	Caso de investigación.....	47
4.3.	Procedimiento de trabajo	47
4.3.1.	Trabajos preliminares.....	47
4.3.2.	Límites de consistencia	50
4.3.3.	Análisis granulométrico por tamizado	53
4.3.4.	Caracterización según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	56

4.3.5. Ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua	58
4.3.6. Compactación del suelo con energía estándar (Proctor estándar) 60	
4.3.7. Ensayo de corte directo.....	62
4.3.8. Capacidad de cargas aplicadas.....	66
CAPÍTULO V: RESULTADOS	70
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES.....	79
FUENTES DE INFORMACIÓN	80
ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Humedad óptima y peso específico máximo	16
Tabla 2: Propiedades físicas y químicas del PET	21
Tabla 3: Tamices y sus aberturas	29
Tabla 4: Tiempo de reposo de los suelos según el tipo	34
Tabla 5: Operacionalización de variables	40
Tabla 6: Matriz de consistencia	44
Tabla 7: Límite líquido	51
Tabla 8: Límite plástico	51
Tabla 9: Tamices de malla cuadrada.....	53
Tabla 10: Análisis granulométrico por tamizado para la muestra de suelo a estudiar.....	54
Tabla 11: Cuadro de descripción y nomenclatura de las proporciones a ensayar.....	55
Tabla 12: Indicadores para la clasificación del suelo en el laboratorio	56
Tabla 13: Proporción areno-limosa y PET	58
Tabla 14: Gravedad específica.....	59
Tabla 15: Ensayo de gravedad específica.....	59
Tabla 16: Ensayo de Proctor	60
Tabla 17: Ensayo de Proctor al suelo + PET	62
Tabla 18: Tiempo de consolidación según el tipo de material	65
Tabla 19: Datos de ángulo de fricción y cohesión para las proporciones suelo-PET	66
Tabla 20: Resultados obtenidos sobre el ángulo de fricción interno, la cohesión, las dimensiones de la cimentación y la gravedad específica	68
Tabla 21: Resultados obtenidos sobre los factores de carga, los factores de forma, los factores de profundidad y los factores de inclinación	69
Tabla 22: Resultados obtenidos sobre la capacidad portante última y la capacidad portante admisible	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características físicas de la arcilla de estudio	16
Figura 2. Curvas de compactación.....	17
Figura 3. Resultados de las pruebas triaxiales para el C97F03 y el suelo arcilloso	18
Figura 4. Resultados de las pruebas triaxiales para el C95F05 y el suelo arcilloso	19
Figura 5. Suelo areno-limoso del distrito de La Molina	22
Figura 6. Escamas de tereftalato de polietileno (flake PET)	23
Figura 7. Fórmulas de capacidad portante última de Terzaghi	24
Figura 8. Ecuación de Meyerhof	26
Figura 9. Cuchara de Casagrande	27
Figura 10. Balanzas de sensibilidad de 0.01 g y 0.1%	28
Figura 11. Horno eléctrico	28
Figura 12. Envase para el contenido de material	29
Figura 13. Ensayo de corte directo	33
Figura 14. Punto de extracción de muestra de suelo	41
Figura 15. Ubicación de la empresa San Miguel Industrias	41
Figura 16. Puerta de ingreso de la empresa San Miguel Industrias	42
Figura 17. Procedimiento de trabajo	43
Figura 18. Tipo de suelo a 1 metro de profundidad	48
Figura 19. Tipo de suelo a 2 metros de profundidad	48
Figura 20. Ubicación de la muestra.....	49
Figura 21. Recolección de muestra a 1.60 m de profundidad	50
Figura 22. Materiales utilizados para el ensayo de Límite de Atterberg.....	52
Figura 23. Elaboración del límite de Atterberg	52
Fuente: los autores Figura 24. Curva granulométrica para el material destinado a investigar	54
Figura 25. Tamizado y obtención de las escamas de tereftalato retenidas por la malla N° 4 y la N° 8 respectivamente	55
Figura 26. Definición de los tipos de suelo	57
Figura 27. Caracterización de la muestra.....	57

Figura 28. Curva de densidad seca vs. humedad (%)	61
Figura 29. Comparativa de curvas de suelo + PET	61
Figura 30. Cámara de corte	63
Figura 31. Extracción de la muestra compactada en un ensayo Proctor estándar	63
Figura 32. Remoldeo de los especímenes para la cámara de corte	64
Figura 33. Guardado de los especímenes en una bolsa impermeable	64
Figura 34. Lectura del desplazamiento y la fuerza registrada en la máquina de corte directo	65
Figura 35. Profundidad de obtención de muestra de suelo a estudiar: 1.60 m	67
Figura 36. Detalles de la cimentación	68
Figura 37. Gráfico comparativo de contenido de humedad	71
Figura 38: Porcentaje de variación en el contenido de humedad	71
Figura 39. Gráfico comparativo de ángulos de fricción.....	73
Figura 40. Gráfico comparativo de ángulos de fricción.....	73
Figura 41. Gráfico comparativo de capacidades portantes últimas	74
Figura 42: Gráfico comparativo de capacidades portantes admisibles.....	75
Figura 43: Variación porcentual en las capacidades portantes	75
Figura 44: Gráfico comparativo de densidad seca	76

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	84
Anexo 2. Certificado de calibración de balanza digital de 500 gr.....	85
Anexo 3. Certificado de calibración de balanza digital a dos decimales	86
Anexo 4. Certificado de calibración de balanza digital de 15 kg	87
Anexo 5. Certificado de calibración de sistema digital de corte directo	88
Anexo 6. Información del equipo del sistema digital.....	89
Anexo 7. Gráfico N° 1 de calibración del sistema digital	90
Anexo 8. Verificación de dial horizontal del sistema digital.....	91
Anexo 9. Verificación de dial vertical del sistema digital.....	92
Anexo 10. Descripción del horno de laboratorio	93
Anexo 11. Certificado de calibración del horno de laboratorio.....	94
Anexo 12. Ensayo para un valor esperado de 110 °C del horno de laboratorio	95
Anexo 13. Gráfico de variabilidad de temperatura para 110 °C del horno de laboratorio	96
Anexo 14. Certificado de calibración del sistema digital	97
Anexo 15. Informe del equipo de sistema digital	98
Anexo 16. Tabla N° 1 de calibración de sistema digital	99
Anexo 17. Gráfico N° 1 de calibración de sistema digital	100
Anexo 18. Certificado de calibración de tamizador eléctrico	101
Anexo 19. Tabla de indicación patrón cronómetro Casio de tamizador eléctrico	102
Anexo 20. Compactación-Proctor estándar para proporciones del aditivo	103
Anexo 21. Compactación-Proctor estándar para la muestra de suelo	104
Anexo 22. Análisis granulométrico y ensayo de laboratorio de suelo areno-limoso	105
Anexo 23. Corte directo areno-limoso (100S)	106
Anexo 24. Corte directo 2.5PET-97.5S	107
Anexo 25. Corte directo 5PET-95S.	108
Anexo 26. Corte directo 7.5PET-92.5S.	109
Anexo 27. Corte directo 10PET-90S.	110

RESUMEN

La presente tesis es de enfoque cuantitativo, ya que evalúa en qué medida inciden las escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en los suelos areno-limosos del distrito de La Molina. El objetivo es determinar, mediante ensayos de laboratorio, la influencia de las escamas de tereftalato de polietileno en los suelos areno-limosos del distrito de La Molina para mejorar su comportamiento mecánico. A continuación, se presenta un breve resumen de los capítulos que constituyen el proyecto realizado.

El capítulo 1 detalla el contexto del suelo de estudio, propio del distrito de La Molina, y la procedencia del tereftalato de polietileno. En el capítulo 2 se mencionan los diferentes métodos existentes para mejorar el suelo, y la introducción a los ensayos realizados para definir las características físicas y mecánicas del suelo y el aditivo. El capítulo 3 plantea las características de la presente tesis, así como también la forma de aprovechar dichos estudios. Por último, el capítulo 4 trata sobre los resultados obtenidos después de haber realizado distintos ensayos. Estos resultados son expresados en tablas y figuras con la finalidad de facilitar su interpretación, e indican que el contenido de humedad disminuye en todas las proporciones en las cuales se encuentra el aditivo. Por su parte, el ángulo de fricción aumenta solo cuando se adiciona un 2.5% de flake PET a la muestra de suelo, de la misma forma sucede con los resultados de la capacidad portante.

Palabras clave: escamas de tereftalato de polietileno (flake PET), suelo areno-limoso del distrito de La Molina, comportamiento mecánico.

ABSTRACT

This thesis has a quantitative approach since it evaluates to what extent the polyethylene terephthalate flakes (PET flakes) affect the sandy loam soils of the district of La Molina. The objective is to determine through laboratory test the impact of PET flakes on the sandy loam soils of the district of La Molina to improve their mechanical behavior. A brief summary of the chapters that make up this project is presented below.

Chapter 1 describes the context of the soil under study and the source of the polyethylene terephthalate. Chapter 2 mentions the different existing methods to improve the soil, and introduces the test conducted to define the physical and mechanical features of the soil and the additive. Chapter 3 points out the characteristics of this thesis and how to take advantage of these studies. Finally, Chapter 4 addresses the results obtained after performing different test. These results are displayed in table and figures to aid their interpretation, and indicate that the moisture content decreases in every proportion where the additive is present. Additionally, the friction angle increases only when 2.5% of PET flakes are added to the soil sample, and the same happens to the results for the bearing capacity.

Key words: polyethylene terephthalate flakes (PET flakes), sandy loam soil of the district of La Molina, mechanical behavior.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo detalla la incidencia de incorporar escamas de tereftalato de polietileno (comúnmente llamadas flake PET por su traducción al inglés) a un terreno areno-limoso proveniente del distrito de La Molina con la finalidad de mejorar estructuralmente la baja capacidad portante de este suelo. De esta manera, se aprovecharán las características físicas y químicas propias del aditivo en cuestión.

Las escamas de tereftalato de polietileno son retazos producto del triturado homogéneo de envases plásticos de bebidas. Estos son rescatados justo antes de comenzar su conversión a resina de PET, materia prima con la cual se generan envases plásticos reciclados. Incorporar este material al estudio resulta factible debido al gran potencial de beneficios con los cuales cuenta. Entre las características más destacadas de este producto encontramos su gran durabilidad, la alta resistencia a solicitudes mecánicas, la estupenda resistencia que aporta antes de ceder a esfuerzos permanentes y la rápida disposición con que se consigue. Por tales motivos se busca explotar este elemento en el área de la Ingeniería Civil tratando de aprovechar sus bondadosas características, en este caso en los suelos con poca capacidad portante.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes históricos

En este apartado trataremos sobre tres temas fundamentales: un breve recuento histórico del estudio de los suelos, otro del distrito limeño sobre el que trata esta investigación y, finalmente, acerca del componente o material que será materia de este estudio.

Braja M. Das (2015) en *Fundamentos de ingeniería geotécnica* explica que los granos que conforman el suelo en su fase sólida son el producto de la erosión y la intemperización de la roca.

El origen del uso de los terrenos con fines estructurales es desconocido; sin embargo, en la actualidad se sabe que el estudio de suelos desde una perspectiva científica se inició en el siglo XVIII. Anteriormente se usaban criterios con fundamentos poco sólidos. No obstante, algunas de las estructuras que siguen en pie hasta el día de hoy se basaron en ideas anteriores al XVIII.

El mejor y más conocido ejemplo relacionado con los problemas de capacidad portante del suelo antes del mencionado siglo es la construcción de la Torre de Pisa. Ubicada en Italia, se inició su ejecución en el año 1173 d. C., pero se culminó después de 200 años de esa fecha. Esta estructura se ha ido inclinando poco a poco debido a que donde se localiza existe una capa de arcilla localizada a 11 m por debajo del suelo natural. No obstante, hace poco se hicieron estabilizaciones excavando el lado norte de la torre y extrayendo 70 toneladas métricas de tierra en 41 extracciones individuales en su radio.

Con el paso del tiempo, el suelo fue asentándose y llenando los espacios vacíos, lo que provocó la disminución de la inclinación de la torre. Gracias a esto, la estructura está actualmente inclinada 5 grados, lo que terminó generando que sea más estable.

Por otro lado, el distrito de La Molina está ubicado en dirección Este de la ciudad de Lima. En *50 años La Molina, disfrutando mi hogar 1962 -2012* se señala que, cuando llegaron los españoles, dicha área comenzó a utilizarse para sembrar algodón, caña de azúcar, hortalizas y trapiches, por lo que se convirtió en suelo agrícola. El lugar se transformó así en un valle donde se localizaban casas de campo y posteriormente se construyeron molinos, los cuales dieron nombre al distrito (2012, pág. 102)

Actualmente La Molina es un distrito completamente urbanizado con viviendas unifamiliares, multifamiliares, centros comerciales, bancos, calles y avenidas, edificaciones empresariales y centros de estudio. Asimismo, los sismos han provocado daños a las edificaciones debido a las características de su suelo.

Finalmente, el tereftalato de polietileno, conocido como PET, es un tipo de plástico utilizado para la fabricación de botellas de bebidas y textiles. Fue creado en 1941 gracias a Whinfield y Dickson, dos científicos británicos que lo patentaron como “polímero para la fabricación de fibras”.

Ha sido utilizado industrialmente como fibra y textilmente desde 1946 hasta la actualidad. Posteriormente, empezó a emplearse como envase de alimentos desde 1952 y como envase rígido desde 1976, fecha de su mayor auge. Tiene este lugar en la industria gracias a su versatilidad, ya que se puede usar en la fabricación de botellas para bebidas poco sensibles al oxígeno.

Según el Ministerio del Ambiente (2018), en Lima y Callao se produce una cantidad de desechos plásticos de 886 toneladas en un día, la que no siempre se consigue utilizar favorablemente y termina siendo basura que llega a las riveras de los ríos. En ese sentido, las botellas hechas a partir de tereftalato de polietileno representan un peligro latente en la sociedad debido a que perjudican el ecosistema, ya que su degradación es muy lenta. Por ello,

el aprovechamiento de este material en grandes proporciones no solo ayudaría a reducir sus efectos perjudiciales, sino que le otorgaría usos muy beneficiosos.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Formulación del problema

¿En qué medida inciden las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina a fin de analizar los resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio?

1.2.2. Problemas secundarios

- ¿En qué medida inciden las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el contenido de humedad de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina?
- ¿En qué medida inciden las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina?
- ¿En qué medida inciden las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en la capacidad de soporte a cargas aplicadas de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de las escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina mediante el análisis de resultados de ensayos de laboratorio.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el contenido de humedad óptimo de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.
- Determinar la influencia de las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.
- Determinar la influencia de las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en la capacidad de soporte a cargas aplicadas de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.

1.4. Justificación e importancia

La presente tesis tiene como finalidad proponer una nueva forma de mejorar el comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina. Para este objetivo se utilizaron las flake PET proporcionadas por la empresa San Miguel Industrias. La idea era darle un uso beneficioso a este material que provoca daño al medio ambiente tanto por su exceso de producción como por su prolongado tiempo de descomposición.

La investigación busca así emplear flake PET para mejorar el comportamiento mecánico del suelo de La Molina, lo que significa, a la vez, un aporte al medio ambiente y a la Ingeniería.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

En esta investigación se recolectaron muestras de suelo del distrito de La Molina y se recopilaron datos obtenidos en laboratorio. De esta manera, estos solo podrán ser utilizados para futuras investigaciones con características y en condiciones similares a la presente.

1.5.2. Limitaciones

Se recomienda que esta investigación sea utilizada en suelos similares al tipo dos.

- Viabilidad técnica: se pudo acceder a muestras de suelos y muestra de las partículas PET para sus respectivos ensayos. También se tuvo acceso al laboratorio de mecánica de materiales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres. En sus instalaciones se hicieron los respectivos ensayos. Los resultados se procesaron gracias al programa Microsoft Excel.
- Viabilidad económica: la presente investigación fue elaborada con recursos de los mismos autores para la obtención de muestras y su respectivo ensayo. La Universidad San Martín de Porres colaboró brindando su laboratorio de mecánica de materiales y sus maquinarias. Asimismo, el suelo fue extraído sin costo alguno y las escamas de tereftalato de polietileno se obtuvieron gratuitamente gracias a la colaboración del encargado del Área de Calidad de la empresa San Miguel Industrias.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Según Sherwell (2014), existen diferentes formas o métodos de estabilizar un suelo y constantemente se van mejorando. Sin embargo, los más resaltantes se dividen en ocho categorías, las cuales mencionaremos a continuación.

a) Reemplazo

Esta es la forma más sencilla y segura de mejorar si se aplica de forma adecuada. El primer paso es remover el suelo blando para reemplazarlo por uno de mejor calidad con un peso menor o igual para evitar el asentamiento y mantener la estabilidad. Es preferible utilizar grava y arena, ya que son suelos granulares sueltos. Estos tienen un comportamiento mejor que los suelos blandos, orgánicos, limosos o arcillosos. El problema en este método es la dificultad para hallar materiales granulares de buena calidad.

b) Densificación

Es una de las formas más comunes en suelos granulares sueltos, suelos heterogéneos, residuos municipales y suelos licuables. Este proceso es utilizado para mejorar la resistencia y minimizar los asentamientos posibles. En la superficie se puede densificar por

rodillos convencionales, pero cuando es a gran profundidad las siguientes técnicas correctamente establecidas logran la densificación:

- Vibrocompactación: se realiza utilizando barras vibratoras insertadas en el depósito del suelo granular en cuestión hasta una profundidad de 30 metros. La compactación requerida se obtiene mediante la vibración y el impacto. Esta puede ser hecha con o sin aire comprimido, adicionando el material granular.
- Compactación dinámica: se ejecuta dejando caer desde una altura de 12 metros y 24 metros una gran cantidad de peso, lo que forma un cráter en el suelo creando una forma de rejilla. La energía liberada en el suelo provoca que este se densifique hasta llegar a una profundidad de 3 a 8 metros. Estos cráteres se pueden rellenar con material granular.
- Compactación por voladura: se colocan explosivos en el suelo y se hace detonar. Las ondas provocadas por la explosión rompen la estructura del suelo, lo que genera una condición de licuación. Esto permite que se puedan reacomodar las partículas a un estado más denso.

c) Consolidación

Si la cimentación se encuentra en contacto con un suelo cohesivo con poca resistencia y baja permeabilidad, la estructura experimentará problemas de estabilidad y asentamiento a largo plazo. La carga que se genera sobre el suelo crea un esfuerzo que es sostenido por la presión de poros, la que con el tiempo se disipa y crea una disminución de volumen del suelo, aumenta el esfuerzo efectivo y la resistencia. Al resultado de estos procesos se llama consolidación.

Lamentablemente, este tipo de consolidación es conseguido disminuyendo el volumen y deformando del suelo. Como forma de mitigar estos impactos negativos en la estructura, generalmente el

suelo se preconsolida con cargas mayores a las del diseño, de forma que las deformaciones se generen antes de la construcción de la estructura. Por otro lado, mejorar el suelo mediante este método se puede realizar de tres formas:

- Precarga con o sin drenes verticales: colocar terraplenes es una de las maneras más antiguas para mejorar los suelos cohesivos. Si el grosor del suelo es grande, toma mucho tiempo la consolidación. Por esto es que se busca acelerar el tiempo utilizando drenes verticales artificiales o por suelos granulares. Pero hay lugares donde no se cuenta con estos recursos ni con tiempo y espacio para aplicar una precarga al terreno e incrementar su esfuerzo efectivo.
- Electroósmosis: tiene varios aspectos en común con la consolidación bajo tensiones aplicadas externamente, solo que la fuerza motriz del drenado es inducida internamente por un campo eléctrico.
- Consolidación por vacíos: mediante esta técnica en la superficie del suelo se crean presiones negativas apoyadas por un sistema de drenajes verticales y horizontales, lo que provoca la extracción de líquidos y los gases que se encuentran dentro de este suelo. Para poder generar la succión se coloca una membrana hermética en la superficie y en la periferia del terreno.

Este método, al igual que el de electroósmosis, tiene como desventaja que solo se puede aplicar con eficiencia en áreas de construcción pequeñas. También se utilizan los drenajes verticales para disminuir el potencial de licuación de suelos, lo que tiene la finalidad de disipar el exceso de presión de poros provocado por terremotos.

No obstante, los puntos claves para mejorar la eficiencia de esta técnica son los siguientes: (a) la estabilidad mientras se coloca la sobrecarga, (b) evitar la obstrucción de los drenajes verticales, y (c) el mantenimiento del vacío sobre el suelo.

d) Tratamiento químico

Esta técnica consiste en la mezcla de aditivos con el suelo para que este último mejore su consistencia, resistencia, características de deformación y permeabilidad. Gracias a la disposición y su costo bajo, la cal y el cemento son los elementos más usados para llevar a cabo este método.

Los químicos se mezclan con el suelo y agua, posteriormente se compactan utilizando equipos y procedimientos convencionales. Si se realiza este método en cavidades profundas, normalmente se utilizan técnicas de inyección o mezclado, como las siguientes:

- Grouting: Es definida como la colocación de un material que se pueda bombear, el cual penetrará en las aberturas naturales, artificiales o creadas por el proceso de inyección (ASCE Committee on Grouting).

En esta técnica el cemento, la cal, la bentonita, los polímeros, entre otros, rellenan los espacios que se encuentran vacíos, lo que provoca un incremento de la resistencia y cohesión, y también disminuye la permeabilidad sin cambiar el volumen o la estructura del suelo afectado.

- Jet grouting: para este método se utilizan fluidos a alta presión, los cuales son expulsados por la boquilla de una tubería de perforación. Estos fluidos erosionan el suelo mezclándose con el cemento con agua, mientras la broca continúa girando y retrayéndose. Esto

provoca columnas impermeables, las cuales pueden ser verticales, horizontales o angulares.

- Mezclado profundo: se mezcla aditivos con el suelo usando una barrena de tronco hueco y un arreglo de remo. Se utiliza para mejorar los esfuerzos y/o la permeabilidad previamente diseñados, inmovilizar y/o fijar contaminantes, también para obtener un sistema de tratamiento para la reducción química a un sustrato más amigable.
- Columnas de cal: es una variante del mezclado profundo en la que se usa cal viva en lugar del cemento o en conjunto con este. Estas columnas son apropiadas para estabilizar depósitos de arcilla profunda. Mediante este procedimiento, se genera una reacción entre la cal y la arcilla que incrementa notablemente la resistencia y reduce la plasticidad del suelo nativo. El calor liberado por hidratar la cal ayuda a disminuir el contenido de agua del suelo arcilloso, lo que produce que se acelere la consolidación y gane resistencia.
- Inyección de fractura: es lo más moderno en la tecnología de inyección utilizado para poder estabilizar y consolidar los suelos cohesivos no inyectables por técnicas convencionales. Implica fracturaciones controladas en el suelo utilizando un fluido inyectable (cemento con agua, polímeros, entre otros) sin afectar significativamente la estructura del suelo. Se inyecta cemento con agua o algún químico por debajo de la estructura creando una masa reforzada del suelo. El mejoramiento del terreno sigue tres mecanismos básicos: el reforzamiento, la densificación y el cambio iónico.

Sin embargo, este método también presenta problemas, los cuales son cuatro: (a) reacción y compatibilidad de suelo-aditivo, (b) parámetros operacionales, (c) verticalidad de las columnas, y (d) efectos por la intemperie.

e) Estabilización térmica (calentamiento y congelamiento)

Incluso en temperaturas normales bajo el sol, los suelos finos son mejorados por desecación. Un ejemplo de esto es la superficie seca de los lodos. El calentamiento artificial es más efectivo naturalmente.

Para esto se utiliza corrientes eléctricas que provocan temperaturas extremas (1600-2000°C). Aquello se logra por medio de electrodos de grafito que se utilizan para conducir la electricidad por el suelo. Cuando el suelo está derretido, se convierte en un conductor de la electricidad sirviendo para transferir calor. Esta técnica es conveniente para suelos contaminados por compuestos orgánicos, inorgánicos y radioactivos.

Para el congelamiento, la resistencia del suelo depende de diferentes factores como por ejemplo el tipo de superficie, el porcentaje de humedad natural y la velocidad de congelamiento. Hay dos sistemas que son utilizados usualmente para el congelamiento: el sistema abierto que es cuando el refrigerante (nitrógeno líquido o dióxido de carbono) se pierde en la atmosfera después de absorber energía, y el sistema hidráulico de circuito cerrado para lo cual se utiliza una planta mecánica convencional y un refrigerante circulante. Esta técnica es utilizada para incrementar temporalmente la resistencia y obtener cierres de filtraciones de agua a cielo abierto y excavación de ejes.

f) Reforzamiento

Para este método se crea un sistema de suelo reforzado por medio de inclusiones en direcciones predeterminadas para poder mejorar sus resistencias a corte y capacidad de carga del suelo. Estas tienen un aumento constante de diferentes técnicas de instalación y de sus materiales para el refuerzo que, de acuerdo con qué aplicación se vaya a utilizar, serán diseñadas para resistir las fuerzas requeridas (compresión, flexión, tensión o sus combinaciones), lo que prolonga la vida útil de la estructura.

Normalmente, reforzar el suelo se consigue por los siguientes métodos:

- Anclaje de suelos: en este método se instala anclas postensadas con el fin de reforzar el suelo y ayudar, como ocurre en el clavado de suelo, a las excavaciones. Estas anclas se ligan con elementos o paneles en la superficie.

- Clavado de suelo: consiste en colocar elementos de refuerzo con pequeños espacios entre cada uno para mejorar la resistencia al corte del suelo y restringir sus desplazamientos durante y después de una excavación. Para realizar esta técnica se hace un proceso escalonado de arriba hacia abajo, que cuenta con tres procesos repetitivos: (1) excavación hasta una profundidad límite, (2) colocación de los clavos (por conducción, perforación, entre otros) y drenajes, y (3) instalación de un revestimiento.

- Columnas de piedra: Consiste en reemplazar entre el 10% al 35% del suelo por columnas de piedra y ocasionalmente de arena. Esto se aplica a los suelos blandos cohesivos para aumentarle su capacidad de carga, disminuir los asentamientos acelerando su consolidación, mejorar su estabilidad en pendientes y poder controlar el potencial de licuación. Para construirlo, se puede utilizar el mismo equipo que en la vibrocompactación. El suelo sufre una transformación por la presencia de las columnas de piedra en una masa compuesta de cilindros granulares con suelo nativo. Esto mejora solamente las características del suelo. Asimismo, se pueden colocar las columnas por medio de varios métodos:
 - Vibroreemplazamiento, para suelos blandos a firmes con $c_u = 15$ a 50 kN/m^2 .
 - Vibrodesplazamiento, para suelos firmes con $c_u = 30$ a 60 kN/m^2 con un bajo nivel freático.
 - Impacto dinámico, para convertir suelos blandos a firmes.

- Micropilas: son pequeñas pilas, normalmente con diámetros menores a 300 mm, las cuales se colocan verticalmente con una distancia entre ellas más corta que una pila convencional. De esta forma se ayuda a estabilizar el suelo durante excavaciones.
- Reforzamiento por fibra: consiste en un reforzamiento tridimensional usando fibras de polímero o naturales (hilado) mezclado con el suelo. La mezcla de estos compuestos provoca que se pueda resistir fuerzas tensoras, mejorar las características de deformación y la resistencia.
- Las fibras utilizadas son orientadas aleatoriamente y se distribuyen en todo el volumen del suelo reforzado utilizando un proceso de mezclado adecuado para evitar presencia de planos de debilidad localizados, por lo que el suelo presenta una buena estabilidad en cualquier condición de servicio o carga. Se pueden utilizar fibras de poliéster, madera y de neumáticos.

No obstante, las deficiencias de este método son las siguientes: (a) la superficie de falla, (b) la transferencia de carga a los elementos de refuerzo, (c) el acomodo de los elementos de refuerzo, (d) la compatibilidad de tensión entre el suelo y el material de refuerzo y (e) la durabilidad y comportamiento a largo plazo del refuerzo.

También, hasta la fecha no se han resuelto una variedad de preguntas sobre este método. A pesar de ello, se cree que han mejorado sus técnicas de reforzamiento. Asimismo, para la Ingeniería Geotécnica, se le considera segura y de costo accesible, aunque según el sitio y las condiciones del suelo.

g) Electrotratamiento

Se utiliza para corregir los suelos contaminados. En este método se aplican corrientes eléctricas al suelo para poder remover los contaminantes en una forma más discreta en lugares con

excavaciones, transportes limitados y con poca resistencia a un impacto ambiental.

Los métodos utilizados en la geotecnología ambiental son tres:

- Calefacción eléctrica: consiste en aplicar una corriente eléctrica al suelo para que se caliente a una temperatura moderada, lo que provoca una expulsión de vapor de compuestos orgánicos volátiles. La evaporación de estos compuestos puede aumentar inyectando, en el suelo contaminado, aire caliente por los pozos de inyección.
- Remediación electrocinética: se utiliza para la extracción de iones contaminantes, como metales pesados, y para la remoción de compuestos volátiles y semivolátiles.
- Valla electrocinética: este método se emplea cuando la remoción de un contaminante por electrocinética no es posible. A los metales pesados los inmoviliza y también a cualquier contaminante que los atraviese.

Así y todo, los problemas a tomar en cuenta para utilizar el tratamiento eléctrico son tres: (a) la conductividad eléctrica del suelo, (b) el impacto en los objetos enterrados y servicios públicos, y (c) la caracterización iónica de los contaminantes.

h) Estabilización biotécnica

Esta nueva forma de mejorar el suelo utiliza objetos bioquímicos (de extracción vegetal) como elementos de refuerzo. Es empleado para estabilizar taludes o rellenos que tienen pendientes, en la construcción de estructuras que retengan zonas verdes o en zonas medioambientales sensibles.

Este método es más económico y menos perjudicial para el medioambiente que los procedimientos antes mencionados. Además, mejora el paisaje, ya que lo mantiene tal y como es.

Estas son algunas técnicas de estabilización biotécnica que se utilizan en la actualidad: (a) hincado de ramas, (b) esteras de maleza, (c) estratificación de maleza, (d) malla perimétrica y (e) estratificación por zanjas de caña. Entre todas, las técnicas (a) y (c) son las que se usan más en el campo.

La interacción del suelo con la vegetación se produce de tres formas. En la primera, la cohesión artificial es generada por el crecimiento de las raíces del suelo. En la segunda, la fricción se desarrolla a lo largo de la interfaz suelo-tallos. En la tercera, la presión de poros se disipa por la evapotranspiración de la vegetación.

Por otro lado, presentaremos en este apartado tres investigaciones sobre el impacto del PET en el medio ambiente, las reacciones de este compuesto a diversos procedimientos químicos y su aprovechamiento en la Ingeniería Civil. Por ejemplo, Louzada y Casagrande (2016) en un proyecto de investigación titulado *Estudio del comportamiento mecánico de un suelo arcilloso con la inserción de escamas de tereftalato de polietileno* indagaron en el uso de partículas de tereftalato de polietileno aplicadas a una muestra de arcilla recolectada del campus de la PUC-Rio. Empleando ensayos de compactación y estudios triaxiales, obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 1:

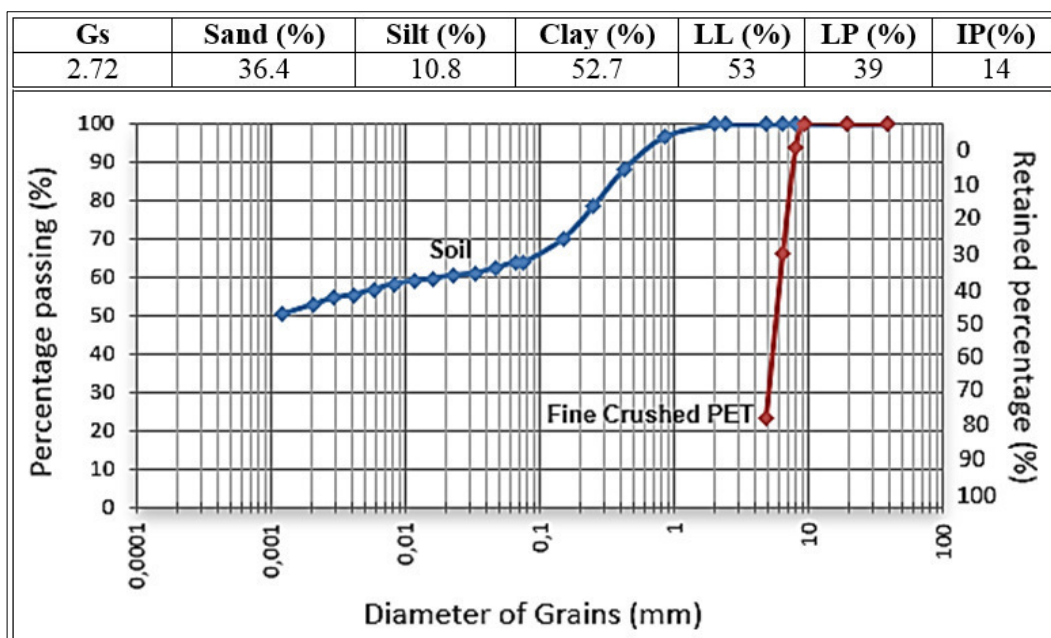


Figura 1. Características físicas de la arcilla de estudio

Fuente: Louzada y Casagrande, 2016

En esta tabla podemos observar el porcentaje pasante y retenido correspondiente de cada uno de los distintos diámetros del suelo y el PET triturado fino.

Estos autores también realizaron pruebas de compactación para el suelo arcilloso y la mezcla en las que es posible observar que el peso seco máximo y la humedad óptima de la mezcla disminuyen a medida que va aumentando el tereftalato de polietileno. La tabla 1 y la figura 2 resumen los resultados encontrados en las pruebas de compactación:

Tabla 1: Humedad óptima y peso específico máximo

Material/ Mixture	$W_{opm}(\%)$	$\gamma_{dmax} (g/cm^3)$
C100	25.8	1.55
C97F03	22.3	1.55
C95F05	24	1.52

Fuente: Louzada y Casagrande, 2016

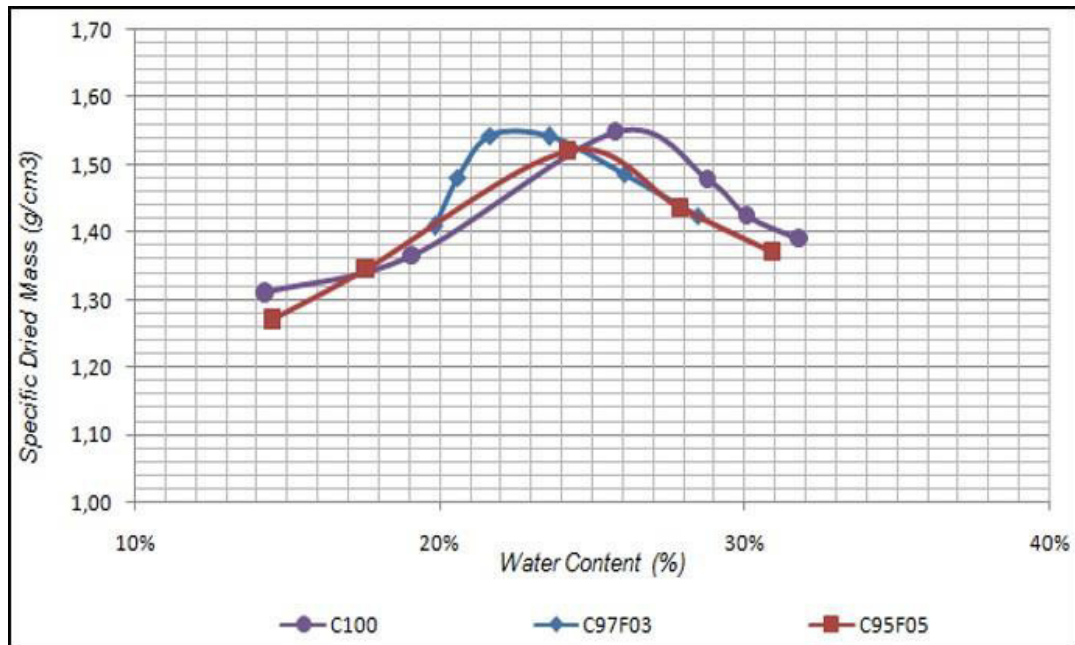


Figura 2. Curvas de compactación

Fuente: Louzada y Casagrande, 2016

Los ensayos triaxiales se llevaron a cabo en tres esfuerzos de confinamiento (50, 150 y 300 kPa). A continuación, se muestran los gráficos del esfuerzo desviador frente a la deformación axial, y la deformación volumétrica frente a la deformación axial del suelo arcilloso y de cada mezcla (figuras 3 y 4). En estos gráficos, también se observa el comportamiento de las mezclas C97F03 y C95F05 en comparación con el suelo arcilloso.

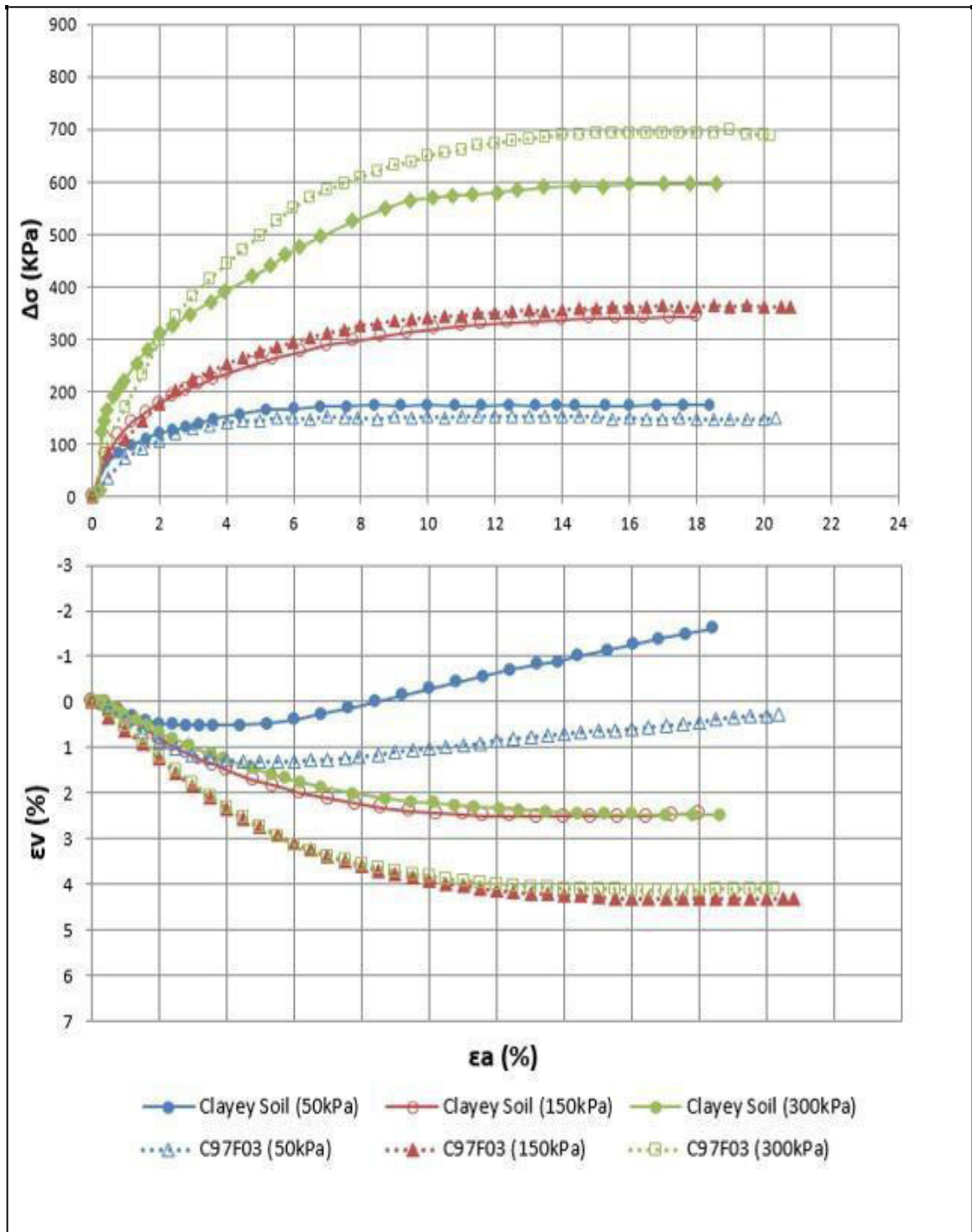


Figura 3. Resultados de las pruebas triaxiales para el C97F03 y el suelo arcilloso

Fuente: Louzada y Casagrande, 2016

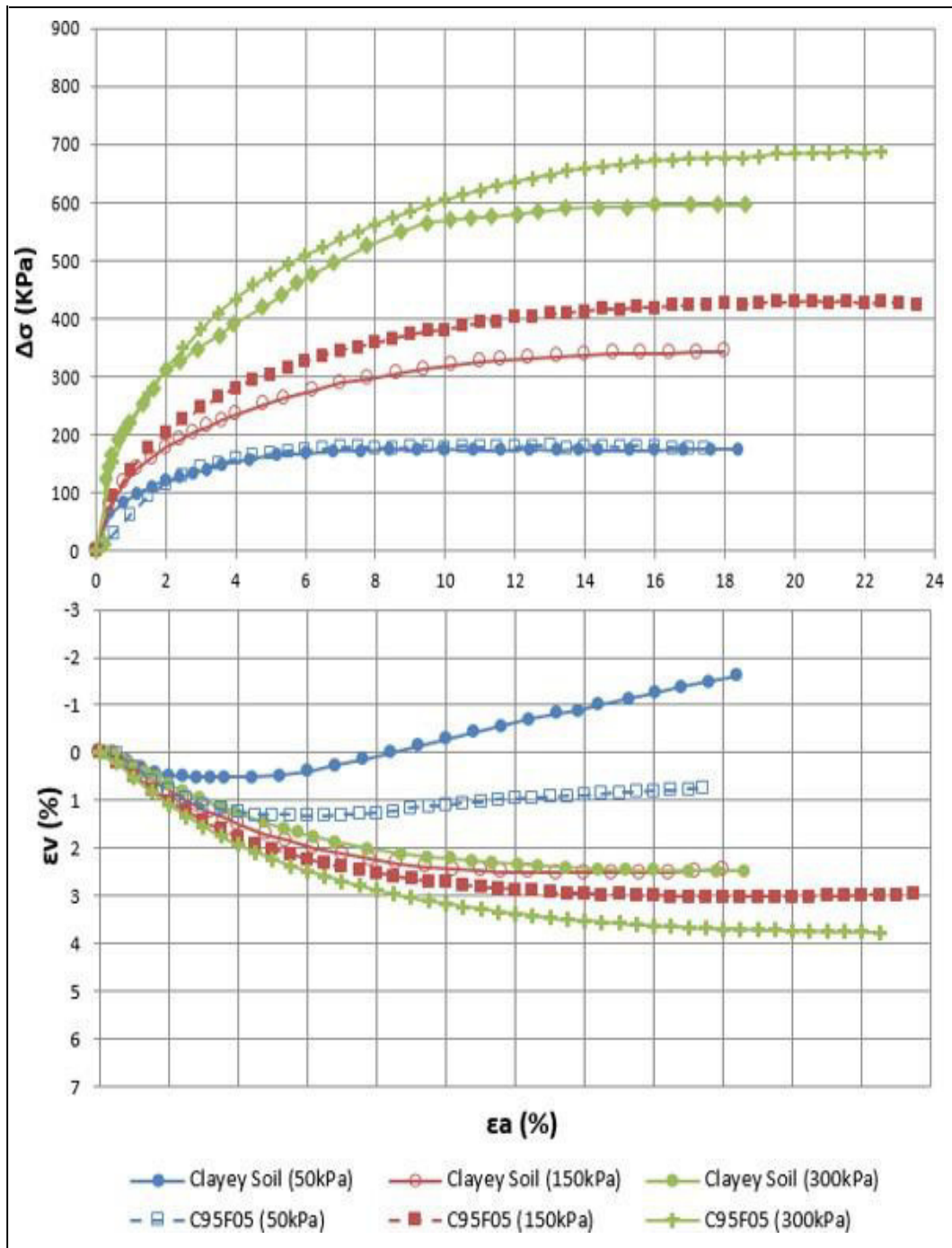


Figura 4. Resultados de las pruebas triaxiales para el C95F05 y el suelo arcilloso

Fuente: Louzada y Casagrande, 2016

Los resultados obtenidos fueron los siguientes. Se observa que, en ambas mezclas, cuando el material se somete a un bajo esfuerzo de confinamiento, la inserción de escamas de PET no mejora los parámetros de resistencia del suelo. Sin embargo, a mayores tensiones de confinamiento, las mejoras de los parámetros de resistencia son evidentes. Este comportamiento

puede explicarse porque las escamas de PET no reaccionan con las partículas del suelo, como sucedió con la cal o las cenizas de residuos urbanos sólidos estudiados. El PET triturado fino funciona más como una mejora del tamaño de grano (y en un mayor estrés de confinamiento) cuando se aplica la consolidación. El PET triturado fino llena los vacíos restantes en el suelo, dejando menos espacios entre las partículas del suelo. Por lo tanto, a la misma tensión axial, la mezcla resiste un mayor estrés de desviación en comparación con el suelo arcilloso puro.

Por su parte, Hachi y Rodríguez (2010) proponen que el PET es considerado como un plástico de alta calidad gracias a sus diversas características físicas, mecánicas, térmicas, ligereza, pero también por ser utilizado en el rubro del envasado de alimentos y su posibilidad de ser reciclado.

Estos autores señalan que, para el reciclaje del plástico hecho a base del PET, se lleva a cabo ciertos tratamientos que pueden ser total o también parcial. De esta manera, se puede llegar a tener un producto nuevo o incluso extraer la materia prima. Esto se ha corroborado gracias a la información que nos brindó la empresa San Miguel Industrias PET, la cual nos aportó conocimientos del proceso de reciclaje y obtención de la materia prima a base de este compuesto.

Finalmente, Tiravanti (2011) plantea que este material es uno de los más importantes polímeros de la industria del plástico, siendo muy versátil por sus diferentes aplicaciones para fabricar fibras, contenedores de cosméticos, botellas de plástico, entre otros. Esto nos da a entender la importancia de este polímero en nuestra sociedad, ya que dejar de usarlo afectaría el medio ambiente. Es por ello que buscar una solución para poder reutilizarlo es una de las opciones más viables, porque otorga la posibilidad de evitar dañar el ecosistema.

Este autor propone además que desde la inclusión del tereftalato de polietileno en la industria la cantidad de desechos ha aumentado considerablemente, por lo que es necesario encontrar una manera de reciclarlo. Tal como se observa en la actualidad, la contaminación del planeta

es responsabilidad de todos los seres humanos y si hay una manera de contribuir para poder minimizarla sería de suma ayuda para las futuras generaciones. Es en este contexto y en estas condiciones sociales donde se inscribe el proyecto planteado por esta tesis, ya que una manera de convertir en valiosos los desechos plásticos es usarlos para mejorar el comportamiento mecánico de los suelos y así darles un uso por un tiempo prolongado hasta su degradación.

Tiravanti también elabora una propuesta, siguiendo a Awaja (2005), sobre las propiedades físicas y químicas del PET en la que se observa su peso, resistencia, absorción, entre otras propiedades. Aquello se muestra en la tabla 2:

Tabla 2: Propiedades físicas y químicas del PET

Propiedad	Valor (unidad)
Peso molecular (de la unidad repetitiva)	192 g/mol
Peso promedio (MW)	30 000 – 80 000 g/mol
Densidad	1,41 g/cm ³
viscosidad intrínseca [η]	0,45 - 1,2 dL/g
Temperatura de transición vítrea	69 – 115°C
Temperatura de fusión	265 °C
Calor de fusión	166 J/g
Resistencia a la ruptura (fragilidad)	50 MPa
Resistencia a la tensión (modulo de Young)	1700 MPa
Resistencia al impacto	90 J/m
Absorción de agua (luego de 24 horas)	0,5%

Fuente: Tiravanti, 2011

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Suelos tipo dos: areno-limosos

Se caracterizan por ser suelos arenosos aquellos terrenos que no cuenta con una capacidad portante elevada. Sobre los mismos, se afirma lo siguiente:

A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte V_s , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre estas dos superficies: [la primera es] la arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT N_{60} , entre 15 y 50; [y la segunda es] el suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada S_u , entre 50 kPa (0.5 kg/cm²) y 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas de acuerdo a la profundidad. (Decreto supremo que modifica la Norma Técnica E.030 Diseño sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, 2016, pág. 4).

En la siguiente imagen (figura 5) se muestra el suelo recolectado para realizar los ensayos:



Figura 5. Suelo areno-limoso del distrito de La Molina

Fuente: los autores

Este tipo de suelo es apto para la construcción; sin embargo, no es posible realizar obras de grandes magnitudes debido a que presentan una baja resistencia al esfuerzo cortante. Los suelos tipo dos presentan un nivel de cohesión muy bajo y una alta permeabilidad.

2.2.2. Escamas de tereftalato de polietileno (flake PET)

Se utilizan actualmente en distintos productos, pero especialmente para fabricar envases de bebidas y en la industria textil. Según Arnulfo García Olivares, “es un material de peso ligero de poliéster claro. Se usa para hacer recipientes para bebidas suaves, jugos, agua, bebidas alcohólicas, aceites comestibles, limpiadores caseros y otros” (2006, pág. 148). Debido a esto es muy valorado en el mundo, pero al mismo tiempo su degradación es prolongada, por lo que se debe reutilizar para evitar que este material se convierta en desperdicio. En la siguiente imagen (figura 6) se muestran las escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) utilizadas en la presente tesis.



Figura 6. Escamas de tereftalato de polietileno (flake PET)

Fuente: los autores

2.2.3. Capacidad portante

Se le conoce como la máxima compresión media que se produce durante el contacto del terreno con los cimientos de una estructura para que no ocasione un asentamiento excesivo o una falla por cortante del suelo. Para que se obtengan resultados óptimos se debe considerar los siguientes criterios:

- Se le denominará carga de hundimiento a la capacidad portante cuando los cimientos soportan una tensión independientemente de la deformación del terreno.
- Se tiene que calcular la capacidad portante en función a los criterios de asiento admisible si los resultados esperados son un equilibrio entre la tensión aplicada y la deformación, ambas del terreno.

2.2.4. Ecuación general de capacidad de carga

Para que las cimentaciones de las edificaciones construidas en diversas condiciones puedan ejercer una vida útil de manera satisfactoria con respecto a su función estructural debe primar una importante característica: la cimentación debe comportarse de forma segura ante cualquier esfuerzo cortante de falla suscitado en el suelo.

Como se sabe la teoría de capacidad de carga en primera instancia fue planteada por el ingeniero Karl Von Terzaghi, quien es reconocido como el padre la mecánica de suelos. Es así como en 1943 propone una teoría para evaluar la capacidad de carga última en cimentaciones superficiales presentando las siguientes fórmulas (figura 7):

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (\text{cimentación continua o corrida})$$

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma \quad (\text{cimentación cuadrada})$$

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma \quad (\text{cimentación circular})$$

Figura 7. Fórmulas de capacidad portante última de Terzaghi

Fuente: Braja M, 2001

Tiempo después surge una nueva ecuación de capacidad de carga propuesta por Meyerhof en 1963, la cual viene a ser una evolución de la ecuación de Terzaghi. En ella se abordan casos como los de cimentaciones rectangulares y los de cimentaciones con inclinaciones ligeras. Según Braja M. Das (2001) en *Principios de ingeniería de cimentaciones*, la ecuación general de la capacidad de carga propuesta por Meyerhof (figura 8) es la siguiente:

Ecuación general de la capacidad de carga propuesta por Meyerhof

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

En esta ecuación:

c' = cohesión

q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación

γ = peso específico del suelo

B = ancho de la cimentación (= diámetro para una cimentación circular)

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ = factores de forma

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = factores de profundidad

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = factores de inclinación de la carga

F_c, F_q, F_γ = factores de capacidad de carga

Factores de capacidad de carga

$$N_c = (N_q - 1) \times \cot \phi \quad \text{Prandtl (1921)}$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \times \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad \text{Reissner (1924)}$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \times \tan(1.4\phi) \quad \text{Meyerhof (1963)} \\ \text{USA}$$

ϕ : Ángulo de fricción interno

Factores de capacidad de forma (L>B)

$$s_c = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$$

$$s_q = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \times \tan \phi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \left(\frac{B}{L}\right) \geq 0.6$$

B: Base de la cimentación, m.

L: Longitud de la cimentación, m.

Factores de profundidad

(Df / B) menor igual a 1

(Df / B) mayor a 1

$$d_c = 1 + 0.4 \left(\frac{D_f}{B}\right) \quad \text{para } \phi = 0$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_q \tan \phi} \quad \text{para } \phi > 0$$

$$d_c = 1 + 0.4 \times \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$d_q = 1 + 2 \left(\frac{D_f}{B}\right) \times (1 - \sin \phi)^2 \times (\tan \phi)$$

$$d_q = 1 + 2(1 - \sin \phi)^2 (\tan \phi) \left[\tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right) \right]$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1$$

Factores de inclinación

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{\phi}\right)^2$$

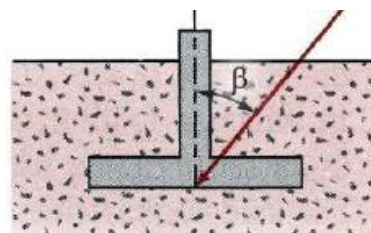


Figura 8. Ecuación de Meyerhof

Fuente: Das, 2001

2.2.5. Límites de Atterberg

De acuerdo con el MTC E 110 del *Manual de ensayo de materiales (2016)* se determina el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad utilizando el material recolectado. Este ensayo es necesario para poder clasificar adecuadamente el material, pero no es requisito hacerlo. En la siguiente fotografía (figura 9) se muestra la cuchara de Casagrande que se utilizó para realizar el ensayo de límite de Atterberg.



Figura 9. Cuchara de Casagrande

Fuente: los autores

2.2.6. Análisis granulométrico por tamizado

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su *Manual de ensayo de materiales (2016)*, este análisis tiene como objetivo determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas del suelo.

Los equipos para realizarlo son dos balanzas. La primera debe poseer una sensibilidad de 0.01 g para poder pesar el material que pase por el tamiz

de 4.760 mm (N° 4), mientras que la segunda debe tener una sensibilidad de 0.1% del peso de la muestra, para poder pesar todos los materiales retenidos en el tamiz de 4.760 mm (N° 4). En la siguiente fotografía (figura 10) se muestran las balanzas empleadas para realizar este ensayo.



Figura 10. Balanzas de sensibilidad de 0.01 g y 0.1%

Fuente: los autores

También se necesita un horno que pueda mantener una temperatura uniforme y constante hasta 110 ± 5 °C. A continuación, se muestra el horno utilizado para el secado de las muestras (figura 11).



Figura 11. Horno eléctrico

Fuente: los autores

Los materiales utilizados son los tamices de malla cuadrada que se encuentran en la tabla 3:

Tabla 3: Tamices y sus aberturas

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
1 1/2"	38,100
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 8	2,360
Nº 16	1,100
Nº 30	0,590
Nº 50	0,297
Nº 100	0,149
Nº 200	0,075

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

Se necesitan envases que sean adecuados para el manejo y secado de las muestras, como se aprecia en la figura 12:

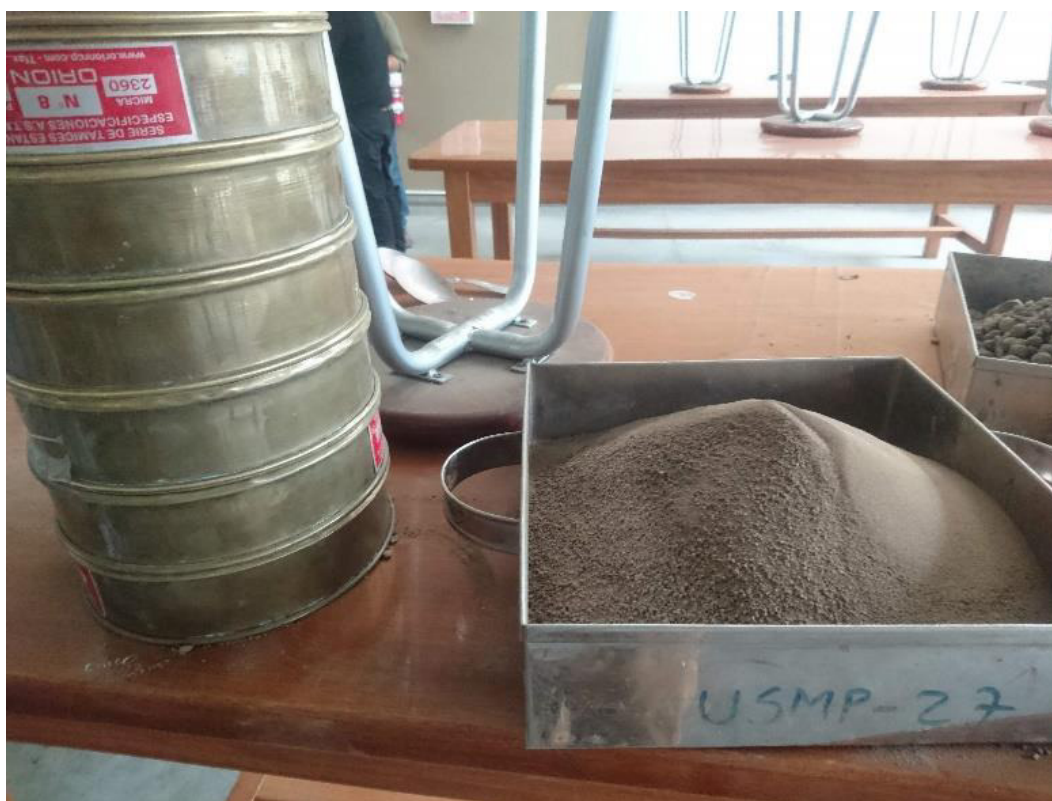


Figura 12. Envase para el contenido de material

Fuente: los autores

Para realizar el ensayo se coloca la muestra de suelo en los tamices y se mueve de un lado hacia el otro realizando circunferencias de manera que la muestra se mantenga en movimiento en la malla. Cada tamizado dura un minuto. Al desmontarlos, se debe corroborar que el proceso esté terminado. Esto se determina cuando ya no pasa más del 1%. Si quedan retenidas algunas partículas en la malla, se debe separar con un pincel o cepillo y juntarlas con las que quedaron en el tamiz.

Si se utiliza un tamizador mecánico, se dejará funcionando por aproximadamente diez minutos. Para verificar se puede usar el método manual.

Para determinar el peso de cada fracción se emplea la balanza con sensibilidad de 0.1%. La suma del peso total final no debe diferir en más de 1% del peso total inicial.

2.2.7. Sistema unificado de clasificación de suelos

Según el *Manual de ensayo de materiales (2016)*, este sistema, desarrollado por el Dr. Arturo Casagrande, propone términos que describen la muestra a partir de la textura. Ello se evidencia en estos ejemplos: “GW”, grava bien graduada; “GC”, grava arcillosa; y “GP”, grava mal graduada.

Primero, se identifican los suelos según sus cualidades estructurales y de plasticidad, y luego se agrupan por su comportamiento como material de construcción. En ese sentido, la clasificación de suelos es la siguiente:

- Porcentaje de grava, arena y finos (todo lo que pasa por el tamiz N° 200)
- Forma de la curva de distribución granulométrica
- Características de compresibilidad y plasticidad

Las fracciones de suelo son cantos rodados, gravas, arenas y finos (limo o arcilla). Estos suelos se separan en tres tipos:

- Suelos de grano grueso

- Suelos de grano fino
- Suelos altamente orgánicos

Los suelos de grano grueso son las gravas (G) y las arenas (S). Las primeras son los que tienen un porcentaje mayor de la fracción gruesa que es retenida en el tamiz N° 4 y las segundas son las que tienen una porción mayor que pasa por el tamiz N° 4. Las gravas y las arenas se dividen respectivamente en cuatro grupos secundarios (GW, GP, GM y GC y SW, SP, SM y SC), dependiendo de la cantidad y tipo de los finos y de la forma de su curva granulométrica.

Entre los granos finos están los limos (M) y las arcillas (C), dependiendo de su límite líquido y su índice de plasticidad.

2.2.8. Ensayo de gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

El *Manual de ensayo de materiales (2016)* señala que el picnómetro es un recipiente de vidrio de forma cilíndrica o cónica. Este ensayo tiene como objetivo determinar la gravedad específica de sólidos de suelo que pasan por el tamiz N° 4. Su finalidad es usar la gravedad específica para calcular las relaciones de fase de suelos, como la relación de vacíos y el grado de saturación.

Los equipos que se utilizan en este ensayo son cinco:

- a) Picnómetro: el agua utilizada para el picnómetro debe estar en un matraz con una capacidad mínima de 250 mL. Asimismo, el volumen del picnómetro tiene que ser de dos a tres veces mayor que el de la mezcla de suelo-agua usada durante el desaire de la porción del ensayo.
- b) Matraz: cuenta con un collar acampanado que permite al tapón estar colocado en un ángulo durante el equilibrio termal y previene que el agua se desborde por los costados cuando el tapón está instalado.
- c) Balanza: debe tener una precisión de lectura de 0.01 g y una capacidad de al menos 2000 g.

- d) Horno de secado: debe poder mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C en su cámara de secado.
- e) Aparato removedor de aire entrampado: se utiliza para remover el aire entrampado.

Los materiales utilizados son tres:

- a) Termómetro: debe tener un rango de temperatura adecuado para realizar el ensayo, con una aproximación de 0.1 °C y una profundidad de inmersión entre 25 y 80 mm.
- b) Embudo: debe tener una superficie lisa que no sea corrosiva. El diámetro del pico del embudo debe contar con el diámetro necesario para que permita el paso de los sólidos del suelo.
- c) Pureza del agua: se utiliza agua destilada para realizar este ensayo.

2.2.9. Ensayo de Proctor estándar

Se usa para determinar la relación entre el contenido de agua y el peso unitario seco del suelo (curva de compactación) que previamente se compactó en un molde con un diámetro de 101.6 mm.

Hay tres métodos para realizar este ensayo:

- Método A: se utiliza un molde de 101.6 mm de diámetro en un material que pasa por el tamiz N° 4 y se realiza en tres capas dando veinticinco golpes por cada una. Es el método adecuado cuando el 20% o menos del peso del material se retiene en el tamiz N° 4.
- Método B: se utiliza un molde de 101.6 mm de diámetro en un material que pasa por el tamiz N° 3/8 y se realiza en tres capas dando veinticinco golpes por cada una. Es el método conveniente cuando más del 20% del peso del material es retenido por el tamiz N° 4 y el 20% o menos del peso del material por el tamiz 3/8.
- Método C: se utiliza un molde de 152.4 mm de diámetro en un material que pasa por el tamiz N° 3/4 y se realiza en tres capas dando cincuenta seis golpes por cada una. Es el método idóneo cuando más del 20%

en peso del material es retenido por el tamiz 3/8 y menos del 30% del peso por el tamiz 3/4.

Para este ensayo se utilizó:

- Molde de 101.6 ± 0.4 mm de diámetro interior, una altura de 101.6 ± 0.5 mm con un volumen de 944 ± 14 cm³.
- Pisón: el pisón debe dejarse caer a una altura de 304.8 ± 1.3 mm de la superficie del espécimen. Su masa debe ser de 2.5 ± 0.01 kg.

2.2.10. Corte directo (consolidado drenado)

En el *Manual de ensayo de materiales (2016)* se afirma que el objetivo del corte directo es determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada. Su finalidad es determinar las propiedades de resistencia de los materiales drenados y consolidados. En la figura 13 se muestran las fuerzas a las que es sometida la muestra.

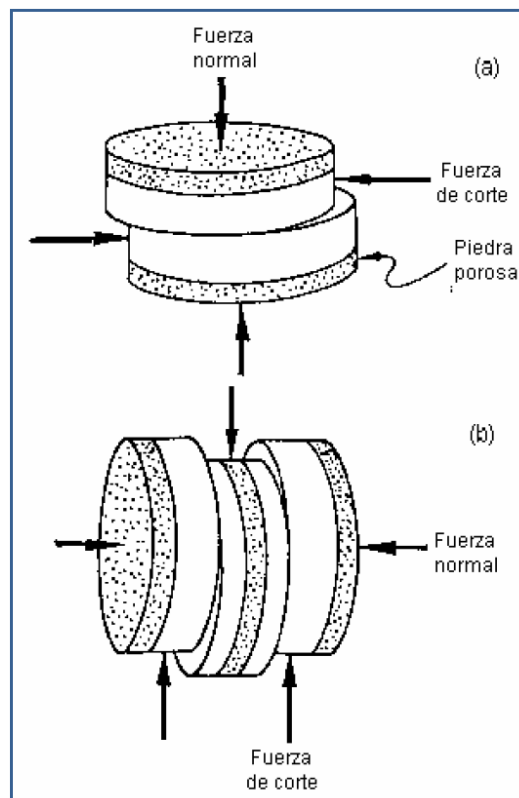


Figura 13. Ensayo de corte directo

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

Este ensayo consta de varios procedimientos:

- Colocar la muestra en el dispositivo de corte
- Aplicar una carga normal
- Disponer los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra
- Consolidar la muestra
- Liberar los marcos que sostienen la muestra
- Aplicar la fuerza cortante

Los equipos que se utilizarán para este ensayo son cuatro:

- a) Dispositivo de carga: sostiene la muestra con seguridad entre dos piedras porosas ubicadas en la cara superior e inferior, para evitar que se generen movimientos de torsión sobre ella.
- b) Piedra porosa: debe ser de carburo de silicio, óxido de aluminio o algún metal que no sea susceptible a la corrosión por humedad o por sustancias que contenga el suelo.
- c) Dispositivo para la aplicación de fuerza normal: se aplica rápidamente la fuerza sin excederla y mantenerla con una deferencia de máximo $\pm 1\%$ durante la ejecución del ensayo.
- d) Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte: se utiliza un anillo de carga o una celda de carga con una presión de 2.5 N o de 1% de la fuerza de corte en la falla, la que sea mayor.

Los materiales se dejan consolidando, dependiendo del tipo de suelo. En la tabla 4 se muestran los tipos de suelo y el tiempo de consolidación.

Tabla 4: Tiempo de reposo de los suelos según el tipo

Clasificación D2487	Tiempo mínimo de reposo (h)
SW, SP	No requiere
SM	3
SC, ML, CL	18
MH, CH	36

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

2.3. Definiciones de términos básicos

- **Capacidad portante admisible (de diseño - q_{adm}):** es la presión aplicada admisible tomando en cuenta tanto la capacidad portante como el asentamiento generado.
- **Capacidad portante segura (q_s):** es la intensidad de la presión aplicada que el suelo puede soportar de una manera segura sin riesgo de falla por corte, independientemente del asentamiento que pueda generar.
- **Capacidad portante última (q_u):** es el valor de carga a la cual el suelo falla por corte.
- **Capacidad portante última neta ($q_{u(neta)}$):** es la presión última causada en el suelo que rodea la fundación en el nivel de cimentación.
- **Compactación:** es el incremento de la densidad de un material que compone un terreno.
- **Condición drenada:** cuando el agua drena y da paso a los asentamientos.
- **Condición no drenada:** cuando el agua no puede salir del sistema, los vacíos son los únicos que soportan la carga y el efecto entre las partículas sólidas es nulo.
- **Consolidación (ensayo):** se trata de que el espécimen o muestra del suelo sea confinado lateralmente y comprimido entre dos superficies porosas.
- **Esfuerzo cortante:** esfuerzo que interactúa entre dos materiales, en este caso partículas de suelos.
- **Esfuerzo efectivo:** incremento de presión entre las partículas sólidas del suelo.

- **Esfuerzo total:** incremento de presión efectuado en una determinada área.
- **Extracción de muestra:** se utiliza para realizar los ensayos en laboratorio y determinar su porcentaje de humedad natural.
- **Falla:** según la norma ASTM D3080 es la falla de un espécimen de ensayo para la condición de esfuerzo.
- **Granulometría:** consiste en la medición de los granos del suelo ubicado en un determinado punto para analizar sus propiedades mecánicas y la cantidad determinada de cada tamaño según la escala granulométrica.
- **Mecánica de suelos:** es una de las ramas de la Ingeniería la cual realiza diversas investigaciones acerca de las cualidades de los suelos, su práctica bajo esfuerzos y su deformación ideal.
- **Presión de poros o poropresión:** incremento de presión en los vacíos (aire) a causa del incremento del esfuerzo total.
- **Suelos cohesivos:** están formados por partículas muy pequeñas. En este tipo de suelos predominan efectos químicos superficiales, por lo general son plásticos, como por ejemplo las arcillas.
- **Suelos no cohesivos:** partículas de suelo que no tienden a juntarse ni adherirse. Son relativamente grandes, también llamadas granulares y friccionantes, como las gravas, las arenas y los limos.
- **Suelos tipo dos:** se denominan suelos tipo dos o “S₂” a los que son medianamente rígidos como las arenas densas, gruesas a media o grava arenosa medianamente densa con SPT N_{60} entre 15 y 50; y a los suelos cohesivos compactos en condiciones no drenadas $S_u = 15\text{kPa}-50\text{kPa}$.

- **Tereftalato de polietileno:** tipo de plástico utilizado en botellas de bebidas y textiles.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipología

3.1.1. Tipo de investigación

Para realizar los ensayos en los suelos areno-limosos y demostrar la hipótesis propuesta se han usado técnicas innovadoras. Es por esto por lo que se califica a la presente tesis como un tipo de investigación aplicada. De la misma manera, al poder recolectar datos numéricos medibles de los ensayos realizados en el laboratorio para posteriormente ser analizados con la finalidad de comprobar su comportamiento en el suelo ya mencionado, esta investigación también tiene un enfoque cuantitativo.

3.1.2. Nivel de investigación

Debido a que se detallan la secuencia de ensayos elaborados en el laboratorio al suelo influenciado en el comportamiento mecánico por los fragmentos de polietileno tereftalato, esta investigación también posee un nivel descriptivo.

3.1.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental, debido a que en el tiempo de elaboración de la presente tesis se realizaron diversos ensayos con diferentes proporciones del polietileno tereftalato y el suelo areno-limosos con la finalidad de comparar los resultados y extraer una conclusión más enriquecida. La planificación del proyecto en un principio está enfocada a una

situación en la cual se determina un punto de extracción de muestra. Debido a las propiedades del tereftalato de polietileno, se espera que se produzca una leve mejoría en las características mecánicas de la muestra. No obstante, la veracidad de estos presupuestos se corroborará mediante ensayos de laboratorio. Dado que se parte de supuestos y teniendo en cuenta estos aspectos, la investigación se clasifica como prospectiva, ya que la información es recolectada en el campo y se lleva al laboratorio para los ensayos respectivos.

3.2. Variables

Se identificó el material de estudio, variables dependiente e independiente, las cuales son de tipo cuantitativo, debido a que en ambos casos es posible su cuantificación y medición.

3.2.1. Variable independiente

Se emplea las escamas de tereftalato de polietileno en las proporciones de 10% de flake PET con 90% de suelo, 7.5% de flake PET con 92.5% de suelo, 5% de flake PET con 95% de suelo, 2.5% de flake PET con 97.5% de suelo y 0% de flake PET con 100% de suelo. Estas combinaciones se especifican en la tabla 11.

3.2.2. Variable dependiente

Para la presente tesis se analiza el comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina para determinar cómo son influenciados los resultados en su contenido de humedad óptimo para su compactación, su resistencia al esfuerzo cortante y su capacidad de soporte a cargas aplicadas utilizando el aditivo escamas de tereftalato de polietileno (flake PET).

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 5: Operacionalización de variables

Objetivos	Variables	
Objetivo general	Variable independiente (X)	Variable dependiente (Y)
<p>Determinar la influencia de las escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina a fin de analizar resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio</p>	<p>X: Escamas de tereftalato de polietileno (flake PET)</p>	<p>Y: Comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina</p>
	<p>Dimensiones de X</p>	<p>Dimensiones de Y</p>
	<p>X1: Proporción de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET)</p>	<p>Y1: Contenido de humedad óptimo</p>
		<p>Y2: Resistencia al esfuerzo cortante</p>
		<p>Y3: Capacidad de soporte a cargas aplicadas</p>
	<p>Indicadores de X</p>	<p>Indicadores de Y</p>
	<p>X1.1: Porcentaje en función al peso de la muestra (%)</p>	<p>Y1.1: Porcentaje de agua en función al peso de la muestra (%)</p>
		<p>Y1.2: Densidad máxima seca (gr/cm³)</p>
	<p>Y2.1: Ángulo de fricción -ϕ (°)</p>	
	<p>Y2.2: Cohesión - C (kg/cm²)</p>	
	<p>Y2.3: Esfuerzo cortante - τ (kg/cm²)</p>	
	<p>Y3.1: Capacidad portante - Q_u (kg/cm²)</p>	
<p>Objetivo específico 1:</p>	<p>Determinar la influencia de las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el contenido de humedad óptimo de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina</p>	
<p>Objetivo específico 2:</p>	<p>Determinar la influencia de las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina</p>	
<p>Objetivo específico 3:</p>	<p>Determinar la influencia de las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en la capacidad de soporte a cargas aplicadas de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina</p>	

Fuente: los autores

3.4. Población y muestra

El suelo areno-limoso se extrajo de la cuadra 11 de la avenida La Molina, en el distrito del mismo nombre, provincia y departamento de Lima, a media cuadra de la estación de servicio Primax El Sol, como se observa en la figura 14.

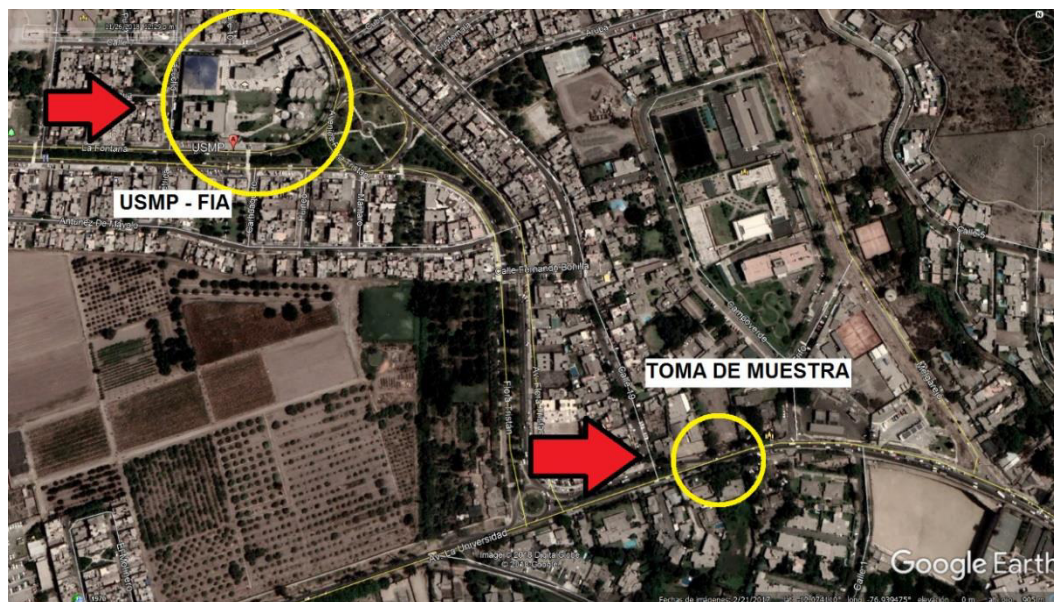


Figura 14. Punto de extracción de muestra de suelo
Fuente: Programa Google Earth Pro

Los fragmentos de polietileno tereftalato se obtuvieron de la empresa San Miguel Industrias, ubicada en la avenida Materiales 2354, distrito de Cercado de Lima, provincia y departamento de Lima (figuras 15 y 16).



Figura 15. Ubicación de la empresa San Miguel Industrias
Fuente: Programa Google Earth Pro



Figura 16. Puerta de ingreso de la empresa San Miguel Industrias
Fuente: los autores

3.4.1. Población

La población para la presente tesis es el distrito de La Molina, provincia y departamento de Lima.

3.4.2. Muestra

Se emplea para esta investigación los suelos areno-limosos ubicados en la cuadra 11 de la avenida La Molina, distrito de La Molina, provincia y departamento de Lima.

3.5. Técnicas de investigación

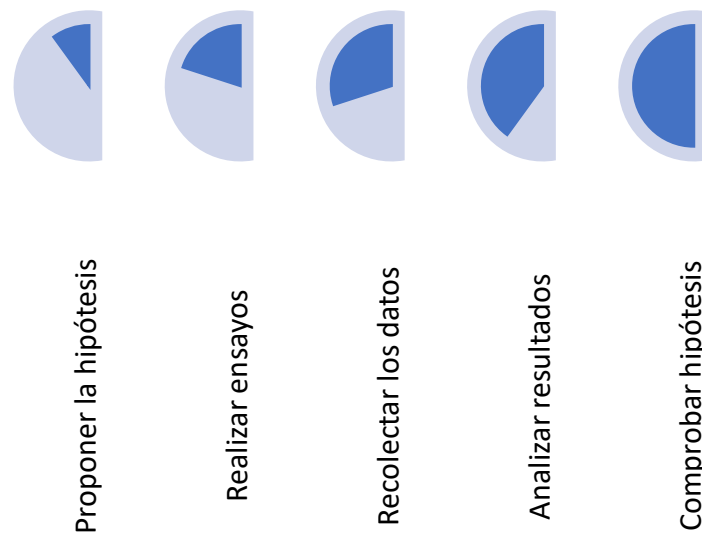


Figura 17. Procedimiento de trabajo

Fuente: los autores

3.6. Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron las máquinas de corte directo con pesas de 1 kg, 2 kg y 3 kg; para el ensayo de Proctor estándar se usaron una fuente para colocar la muestra de suelo, un molde, el pisón, capsulas, una báscula y un horno a 110 C°; para el ensayo de granulometría por tamiz se emplearon un tamizador mecánico, los tamices de 1 ½", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200 y el fondo.

3.7. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos obtenidos de los ensayos de laboratorio (ensayo Proctor estándar y corte directo) se utilizaron tablas de Excel. Por su parte, para el ensayo de granulometría por tamiz se usaron las tablas de los tamices.

Tabla 6: Matriz de consistencia

INFLUENCIA DE LAS ESCAMAS DE TEREFALATO POLIETILENO (FLAKE PET) EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS SUELOS ARENO-LIMOSOS DEL DISTRITO DE LA MOLINA									
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES						METODOLOGÍA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente (X)			Variable dependiente (Y)			Tipo de investigación
¿En qué medida inciden las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el comportamiento mecánico de los suelos arenolimosos del distrito de La Molina a fin de analizar los resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio?	Determinar la influencia de las escamas de tereftalato polietileno (flake PET) en el comportamiento mecánico de los suelos arenolimosos del distrito de La Molina a fin de analizar los resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio.	Al aplicar las escamas de tereftalato polietileno (flake PET) mejora el comportamiento mecánico de los suelos arenolimosos del distrito de La Molina.	X: Escamas de tereftalato polietileno (flake PET)			Y: Comportamiento mecánico de los suelos arenolimosos del distrito de La Molina			<ul style="list-style-type: none"> •Diseño: Experimental •Tipo: Aplicada •Enfoque: Cuantitativo
									Población y muestra
									1. Población Para la presente investigación, la población de estudio será el distrito de La Molina, provincia y departamento de Lima.
									2. Muestra Se considera como muestra de estudio el suelo tipo dos extraído de la cuadra 23 de la Av. La Molina, distrito de La Molina
Problema específico	Objetivo específico	Hipótesis específica	Dimensiones de la variable independiente	Indicadores	ÍNDICE	Dimensiones de la variable dependiente	Indicadores	ÍNDICE	
¿En qué medida incide las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el contenido de humedad de los suelos arenolimosos del distrito de La Molina?	Determinar la influencia de las proporciones de escamas de tereftalato polietileno (flake PET) en el contenido de humedad óptimo de los suelos arenolimosos del distrito de La Molina.	Al aplicar las proporciones de escamas de tereftalato polietileno (flake PET), disminuye el contenido de humedad óptima en un 13% por cada 2.5% de aditivo en los suelos arenolimosos del distrito de La Molina.	X1: Proporción de escamas de tereftalato polietileno (flake PET)	X1.1: Porcentaje en función al peso de la muestra	%	Y1: Contenido de humedad óptimo	Y1.1: Porcentaje de agua en función al peso de la muestra	%	
							Y1.2: Densidad máxima seca	gr/cm3	
									Instrumentos
							Y2.1: Ángulo de fricción	∅	<ul style="list-style-type: none"> •Excel •Molde de Proctor estándar •Martillo compactador para suelos Proctor estándar ASTM •Bandeja metálica •Eucharón metálico •Equipo para ensayo de corte directo •Horno de laboratorio •Tamizador eléctrico •Balanza digital •Dial horizontal
							Y2.2: Cohesión - C (kg/cm2)	kg/cm2	
									Procedimiento
							Y3.1: Esfuerzo cortante - τ ()	kg/cm2	1. Se obtendrá la muestra en la ubicación de trabajo. 2. Se procederá a tamizar la muestra. 3. Se desarrolla el ensayo de límite de consistencia. 4. Caracterización según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). 5. Se realiza el ensayo de gravedad específica. 6. Seguidamente se hace el ensayo de Proctor estándar 7. Se hace el ensayo de Corte directo 8. Se elabora la capacidad de carga aplicada según las características resultantes de los ensayos realizados. 9. Por último, se analizan los resultados obtenidos de los ensayos realizados.
							Y3.2: Capacidad portante - Q_u (kg/cm2)	Qu	

Fuente: los autores

CAPÍTULO IV: DESARROLLO

4.1. Hipótesis

4.1.1. Cuantificación de la hipótesis

En los resultados obtenidos por Louzada y Casagrande (2016) en su proyecto de investigación titulado *Estudio del comportamiento mecánico de un suelo arcilloso con la inserción de escamas de tereftalato de polietileno* se logra apreciar que estas escamas logran una disminución en el contenido de humedad óptimo necesario para poder llegar a la compactación deseada. Sin embargo, como la densidad del aditivo es menor que la del suelo, a medida que la cantidad de flake PET aumenta, la densidad de las mezclas disminuye. Estos resultados se pueden observar en la tabla 1 y la figura 2.

De lo mencionado anteriormente se concluye que según se incrementa el porcentaje de flake PET en la muestra, las propiedades mecánicas se ven beneficiadas de forma directamente proporcional.

Las cantidades adicionadas de flake PET fueron de 3% y 5% en el proyecto de investigación de Louzada y Casagrande, y resultaron ambas favorables para mejorar la resistencia del suelo. A diferencia de lo evidenciado en dicho proyecto, se espera lo siguiente para los suelos areno-limosos:

- Que el contenido de humedad disminuya en un 13% por cada 2.5% de PET adicionado, con aproximadamente la inserción de como máximo 5% de flake PET, como se puede apreciar en los resultados logrados

en el proyecto de investigación de referencia. Asimismo, puesto que las partículas serán de mayor dimensión, el espacio destinado a los vacíos será cada vez menor; y del mismo modo, por ser la densidad del aditivo menor a la del suelo, se espera que la máxima densidad del suelo disminuya conforme vaya incrementando la proporción del flake PET.

- Que el ángulo de fricción presente un aumento del 11% por cada 2.5% de flake PET adicionado, con respecto a la muestra de suelo solo (100% suelo areno-limoso), con aproximadamente la inserción de como máximo 5% de flake PET. De la misma manera, se espera que la cohesión disminuya de forma significativa ya que el suelo a estudiar es una arena, material con cohesión similar a cero.
- Que la capacidad portante última aumente proporcionalmente por cada 2.5% de flake PET adicionado, debido a que las variables de la ecuación de capacidad portante incrementan con aproximadamente la inserción de como máximo 5% de flake PET.

4.1.2. Hipótesis general

Al aplicar las escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina, se aprovechará las propiedades físicas y químicas del aditivo.

4.1.3. Hipótesis específicas

- Al aplicar las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET), disminuirá el contenido de humedad óptima en un 13% por cada 2.5% de aditivo en los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.
- Al aplicar las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET), aumentará el ángulo de fricción interno en un 11% por cada 2.5% de aditivo en los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.

- Al aplicar las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET), mejorará la capacidad de carga proporcionalmente por cada 2.5% de aditivo en los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.

4.2. Caso de investigación

La presente tesis sugiere un método para aprovechar los beneficios del tereftalato de polietileno. Mediante la adición de las escamas de tereftalato de polietileno, se mejorará la capacidad portante de los suelos areno-limosos ubicados en la Zona II del mapa de zonificación geotécnica del distrito de La Molina del 2010.

Las propiedades tanto físicas como químicas de las escamas de tereftalato de polietileno son idóneas para introducirlas en el campo de la Ingeniería Geotécnica. La mezcla del suelo areno-limoso y los residuos obtenidos por triturado y tamizado previo tratamiento surge en base a la necesidad de medir la repercusión e incidencia que este material ocasiona en las propiedades del suelo areno-limoso.

4.3. Procedimiento de trabajo

Para lograr los objetivos propuestos se llevó a cabo una serie de actividades, tales como recopilar información, desarrollar un programa de exploración geotécnica, y realizar ensayos de laboratorio y trabajos en gabinete. Todo ello comprende el procesamiento y el análisis de la información para establecer la incidencia de las partículas flake PET en los suelos areno-limosos de La Molina.

4.3.1. Trabajos preliminares

La muestra fue extraída del distrito de La Molina. De aquello se trata con mayores detalles en la sección “Población y muestra” de esta investigación. El material fue seleccionado de acuerdo con los perfiles de suelos del plano de microzonificación geotécnica, propuestos por la Municipalidad Distrital de La Molina (2010) en el documento denominado *Estudio y mapa de*

microzonificación sísmica y vulnerabilidad en el distrito de La Molina, Apéndice B características geotécnicas del distrito de La Molina. Debido a que la finalidad del estudio fue lograr una mejoría en las características mecánicas de un suelo, se escogió como material de estudio a las arenas, material bajo en capacidad portante. Se procedió a su recolección fijando un punto según lo indicado en los planos de microzonificación geotécnica que se muestran en las siguientes figuras:

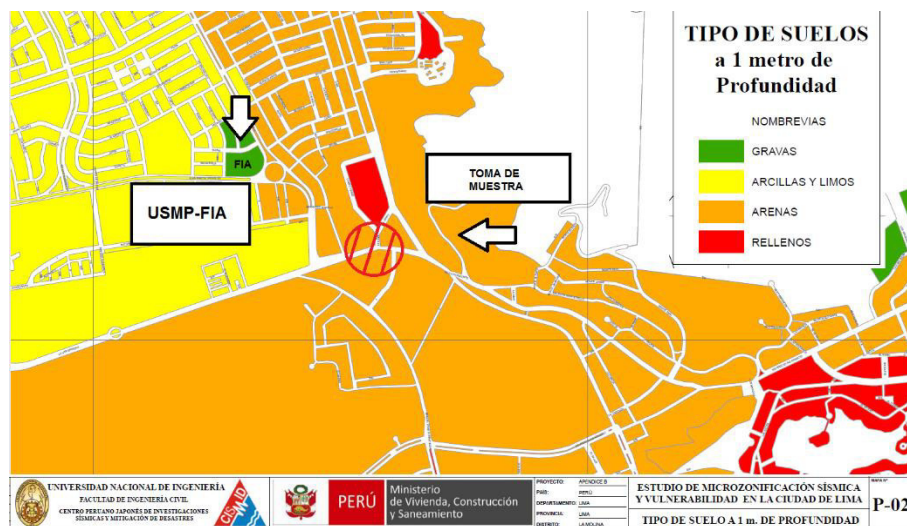


Figura 18. Tipo de suelo a 1 metro de profundidad

Fuente: Municipalidad de La Molina



Figura 19. Tipo de suelo a 2 metros de profundidad

Fuente: Municipalidad de La Molina

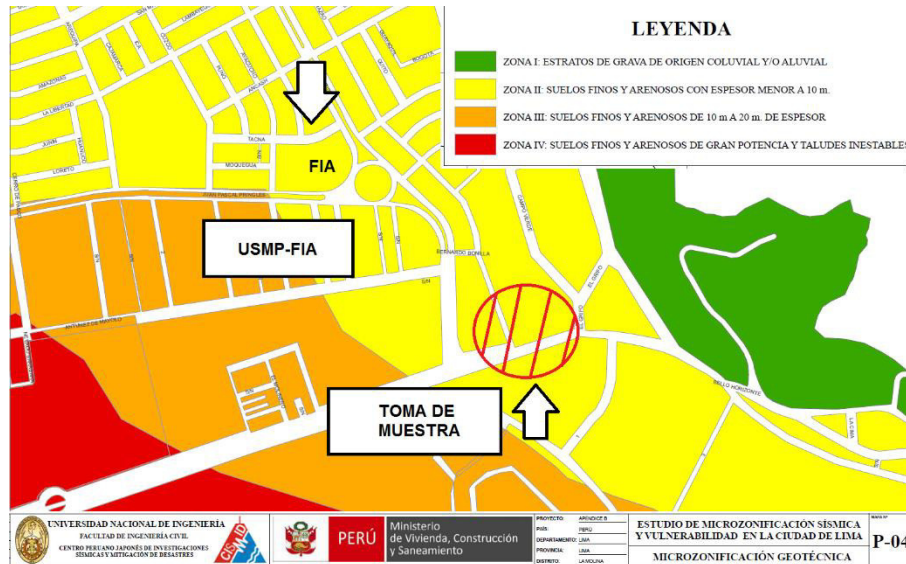


Figura 20. Ubicación de la muestra

Fuente: Municipalidad de La Molina

El material extraído del punto de referencia señalado según los planos presentados vendría a ser el siguiente:

- Según el plano, P-02 TIPO DE SUELO A 1 m DE PROFUNDIDAD: arena.
- Según el plano, P-03 TIPO DE SUELO A 2 m DE PROFUNDIDAD: arena.
- Según el plano, ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA (Zona II): finos y arenas.



Figura 21. Recolección de muestra a 1.60 m de profundidad

Fuente: los autores

4.3.2. Límites de consistencia

Se tratará en este apartado sobre los límites de consistencia. Esta investigación se apoyará en las normas MTC E 110 y MTC E 111, del *Manual de ensayo de materiales (2016)*, las cuales determinan el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Los límites de Atterberg se emplean para caracterizar el comportamiento y desarrollo de los suelos finos, aunque el desarrollo de estos varía con el transcurrir del tiempo. Así, un suelo está en estado sólido cuando su contenido de humedad es equivalente a cero. Luego, al adicionarle agua en raciones determinadas, va pasando a los estados de semisólido, plástico y, finalmente, líquido.

El tipo de muestra que se investigó en el laboratorio fue extraído de una profundidad de 1.60 metros respecto del nivel del terreno natural. Se eligió la muestra de agregado fino, una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar entre 150 y 200 g de material pasante del tamiz 425 μm (N.º 40). En las tablas 7 y 8 se detallan los resultados obtenidos:

Tabla 7: Límite líquido

ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO			
Tara	C	A-3	B
N° DE GOLPES	16	23	31
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE (gr.)	49.78	50.68	48.38
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE (gr.)	48.1	49.38	47.55
PESO DEL RECIPIENTE (gr.)	41.41	43.27	42.53
PESO DEL AGUA (gr.)	1.68	1.3	0.83
PESO DEL SUELO SECO (gr.)	6.69	6.11	5.02
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	25.11	21.28	16.53
LÍMITE LÍQUIDO	20,97%		

Fuente: los autores

Tabla 8: Límite plástico

ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO		
Tara	B-C2	A2
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE (gr.)	57.56	53.92
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE (gr.)	54.97	52.14
PESO DEL RECIPIENTE (gr.)	39.49	42.1
PESO DEL AGUA (gr.)	2.59	1.78
PESO DEL SUELO SECO (gr.)	15.48	10.04
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	16.73%	17.73%
PROMEDIO DEL ÍNDICE PLÁSTICO.	17.23%	
ÍNDICE PLÁSTICO	3.74%	

Fuente: los autores



Figura 22. Materiales utilizados para el ensayo de Límite de Atterberg

Fuente: los autores



Figura 23. Elaboración del límite de Atterberg

Fuente: los autores

4.3.3. Análisis granulométrico por tamizado

Con la finalidad de poder caracterizar el material de estudio y poder determinar la correcta distribución de sus partículas se establece el procedimiento para la elaboración de ensayo granulométrico, el cual se describe en la norma de referencia MTC E 107 (análisis granulométrico de suelos por tamizado), del *Manual de ensayo de materiales (2016)*. En esta norma se precisa el método que permite hallar los porcentajes de suelo que atraviesan los diferentes tamices de las series propuestas en el ensayo: desde la maya de 3" (abertura de 75 mm) hasta la malla N° 200 (abertura de 75 μ m).

Tabla 9: Tamices de malla cuadrada

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75
2"	50.8
1 ½"	38.1
1"	25.4
¾"	19
⅜"	9.5
N°4	4.76
N°10	2
N°20	0.84
N°40	0.425
N°60	0.26
N°140	0.106
N°200	0.075

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

Los resultados de los porcentajes retenidos tanto parciales como acumulados, al igual que los pasantes a través de los diferentes tamices para la muestra de suelo destinado a investigar, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10: Análisis granulométrico por tamizado para la muestra de suelo a estudiar

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO			Peso Suelo Seco (g)	883.12	
			Peso Suelo Seco Lavado (g)	696.23	
Tamiz ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido		% Pasa
			Parcial	Acumulado	
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	11.97	1.36	1.36	98.64
4	4.760	19.43	2.20	3.56	96.44
8	2.360	20.99	2.38	5.93	94.07
16	1.100	25.53	2.89	8.82	91.18
30	0.590	39.91	4.52	13.34	86.66
50	0.297	68.44	7.75	21.09	78.91
100	0.149	350.90	39.73	60.83	39.17
200	0.075	159.06	18.01	78.84	21.16
Fondo	----	186.89	21.16	100.00	0.00
TOTAL		883.12	100.00		

Fuente: los autores 1

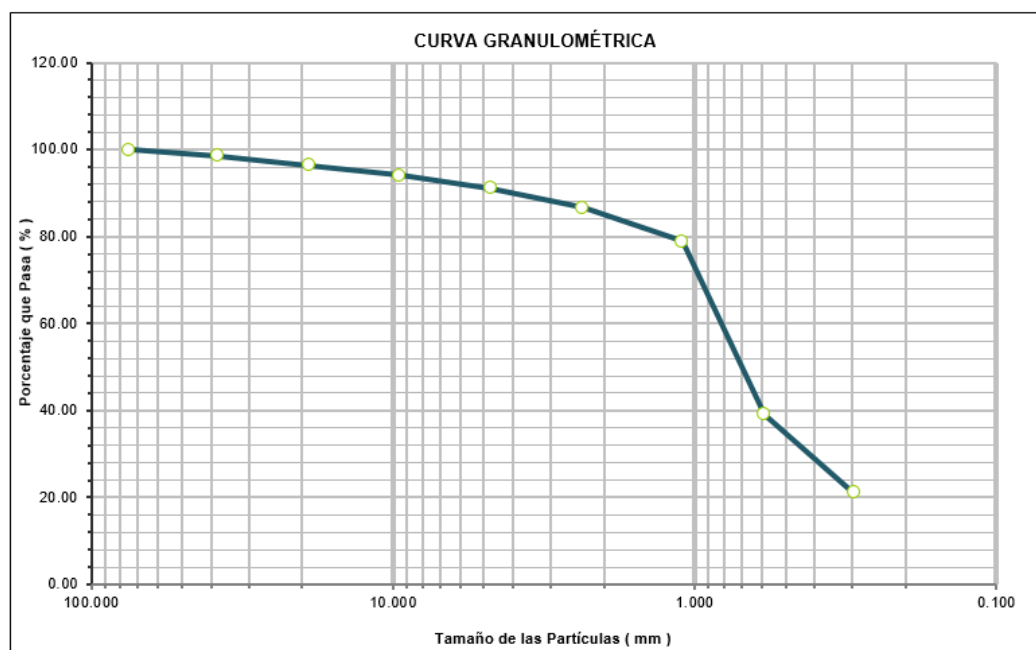


Figura 24. Curva granulométrica para el material destinado a investigar

Fuente: los autores

Adicionalmente se tamizó las escamas de tereftalato de polietileno para poder realizar el ensayo en condiciones estandarizadas y lograr una comparación predispuesta por parámetros. Se utilizaron los residuos retenidos en las mallas N° 4 y N° 8. De esta manera, se logró un tamaño homogéneo de entre

2.38 mm y 4.75 mm. Las proporciones de cada compuesto serán las siguientes:

Tabla 11: Cuadro de descripción y nomenclatura de las proporciones a ensayar

Descripción	Nomenclatura
100% de suelo	100°S
2.5% de Flake PET - 97.5% de suelo	2.5PET-97.5S
5% de Flake PET - 95% de suelo	5PET-95S
7.5% de Flake PET - 92.5% de suelo	7.5PET-92.5S
10% de Flake PET - 90% de suelo	10PET-90S

Fuente: los autores



Figura 25. Tamizado y obtención de las escamas de tereftalato retenidas por la malla N° 4 y la N° 8 respectivamente

Fuente: los autores

4.3.4. Caracterización según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Se procederá a clasificar el suelo a estudiar según el SUCS, un sistema encargado de clasificar los suelos en base al tamaño de las partículas que lo integran. Mediante la aplicación de este ensayo tenemos como fin estimar en forma directa y simplificada las propiedades de un suelo por comparación con otros del mismo tipo guiándose por el tamaño de sus fracciones cuyas singularidades ya se conocen. En los suelos son tantas las peculiaridades y combinaciones presentes en el campo de la profesión para la cual se desarrollaron que abarcar un estudio de todas ellas no resulta factible. Por consiguiente, esta tesis solo tomará en cuenta los tipos de suelos de granulometría fina, las arenas y los limos, materiales que por sus propiedades resultan ser una complicación y limitante al momento de ejecutar una construcción.

La clasificación de la arena estudiada según el SUCS la cataloga como una **SM** (arena-limosa). Debido a que el retenido pasante por la malla N° 4 representa más de la mitad del total de la muestra fue denominada arena y teniendo en cuenta que una cantidad considerable pasó por la malla N° 200 estaría catalogada como una arena limosa. Para poder otorgar una denominación a la muestra usada en este proyecto fueron necesarios los siguientes datos, los cuales serán detallados a continuación.

Tabla 12: Indicadores para la clasificación del suelo en el laboratorio

DATOS	VALORES
% Pasa N° 4	96.44
% Pasa N° 200	21.16
% LL	20.97
% LP	17.23
% IP	3.74
% Grava	3.56
% Arena	96.44

Fuente: los autores

SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕			
on, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.			
ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4		GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	
PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm, COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4			
ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas

Figura 26. Definición de los tipos de suelo
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

* SM	d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	DETERMÍNESE LOS PORC DEPENDIENDO DEL PORC GRUESOS SE CLASIFIC CM,CCSM,SC. Entre 5% y 1	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.
	u	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.
SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		

Figura 27. Caracterización de la muestra
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

4.3.5. Ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

La gravedad específica de un suelo (**G_s**) es fundamental para el cálculo de la relación de vacíos como también para medir la densidad de los sólidos de suelo. Esto se logra multiplicando su gravedad específica por la densidad de agua (la cual debe estar a una temperatura dada). Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica de sólidos de suelos que pasan el tamiz N^o 4 mediante un picnómetro de agua. Para el ensayo son necesarios en total una porción de 200 g de material a estudiar. Con la finalidad de conocer el G_s para todas las combinaciones se distribuirán los pesos de la siguiente manera:

Tabla 13: Proporción areno-limosa y PET

Descripción	PET (gr)	Arena-Limosa (gr)
100% de suelo	--	200
2.5 % de Flake PET - 97.5% de suelo	5	195
5 % de Flake PET - 95% de suelo	10	190
7.5 % de Flake PET - 92.5% de suelo	15	185
10 % de Flake PET - 90% de suelo	20	180

Fuente: los autores






En vista de que la densidad del agua varía en función a la temperatura que se encuentra, es necesario realizar una corrección. A cada uno de los datos obtenidos de los trabajos de laboratorio se tiene que realizar un reajuste mediante un factor de corrección por temperatura. Luego de obtener el valor del factor de corrección por temperatura (**K**), se procede a la renovación de las cantidades.

Tabla 14: Gravedad específica

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS					
Nomenclatura	100°S	2.5PET-97.5S	5PET-95S	7.5PET-92.5S	10PET-90S
Frasco N°	1	2	3	4	5
Peso frasco + suelo + agua (gr)	1191.77	1191.17	1191.99	1191.69	1190.44
Peso frasco + agua (gr)	1268.94	1266.71	1265.98	1263.45	1261.38
Peso de suelo seco (gr)	200	200	200	200	200
Gravedad Específica SC (gr/cm ³)	1.63	1.61	1.59	1.56	1.55
Temperatura °C	20.4	21.2	21.6	21.4	21.2
Coefficiente de temperatura (K)	0.99992	0.99974	0.99966	0.99970	0.99795
Gravedad Específica	1.63	1.61	1.59	1.56	1.55

Fuente: los autores

Tabla 15: Ensayo de gravedad específica

Proceso del ensayo de gravedad específica de un suelo mediante picnómetro		
		
Pesado de la muestra según las proporciones establecidas	Pesado de la adición según las proporciones establecidas	Medición de la temperatura del agua destilada
		
Extracción de burbujas del agua destilada a emplearse en el ensayo con una bomba de succión	Extracción de burbujas del agua destilada + suelo + adición, a emplearse en el ensayo con una bomba de succión	

Fuente: los autores

4.3.6. Compactación del suelo con energía estándar (Proctor estándar)

La compactación de suelos es el proceso artificial llevado a cabo con la finalidad de reacomodar la estructura de la muestra y poder aminorar el espaciamiento de volúmenes ajenos al del suelo en sí, empleando una energía la cual puede ser aplicada mediante distintas metodologías. En este procedimiento las partículas de suelo son obligadas a entrar más en contacto unas con otras mediante una reducción del índice de vacíos usando medios mecánicos.

La norma de referencia MTC E 116 (compactación del suelo utilizando una energía estándar), del *Manual de ensayo de materiales* (2016), proporcionará los lineamientos que regirán los protocolos a seguir para alcanzar la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo para la obtención de nuestros resultados en laboratorio. Según esta norma, se define al ensayo como el método que cubre los procesos de compactación en laboratorio utilizados para determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde con un diámetro de 101,6 mm (12 400 pielbf/pie³).

Se realizó el ensayo de acuerdo con lo establecido en la normativa vigente para el mismo. Por ello, como primer paso, se establecieron las proporciones entre el suelo y el flake-PET.

Tabla 16: Ensayo de Proctor

COMBINACIÓN ARENA-LIMOSA + FLAKE PET ENSAYO PROCTOR		
Nomenclatura	PET (gr)	Arena-Limosa (gr)
100°S	--	2500
2.5PET-97.5S	62.5	2437.5
5PET-95S	125	2375
7.5PET-92.5S	187.5	2312.5
10PET-90S	250	2250

Fuente: los autores

Para lograr una mayor homogeneidad y garantizar que las humedades estimadas penetren todos los vacíos, se dejó reposar la combinación por

veinticuatro horas en un ambiente en el que no se pierda la humedad. Para ello se dejó las muestras en bandejas forradas con plástico film.

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos del ensayo de Proctor estándar para cada una de las combinaciones.

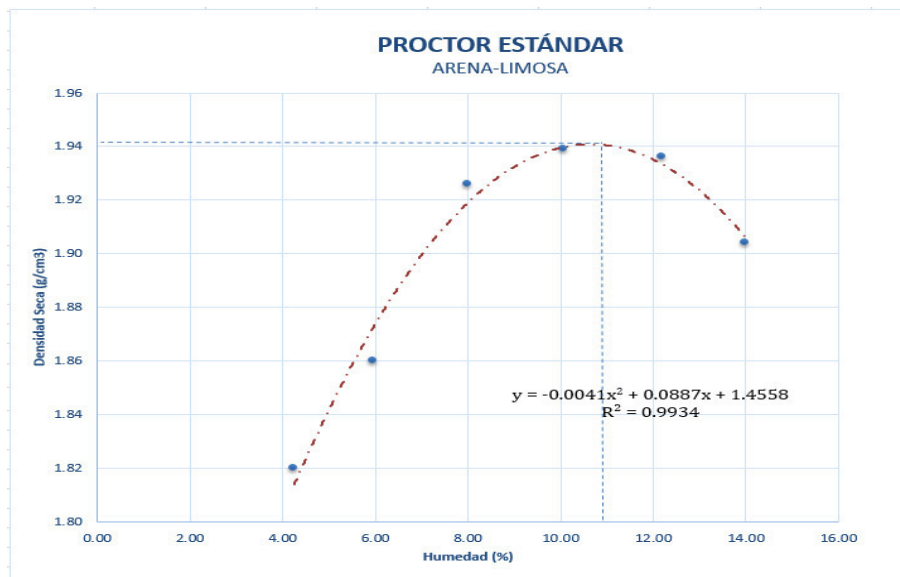


Figura 28. Curva de densidad seca vs. humedad (%)

Fuente: los autores

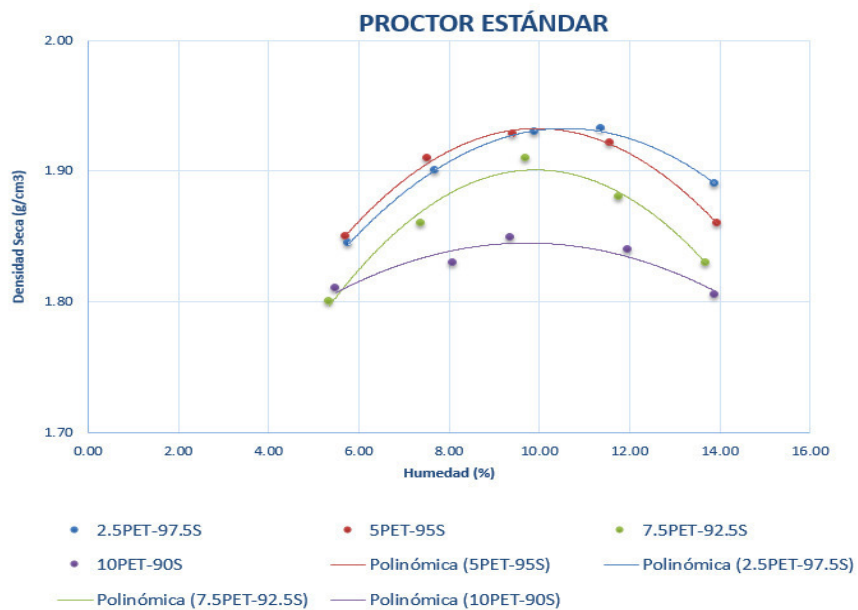


Figura 29. Comparativa de curvas de suelo + PET

Fuente: los autores

Tabla 17: Ensayo de Proctor al suelo + PET

COMBINACIÓN ARENA-LIMOSA + FLAKE PET ENSAYO PROCTOR		
Nomenclatura	Densidad Seca (gr/cm³)	Humedad %
100°S	1.941	10.81
2.5PET-97.5S	1.94	10.53
5PET-95S	1.923	10.71
7.5PET-92.5S	1.906	10.01
10PET-90S	1.852	9.43

Fuente: los autores

La importancia de la compactación de suelos radica en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, las cuales aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

4.3.7. Ensayo de corte directo

Según la norma de referencia MTC E 123 (corte directo, consolidado-drenado), del *Manual de ensayo de materiales (2016)*, este método operativo es adecuado para la determinación rápida de las propiedades de resistencia de materiales drenados y consolidados. Debido a que las trayectorias de drenaje a través de la muestra son cortas, se permite que el exceso de presión en los poros sea disipado más rápidamente que con otros ensayos drenados. El ensayo puede ser hecho en todo tipo de suelos inalterados, remodelados o compactados. Hay, sin embargo, una limitación en el tamaño máximo de las partículas presentes en las muestras.

Para la realización de este ensayo fue necesario moldear 3 especímenes rectangulares (de 6 cm x 6 cm x 2 cm) para posteriormente ingresarlos a la cámara de corte del aparato de corte directo, como se aprecia en la figura 30 (cámara de corte). Estas tres muestras fueron hechas con la ayuda de un martillo y el molde empleado en la realización del ensayo de Proctor estándar, ya que para lograr las condiciones óptimas especificadas en la tabla 17 (ensayo de Proctor al suelo + PET) fue necesario modelar bajo estas mismas condiciones.

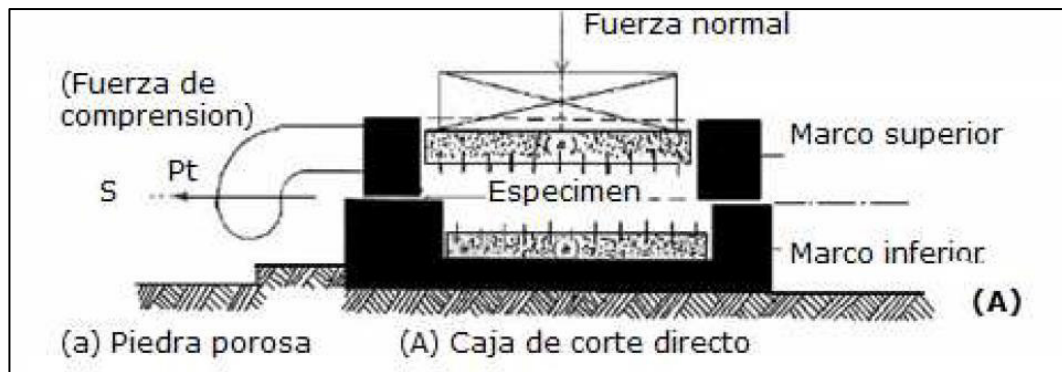


Figura 30. Cámara de corte
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

Una vez compactada se procede a su extracción con la ayuda de una palanca que ejerce presión en la parte de abajo del molde y empuja de manera constante la muestra hacia arriba. En la siguiente fotografía (figura 31) se muestra la combinación de suelo y tereftalato de polietileno compactada bajo condiciones óptimas.



Figura 31. Extracción de la muestra compactada en un ensayo Proctor estándar
Fuente: los autores

Una vez lograda extraer la muestra se procede a cortarla en tres partes iguales con un cuchillo o un serrucho, y con la ayuda de los tres moldes del ensayo de corte directo se remoldean los especímenes tratando lo menos posible de alterar su estructura.



Figura 32. Remoldeo de los especímenes para la cámara de corte
Fuente: los autores

Logradas estas muestras se guardan en una bolsa impermeable con la finalidad de que no pierda la humedad ni se altere su estructura interior para posteriormente colocarlas en la cámara de corte.



Figura 33. Guardado de los especímenes en una bolsa impermeable
Fuente: los autores

En este caso, por tratarse de una arena, la norma de referencia MTC E 123 sugiere un tiempo de consolidación de 18 horas.

Tabla 18: Tiempo de consolidación según el tipo de material

Clasificación D2487	Tiempo mínimo de reposo (h)
SW, SP	No requiere
SM	3
SC, ML, CL	18
MH, CH	36

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

Pasado este tiempo se procede a realizar el ensayo de corte directo realizando los pasos de la norma de referencia MTC E 123.



Figura 34. Lectura del desplazamiento y la fuerza registrada en la máquina de corte directo
Fuente: los autores

Obteniendo de esta manera para las diversas proporciones establecidas de suelo-PET los siguientes valores de ángulo de fricción y cohesión:

Tabla 19: Datos de ángulo de fricción y cohesión para las proporciones suelo-PET

Nomenclatura	Esfuerzo Cortante - τ (kg/cm ²)			Esfuerzo Normal - σ (kg/cm ²)			Ángulo de fricción - ϕ (°)	Cohesión - C (kg/cm ²)
	τ_1	τ_2	τ_3	σ_1	σ_2	σ_3		
100°S	0.41	0.66	0.96	0.31	0.61	1.23	30.06°	0.263
2.5PET-97.5S	0.33	0.58	0.90	0.31	0.61	1.23	31.31°	0.166
5PET-95S	0.28	0.57	0.84	0.31	0.61	1.23	30.43°	0.144
7.5PET-92.5S	0.28	0.44	0.77	0.31	0.61	1.23	28.34°	0.113
10PET-90S	0.19	0.41	0.66	0.31	0.61	1.23	26.44°	0.068

Fuente: los autores

4.3.8. Capacidad de cargas aplicadas

De lo mencionado en el capítulo 2 con respecto a la ecuación general de capacidad de carga, cuyo objetivo es determinar la capacidad portante última de un tipo de suelo, según Das (2011), en *Principios de ingeniería de cimentaciones* para poder dar solución a la ecuación de la capacidad de carga última propuesta por Meyerhof (1963) es necesario conocer diversos parámetros, entre los cuales tenemos la cohesión, el ángulo de fricción interno, el esfuerzo efectivo del fondo de la cimentación, el peso específico del suelo, las dimensiones de la cimentación (en caso de que fuese circular) y los diversos factores que están en función a la forma, la profundidad, la inclinación de la carga y la capacidad de carga.

$$q_u = c'N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma N_\gamma F_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

En esta ecuación:

c' = cohesión

q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación

γ = peso específico del suelo

B = ancho de la cimentación (= diámetro para una cimentación circular)

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ = factores de forma

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = factores de profundidad

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = factores de inclinación de la carga

F_c, F_q, F_y = factores de capacidad de carga

Sobre lo anteriormente mencionado, se cuentan con todos los datos, los cuales serán expuestos en el presente capítulo.

En el documento *Pautas técnicas de microzonificación sísmica de La Molina*, publicado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en 2011, se detalla que, en ese distrito, según el tipo de terreno presente, el nivel promedio de cimentación para la mayoría de las edificaciones se encuentra entre 1 y 2 m. Es por tal motivo que se eligió extraer la muestra de suelo a estudiar de una profundidad de 1.60 m, tal como se detalló en la figura 21 y también se mostrará en la figura 35:

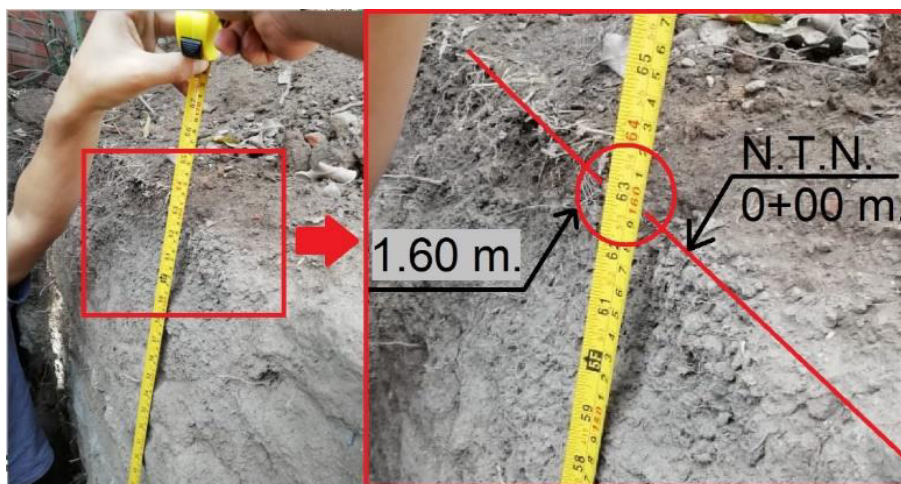


Figura 35. Profundidad de obtención de muestra de suelo a estudiar: 1.60 m
Fuente: los autores

Por tal motivo, se empleará una profundidad de cimentación igual a 1.60 m ($D_f = 1.60$ m), ya que fue a esta altura que se recolectó la muestra de suelo a estudiar. Asimismo, fueron necesarias las medidas de una zapata para poder calcular la ecuación general de capacidad de carga. Finalmente, se otorgarán unas dimensiones de 1 m por 1 m ($B = 1.0$ m – $L = 1.0$ m), debido a que son estas medidas las típicas para viviendas de un máximo de dos pisos.

Se procede, entonces, a efectuar los cálculos con las fórmulas referidas en la figura 8 (ecuación de Meyerhof), ubicada en el capítulo 2. Habiendo incorporado los datos pertinentes, se obtuvieron los siguientes resultados:

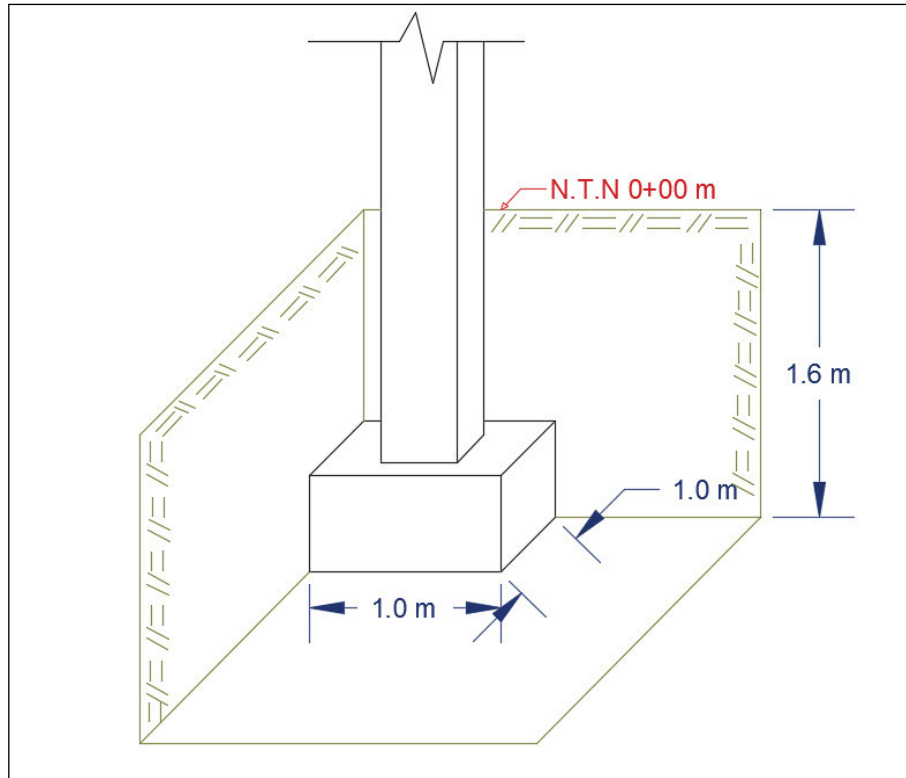


Figura 36. Detalles de la cimentación
Fuente: los autores

Tabla 20: Resultados obtenidos sobre el ángulo de fricción interno, la cohesión, las dimensiones de la cimentación y la gravedad específica

Nomenclatura	Ángulo de fricción - ϕ (°)	Cohesión - C (kg/cm ²)	B (m)	L (m)	Gravedad Específica (gr/cm ³)	Gs (kN/m ²)
100°S	30.06	0.26	1.00	1.00	1.63	15.97
2.5PET-97.5S	31.31	0.17	1.00	1.00	1.61	15.75
5PET-95S	30.43	0.14	1.00	1.00	1.59	15.56
7.5PET-92.5S	28.34	0.11	1.00	1.00	1.56	15.29
10PET-90S	26.44	0.07	1.00	1.00	1.55	15.17

Fuente: los autores

Tabla 21: Resultados obtenidos sobre los factores de carga, los factores de forma, los factores de profundidad y los factores de inclinación

Nomenclatura	Nq	Nc	Ny	Fcs	Fqs	Fys	Fcd	Fqd	Fyd	Fci , Fqi	Fgi
100°S	18.53	30.29	22.61	1.61	1.58	0.60	1.03	1.02	1.00	1.00	1.00
2.5PET-97.5S	21.39	33.52	27.24	1.64	1.61	0.60	1.03	1.02	1.00	1.00	1.00
5PET-95S	19.33	31.21	23.89	1.62	1.59	0.60	1.03	1.02	1.00	1.00	1.00
7.5PET-92.5S	15.29	26.48	17.57	1.58	1.54	0.60	1.02	1.02	1.00	1.00	1.00
10PET-90S	12.42	22.97	13.35	1.54	1.50	0.60	1.02	1.02	1.00	1.00	1.00

Fuente: los autores

Tabla 22: Resultados obtenidos sobre la capacidad portante última y la capacidad portante admisible

Nomenclatura	q _{ult} (kg/cm ²)	Q _{adm} (kg/cm ²)
100°S	8.91	2.23
2.5PET-97.5S	10.37	2.59
5PET-95S	9.12	2.28
7.5PET-92.5S	6.83	1.71
10PET-90S	5.32	1.33

Fuente: los autores

CAPÍTULO V: RESULTADOS

1. Al incorporar flake PET al suelo natural, los contenidos de humedad en cada combinación fueron distintos:
 - ✓ Para la combinación 2.5% PET + 97.5% SUELO, se obtuvo una disminución en la humedad de 0.28%.
 - ✓ Para la combinación 5% PET + 95% SUELO, se obtuvo una disminución en la humedad de 0.10%.
 - ✓ Para la combinación 7.5% PET + 92.5% SUELO, se obtuvo una disminución en la humedad de 0.80%.
 - ✓ Para la combinación 10% PET + 90% SUELO, se obtuvo una disminución en la humedad de 1.38%.

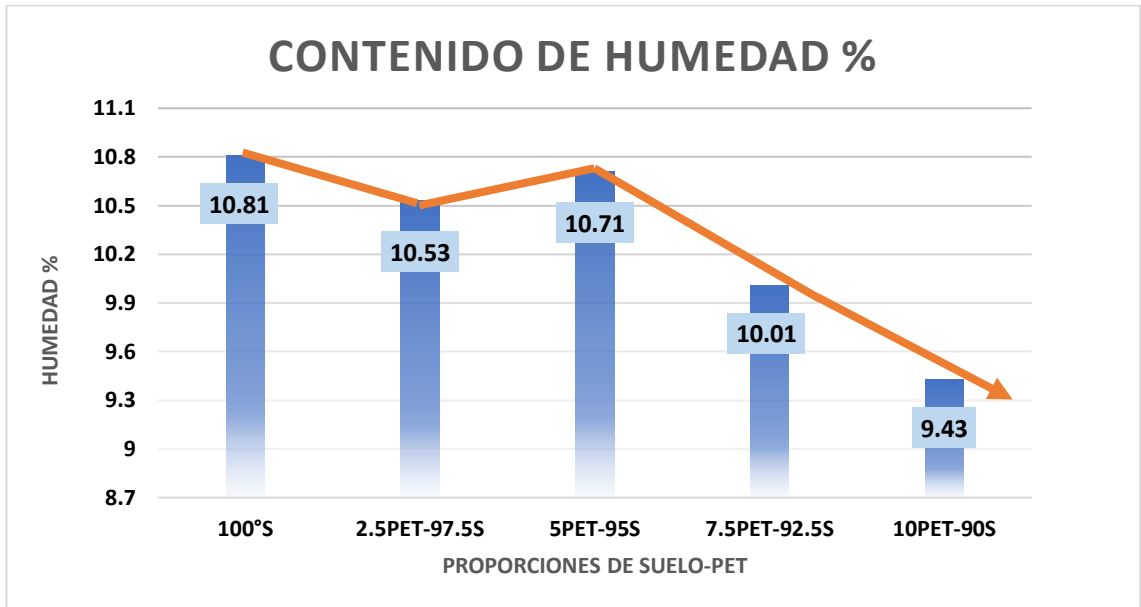


Figura 37. Gráfico comparativo de contenido de humedad

Fuente: los autores

No se verifica la primera hipótesis específica, debido a que los porcentajes de contenido de humedad óptimos para las muestras varían con respecto al del suelo solo, como es posible apreciar en la siguiente figura:

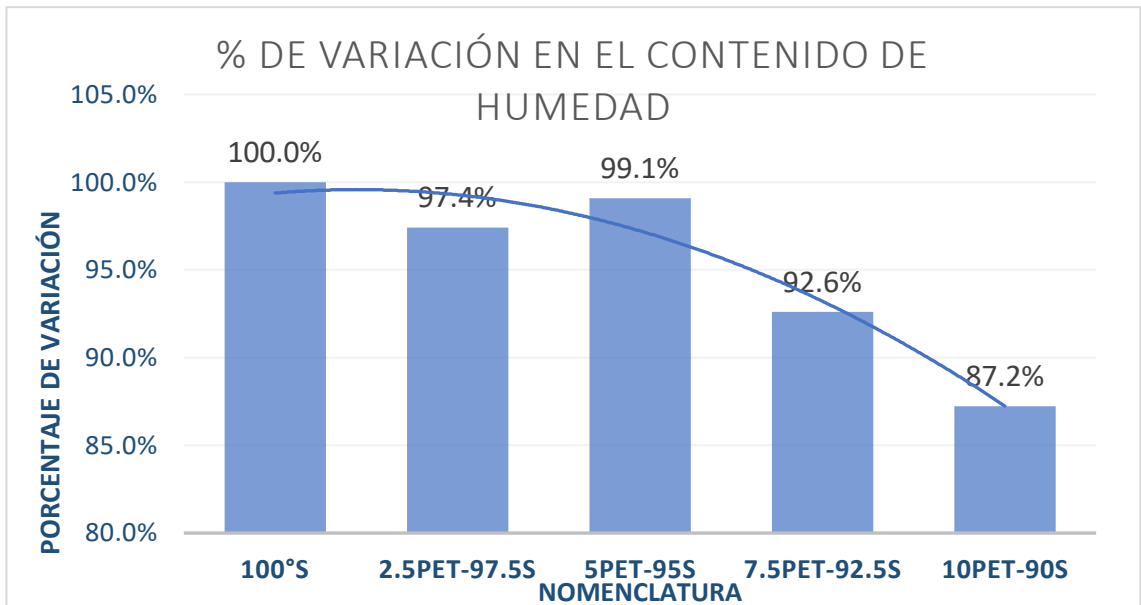


Figura 38: Porcentaje de variación en el contenido de humedad

Fuente: los autores

Se determinó que el contenido de agua sí disminuye; sin embargo, no en la relación propuesta en la hipótesis, sino de la siguiente manera: 2.6%, 0.9%, 7.4% y 12.8% para la adición de flake PET en un porcentaje de 2.5%, 5%, 7.5% y 10% respectivamente. Como se observa, el promedio disminuyó 2.5% por cada 2.5% de aditivo.

2. Se obtuvieron los siguientes resultados de ángulos de fricción internos de corte directo al adicionar flake PET al suelo areno-limoso. Estos variaron en relación con lo obtenido para la muestra de tierra sola (100S – Suelo al 100%), como se verifica en la tabla 19.

- ✓ Para la combinación 2.5% PET + 97.5% SUELO, se obtuvo un aumento en el ángulo de fricción interno de 1.25°.
- ✓ Para la combinación 5% PET + 95% SUELO, se obtuvo un aumento en el ángulo de fricción interno de 0.37°.
- ✓ Para la combinación 7.5% PET + 92.5% SUELO, se obtuvo una disminución en el ángulo de fricción interno de 1.72°.
- ✓ Para la combinación 10% PET + 90% SUELO, se obtuvo una disminución en el ángulo de fricción interno de 3.63°.

No se verifica la segunda hipótesis específica debido a que el aumento en el ángulo de fricción no es uniforme. Para la primera combinación de 2.5% de flake PET, aumenta el ángulo en un 4.16%. Para la segunda combinación de 5% de flake PET, las condiciones no mejoran de manera significativa, sino que mantienen las propiedades con respecto al ángulo del suelo solo (100S). Por último, para las combinaciones de 7.5% y 10% de flake PET, el ángulo disminuye. Dichos resultados se pueden observar en las figuras 38 y 39.

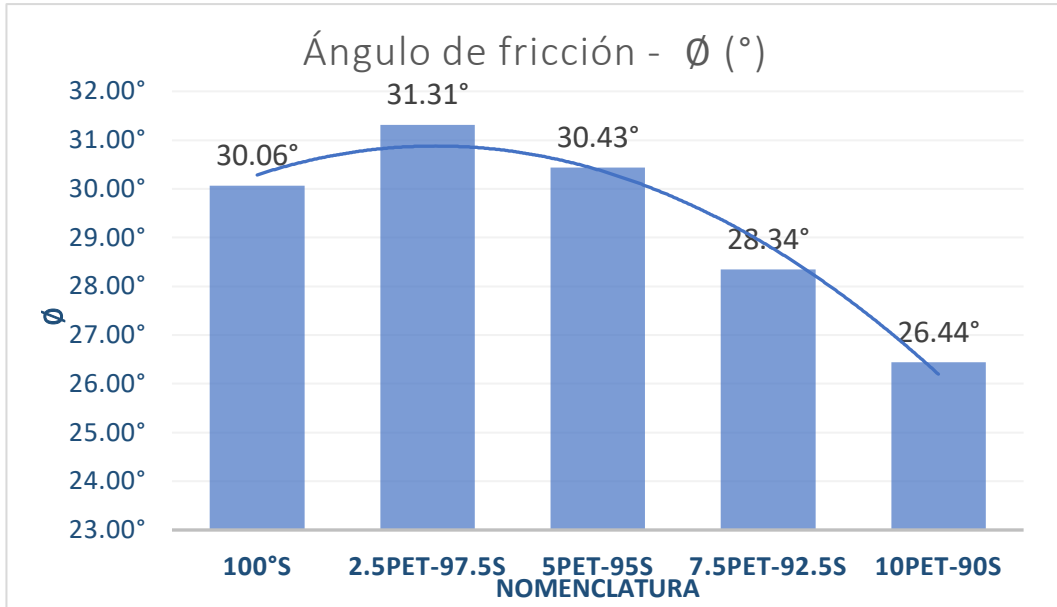


Figura 39. Gráfico comparativo de ángulos de fricción

Fuente: los autores

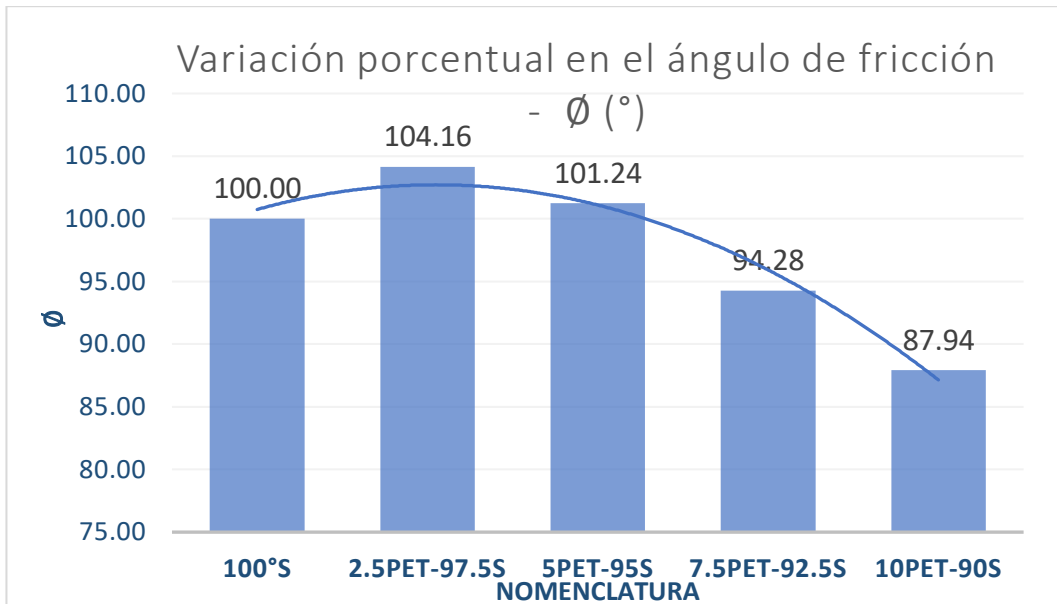


Figura 40. Gráfico comparativo de ángulos de fricción

Fuente: los autores

- Adicionar el flake PET a los suelos areno-limosos en las diversas proporciones incide en la capacidad portante (y admisible) de la siguiente manera:

- ✓ Para la combinación 2.5% PET + 97.5% SUELO, se obtuvo un aumento en la capacidad portante última en el terreno de 1.46 kg/cm² y un aumento en la capacidad admisible de 0.37 kg/cm².

- ✓ Para la combinación 5% PET + 95% SUELO, se obtuvo un aumento en la capacidad portante última en el terreno de 0.21 kg/cm² y un aumento en la capacidad admisible de 0.05 kg/cm².
- ✓ Para la combinación 7.5% PET + 92.5% SUELO, se obtuvo una disminución en la capacidad portante última en el terreno de 2.08 kg/cm² y una disminución en la capacidad admisible de 0.52 kg/cm².
- ✓ Para la combinación 10 % PET + 90 % SUELO, se obtuvo una disminución en la capacidad portante última en el terreno de 3.59 kg/cm² y una disminución en la capacidad admisible de 0.90 kg/cm².

Se verifica la tercera hipótesis específica debido a que el aumento en la capacidad portante se genera para las combinaciones de 2.5% y 5% de PET, puesto que se logra dotar de los beneficios del aditivo a las variables halladas para estas dos combinaciones. De la misma manera, se logra observar una disminución en las adiciones de 7.5% y 10%. Estos resultados se expresan de forma numérica en las figuras 40, 41 y 42.

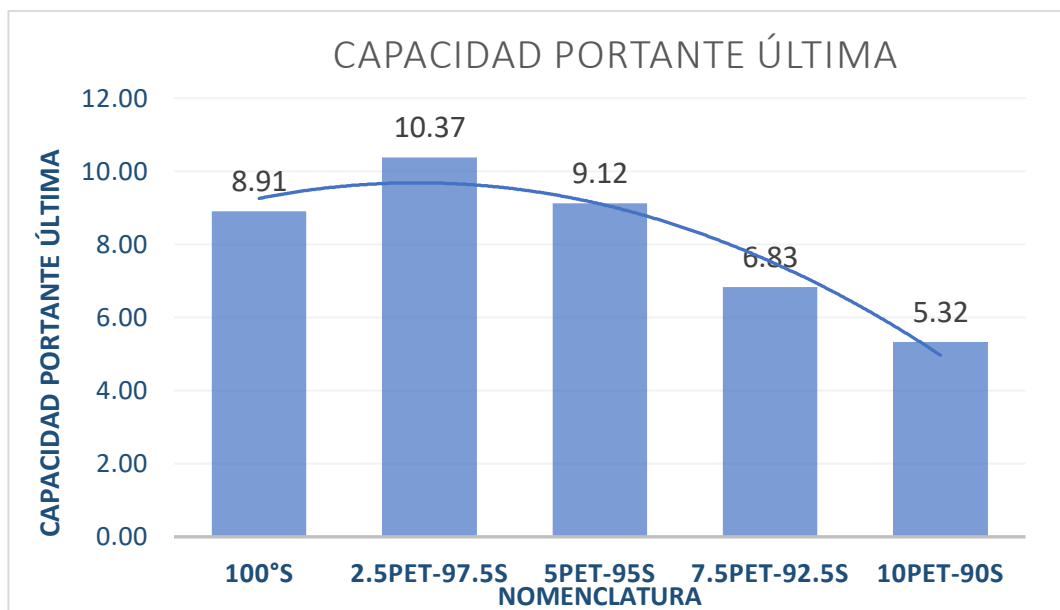


Figura 41. Gráfico comparativo de capacidades portantes últimas
Fuente: los autores

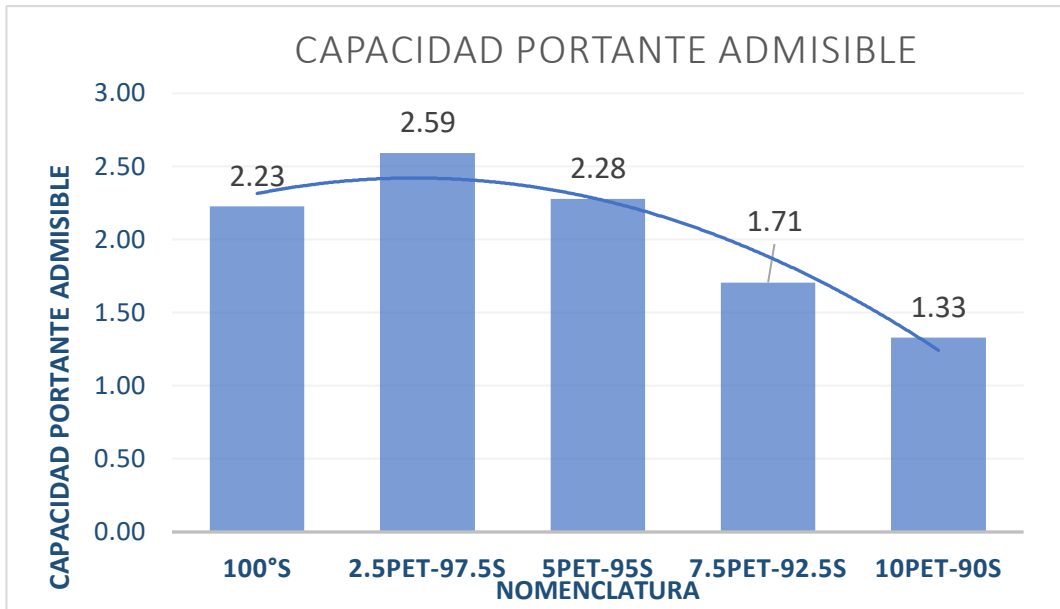


Figura 42: Gráfico comparativo de capacidades portantes admisibles
Fuente: los autores

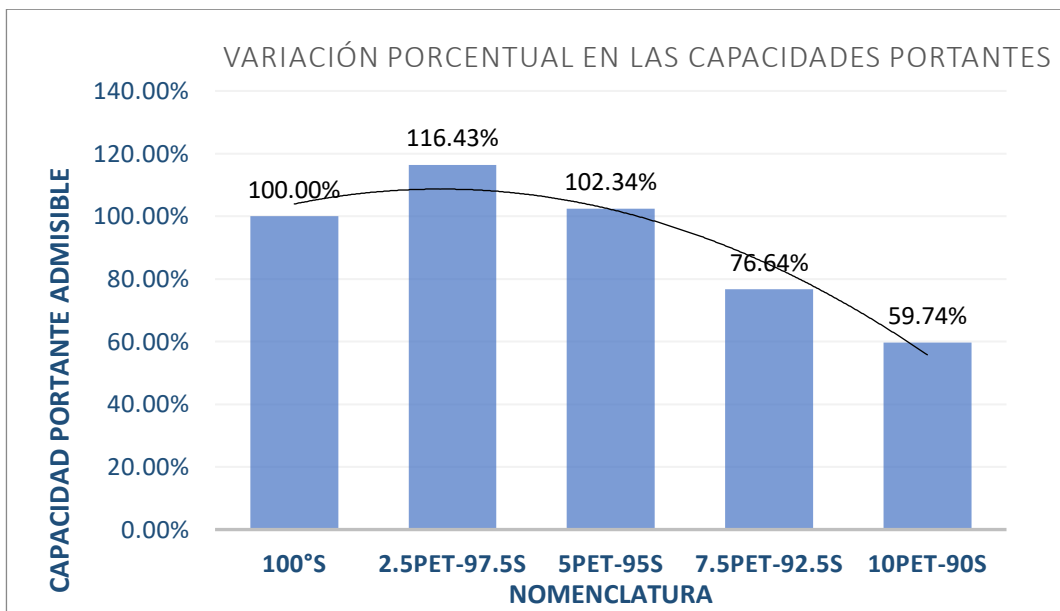


Figura 43: Variación porcentual en las capacidades portantes
Fuente: los autores

Adicionar flake PET produce los siguientes resultados en los pesos específicos de los suelos areno-limosos.

- ✓ Para la combinación 2.5% PET + 97.5% SUELO, se obtuvo un peso específico de 1.940 gr/cm³.
- ✓ Para la combinación 5% PET + 95% SUELO, se obtuvo un peso específico de 1.923 gr/cm³.
- ✓ Para la combinación 7.5% PET + 92.5% SUELO, se obtuvo un peso específico de 1.906 gr/cm³.
- ✓ Para la combinación 10% PET + 90% SUELO, se obtuvo un peso específico de 1.852 gr/cm³.

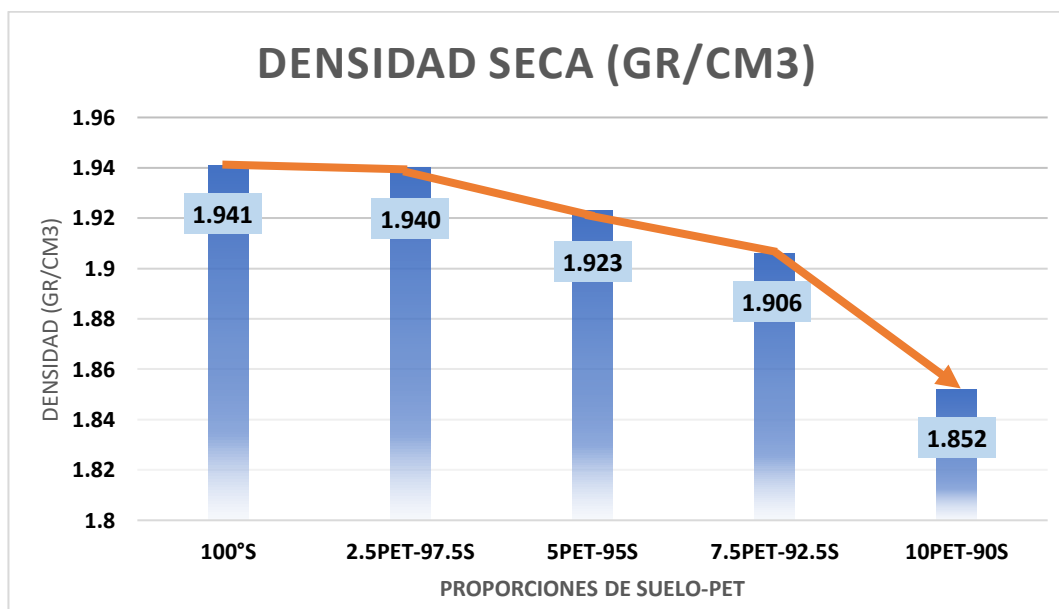


Figura 44: Gráfico comparativo de densidad seca
Fuente: los autores

CONCLUSIONES

1. Según los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación, la figura 37 muestra que el tereftalato de polietileno provoca una disminución en el porcentaje de contenido de humedad destinado a ser la cantidad de agua óptima necesaria para poder llegar a la máxima densidad seca de la muestra. Se interpreta de esta manera que el contenido de agua irá disminuyendo conforme vaya incrementado el contenido de flake PET.
2. Adicionar flake PET en un 2.5% con respecto del suelo resulta favorable, ya que ocasiona un leve incremento en el ángulo de fricción. En cambio, agregar tereftalato de polietileno en un 5% mantiene la muestra de suelo en las mismas condiciones. Se puede especular de esto que esta cantidad serviría como materia de reemplazo al terreno. Sin embargo, esto no resulta conveniente para grandes cantidades debido a que estas escamas al tener un área lisa no oponen resistencia por la baja fricción que poseen, y conforme se va aumentando este material supone un aumento de área lisa, la que debería ser cortada dentro de la muestra. Debido a esto, el resultado no es favorable. Esto se puede observar en las figuras 38 y 39.
3. Se concluye según las figuras 40, 41 y 42 que la carga aplicada del suelo aumenta en las proporciones de 2.5% y 5% de flake PET, mientras que disminuye para las dos últimas combinaciones de 7.5% y 10% de flake PET.
4. En el ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua, se logra apreciar que el peso específico del suelo disminuye conforme se va adicionando mayor cantidad de flake PET. Esto se debe a que este material tiene una densidad menor a la del suelo, como se verifica en las tablas 2 y 14.

5. Es posible emplear este método de adición en lugares donde escasee material de relleno. El motivo es el siguiente: aunque no incremente su comportamiento mecánico, resulta útil como material de reemplazo.

6. La forma del aditivo afecta el comportamiento del suelo al ser sometido al ensayo de Proctor estándar y al ensayo de corte directo, debido a que los lados lisos del aditivo provocan que la falla de corte se genere con mayor facilidad. Por ello, que el flake PET sea lo menos liso posible mejorará los resultados de ambos ensayos.

RECOMENDACIONES

1. Poner en práctica el estudio realizado, debido a que al emplear este aditivo reducimos la contaminación y promovemos una cultura ecológica.
2. Utilizar las combinaciones propuestas en la presente investigación en distintos tipos de suelo para evaluar su comportamiento.
3. Realizar más de cuatro combinaciones menores a 5% de flake PET para lograr una mejor presión y encontrar la combinación ideal.
4. Someter las muestras a mayores cargas en el ensayo de corte directo para evaluar su comportamiento.
5. Proponer tamaños de flake PET que sean menores al propuesto en la presente tesis para evaluar su comportamiento en el suelo.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas:

Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México, D.F.: Cengage Learning Editores.

Das, B. M. (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. México, D.F.: Ediciones Paraninfo.

Hachi, J. G. y Rodríguez, J. D. (2010). *Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET) en la ciudad de Guayaquil* (Tesis para optar título de Ingeniero Industrial). Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil.

Louzada, N. S. L. y Casagrande, M. D. T. (agosto de 2016). "Study of the Mechanical Behavior of a Clayey Soil with the Insertion of Polyethylene Terephthalate Flakes". En *Geo-Chicago 2016: Sustainability, Energy, and the Geoenvironment*. Congreso organizado por Geo-Institute ASCE. Chicago, EE. UU.

Sherwell, G. F. (2014). *Estudio del uso de Polietileno Tereftalato (PET) como material de refuerzo de estructuras terreas conformadas por suelos finos* (Tesis para optar título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

Tiravanti, G. (2011). *Síntesis, caracterización y propiedades mecánicas de resinas de poliéster insaturado a partir del reciclaje químico del poli (Tereftalato de etileno)* (Tesis para optar título de Licenciado en Química). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

Electrónicas:

García Olivares, A. (2006). *Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística inversa: estudio de caso en la industria*

del reciclaje de plásticos. Eumed.net. Recuperado de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006a/aago/index.htm>.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Manual de ensayo de materiales (2016)*. Recuperado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documento_s/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Proyecto de modificación Norma técnica de edificaciones E.050 suelos y cimentaciones (2018)*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/201391-346-2018-vivienda>.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 Diseño sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por decreto supremo N° 011-2006-vivienda, modificada por Decreto supremo N° 002-2014-vivienda (2016)*. Recuperado de <http://www3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/51%20E.030%20DISENO%20SISMORRESISTENTE.pdf>.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2011). *Pautas técnicas de microzonificación sísmica de La Molina*. Recuperado de http://eudora.vivienda.gob.pe/OBSERVATORIO/Documentos/EstudiosyAsistencia/Estudios/MicrozonificacionSismicaLima/lamolina/PAUTAS_TECNICAS_MICROZONIFICACION_SISMICA_lamolina.pdf.

Municipalidad de La Molina (2012). *50 años La Molina, disfrutando mi hogar 1962 -2012*. Recuperado de http://www.munimolina.gob.pe/descargas/pdf/historia/historia_50_edicion_2012.pdf

Municipalidad de La Molina (2010). *Estudio y mapa de microzonificación sísmica y vulnerabilidad en el distrito de La Molina*. Recuperado de

http://www.munimolina.gob.pe/website_sismo/Plano_Microzonificacion_Sismica.pdf

ANEXOS


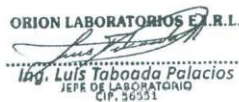
Anexo 1. Matriz de consistencia

Influencia de las escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina

INFLUENCIA DE LAS ESCAMAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO (FLAKE PET) EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS SUELOS ARENO-LIMOSOS DEL DISTRITO DE LA MOLINA									
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES						METODOLOGÍA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente (X)			Variable dependiente (Y)			Tipo de investigación
¿En qué medida inciden las escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina a fin de analizar resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio?	Determinar la influencia de las escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina a fin de analizar resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio.	Al aplicar las escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) mejora el comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina a fin de analizar resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio.	X: Escamas de tereftalato de polietileno (flake PET)			Y: Comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina			<ul style="list-style-type: none"> • Diseño: Experimental • Tipo: Aplicada • Enfoque: Cuantitativo
Problema específico	Objetivo específico	Hipótesis específica	Dimensiones de la variable independiente	Indicadores	ÍNDICE	Dimensiones de la variable dependiente	Indicadores	ÍNDICE	1. Población Para la presente investigación, la población de estudio será el distrito de La Molina, provincia y departamento de Lima. 2. Muestra Se considera como muestra de estudio el suelo tipo dos extraído de la cuadra 23 de la Av. La Molina, distrito de La Molina Instrumentos <ul style="list-style-type: none"> • Excel • Norma E.030 Diseño sísmo resistente • Norma E.050 Suelos y cimentaciones • Manual de ensayo de materiales Procedimiento 1. Se obtiene la muestra en la ubicación de trabajo. 2. Se procede a tamizar la muestra. 3. Se desarrolla el ensayo de límite de consistencia. 4. Se realiza la caracterización según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). 5. Se realiza el ensayo de gravedad específica. 6. Seguidamente se hace el ensayo de Proctor estándar. 7. Se hace el ensayo de corte directo. 8. Se elabora la capacidad de carga aplicada según las características resultantes de los ensayos realizados. 9. Por último, se analizan los resultados obtenidos de los ensayos realizados.
¿En qué medida inciden las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el contenido de humedad de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina?	Determinar la influencia de las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en el contenido de humedad óptimo de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.	Al aplicar las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) disminuye el contenido de humedad óptimo de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.	X1: Proporción de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET)	X1.1: Porcentaje en función al peso de la muestra	%	Y1: Contenido de humedad óptimo	Y1.1: Porcentaje de agua en función al peso de la muestra	%	
¿En qué medida inciden las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina?	Determinar la influencia de las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.	Al aplicar las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) mejorará la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.	X1: Proporción de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET)	X1.1: Porcentaje en función al peso de la muestra	%	Y2: Resistencia al esfuerzo cortante	Y2.1: Ángulo de fricción	∅	
¿En qué medida inciden las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en la capacidad de soporte a cargas aplicadas de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina?	Determinar la influencia de las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) en la capacidad de soporte a cargas aplicadas de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.	Al aplicar las proporciones de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET) mejorará la capacidad de soporte a cargas aplicadas de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina.	X1: Proporción de escamas de tereftalato de polietileno (flake PET)	X1.1: Porcentaje en función al peso de la muestra	%	Y3: Capacidad de soporte a cargas aplicadas	Y3.1: Esfuerzo cortante	τ	
							Y3.2: Capacidad portante - Qu (kg/cm ²)	Qu	


Fuente: Elaborado por los autores

Anexo 2. Certificado de calibración de balanza digital de 500 gr

	ORION LABORATORIOS E.I.R.L. Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto
<u>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</u>	
N° 038-18 BAL	
OTORGADO A	: UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES
CERTIFICA QUE	: El instrumento de medición con el modelo y nro de serie indicados líneas abajo, ha sido calibrado, probado y verificado utilizando patrones certificados con trazabilidad en el Instituto Nacional de la Calidad - INACAL
Instrumento de medición	: Balanza Digital
Capacidad	: 500 gr.
Marca	: OHAUS
Nro de Serie	: -----
Fecha de Calibración	: 06.03.2018
Fecha de Prox. Calibración	: 06.09.2018
 ORION LABORATORIOS E.I.R.L. Ing. Luis Taboada Palacios JEFE DE LABORATORIO CIP. 56531	
MÉTODO DE CALIBRACIÓN CALIBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN NORMA METROLÓGICA NMP 003-1996 Y PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO PARA BALANZAS DE CLASE I Y CLASE II.	
INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN U = 0.01 gr. + 0.0003	
PATRONES Pesa de 10 kg, 01 Pesa de 5 kg, 01 Pesa de 1 kgr, 01 Pesa 500 gr, 01 Jgo de Pesas de 1 mg a 200 gr, gr CERTIFICADOS LM-C-088-2017, LM-C-076-2017, LM 051-2017.	
TRAZABILIDAD Las pesas tienen trazabilidad a los Patrones Nacionales del Servicio Nacional de Metrología de – INACAL.	
CONDICIONES DE CALIBRACIÓN Temperatura Inicial 24.2°C Final 24.2 °C Humedad Relativa 80 %	
RESULTADO DE LA MEDICION Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la norma metrológica consultada	
<small>Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho Telf. 371 0531 - 371 0475 Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989 laboratorio@orionrcp.com areatecnica@orionrcp.com ventas@orionrcp.com www.orionrcp.com</small>	

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 3. Certificado de calibración de balanza digital a dos decimales



ORION

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nro 038-18 BAL

FECHA : 06.03.2018
CADUCA: 06.09.2018

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
Ing. Luis Taboada Palacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 56551

RAZON SOCIAL : UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES
MARCA : OHAUS CLASE : II
SERIE : --- CAPACIDAD : 500 g
DIVIS DE ESCALA : 0.1 g
DIVIS DE VERIFICACION : 0.1 g

Medición Nro	Carga L1 = 300 g		
	I (g)	AL (g)	E (g)
1	300,0	0	0
2	300,0	0	0
3	300,0	0	0
4	300,0	0	0
5	300,0	0	0
6	300,0	0	0
7	300,0	0	0
8	300,0	0	0
9	300,0	0	0
10	300,0	0	0

Medición Nro	Carga L1 = 500 g		
	I (g)	AL (g)	E (g)
1	500,1	0	0
2	500,1	0	0
3	500,1	0	0
4	500,1	0	0
5	500,1	0	0
6	500,1	0	0
7	500,1	0	0
8	500,1	0	0
9	500,1	0	0
10	500,1	0	0

CARGA	DIFERENCIA MAXIMA ENCONTRADA	ERRORES MAXIMOS PERMISIBLES
300 g	0 g	0,1 g
500 g	0,1 g	0,2 g

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posic. de Carga	Determinación de error corregido Eo			
	Carga Min	I (g)	AL (g)	E (g)
1	1 g	1	0	0
2		1	0	0
3		1	0	0
4		1	0	0
5		1	0	0

Carga L	Determinación de error corregido Eo				e.m.p. +(g)
	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)	
100 g	100,0	0	0	0	0,01
	100,0	0	0	0	0,01
	100,0	0	0	0	0,01
	100,0	0	0	0	0,01
	100,0	0	0	0	0,01

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	CRECIENTES				e.m.p. +(g)
	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)	
0,2	0,2	0	0	0	0,01
1	1,0	0	0	0	0,01
2	2,0	0	0	0	0,01
5	5,0	0	0	0	0,01
10	10,0	0	0	0	0,01
20	20,0	0	0	0	0,01
50	50,0	0	0	0	0,02
100	100,0	0	0	0	0,02
200	200,0	0	0	0	0,02
300	300,0	0	0	0	0,02
400	400,0	0	0	0	0,02
500	500,1	0	0	0	0,02

I (g)	DECRECIENTES			e.m.p. +(g)
	AL (g)	E (g)	Ec (g)	
0,2	0	0	0	0,01
1,0	0	0	0	0,01
2,0	0	0	0	0,01
5,0	0	0	0	0,01
10,0	0	0	0	0,01
20,0	0	0	0	0,01
50,0	0	0	0	0,02
100,0	0	0	0	0,02
200,0	0	0	0	0,02
300,0	0	0	0	0,02
400,0	0	0	0	0,02
500,1	0	0	0	0,02

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 4. Certificado de calibración de balanza digital de 15 kg



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° 050-18 BAL

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES

CERTIFICA QUE : El instrumento de medición con el modelo y nro. de serie indicados líneas abajo, ha sido calibrado, probado y verificado utilizando patrones certificados con trazabilidad en el Instituto Nacional de Calidad INACAL.

Instrumento de medición : BALANZA DIGITAL
Capacidad : 15 kg.
Marca : OHAUS
Modelo : EB15
Nro de Serie : 8030343969
Fecha de Calibración : 17.03.2018
Próxima Calibración : 17.09.2018

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
Luis Taboada Palacios
Ing. Luis Taboada Palacios
JEFE DE LABORATORIO
RIP: 98552

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

CALIBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN NORMA METROLÓGICA NMP 003-1996 Y PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO PARA BALANZAS DE CLASE I Y CLASE II

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

U = 0.01 gr. + 0.0003 l

PATRONES

01 Pesa de 10 kg, 01 Pesa de 5 kg, 01 Pesa de 1 kgr, 01 Pesa 500 gr, 01 Jgo de Pesas de 2 mg a 200 gr, CERTIFICADOS LM -C-088-2017, LM-C-076-2017, LM -C-051-2017

TRAZABILIDAD

Las pesas tienen trazabilidad a los Patrones Nacionales del Instituto Nacional de la Calidad-INACAL.

CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura Inicial 23.2 °C Final 23.1°C
Humedad Relativa 80%

RESULTADO DE LA MEDICION

Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la norma metrológica consultada.



OBSERVACIONES

Con fines de identificación se ha colocado en la balanza una etiqueta con el nro. del certificado.

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 5. Certificado de calibración de sistema digital de corte directo

	ORION LABORATORIOS E.I.R.L. Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº 003-18 CD	
SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES
ATENCION	: UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES
TITULO	: Calibración de Sistema Digital de Corte Directo
<u>Celda de Carga</u>	
Marca	: AEP Transducer
Serie	: 414490
Capacidad	: 500 Kgr
<u>DIAL Desplazamiento Horizontal</u>	
Marca	: Mitutoyo
Serie	: JGG645
Rango	: 0.01 mm
<u>DIAL Desplazamiento Vertical</u>	
Marca	: Mitutoyo
Serie	: MBU 669
Rango	: 0.01 mm
<u>Pantalla</u>	
Marca	: MCC
Modelo	: SAFIR
FECHA	: Huachipa, 17 de Marzo del 2017
 ORION LABORATORIOS E.I.R.L. Ing. Luis Taboada Palacios JEFE DE LABORATORIO CIP. 56551	
<small>Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho Telf. 371 0531 - 371 0475 Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989 laboratorio@orionrcp.com areatecnica@orionrcp.com ventas@orionrcp.com www.orionrcp.com</small>	

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 6. Información del equipo del sistema digital



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 003-18 CD

INFORMACION DEL EQUIPO

1.- GENERALIDADES

A solicitud de UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES, se procedió a verificar el comportamiento del Sistema Digital en la ciudad de Lima. La verificación se realizó el 17 de Marzo del 2017.

2.- DEL SISTEMA A VERIFICAR

Celda de Carga AEP Transducer

Serie : 414490

Capacidad : 500 Kgr

Dial Desplazamiento Horizontal

Serie : JGG645

Rango : 0.01 mm

Dial Desplazamiento vertical

Serie : MBU669

Rango : 0.01 mm

Pantalla

Marca : MCC

Modelo : Safir

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Ing. Luis Taboada Pelacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 30521

3.- DEL SISTEMA DE CALIBRACIÓN

Dispositivo : Celda de Carga

Fabricante : AEP TRANSDUCER

(Japón).

Tipo : C2S- 10T

Serie N° : 205775

Carga Nominal : 10 TN

Modalidad : Compresión

Indicador : Digital AEP Transducer

Modelo : MP10.

N° Serie : 6181-2006-06

Dispositivo : Dial Digital

Fabricante : Mitutoyo

Modelo : 1D - C112M

Serie N° : 08150

Incertidumbre : 0.001 mm.

Calibración realizado en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica. – Expediente ...: INF-LE 095-17B.

Cuadrante Indicador Calibrado en el Laboratorio de Longitud y Angulo acreditado por INACAL – Certificado MS-157-2017.

4.- PROCEDIMIENTO

El procedimiento toma como referencia a la norma ASTM E4-07 y la Norma NTP ISO/IEC 17025, Se aplicaron tres series de carga al Anillo mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

5.- RESULTADOS

En la Tabla N° 1 se muestran las tres series de carga y la serie promedio correspondiente. En el Gráfico N°1 se muestra la curva de regresión y la ecuación de ajuste correspondientes a la presente calibración.

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 7. Gráfico N° 1 de calibración del sistema digital



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO N 003-18 CD

GRAFICO N° 1

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

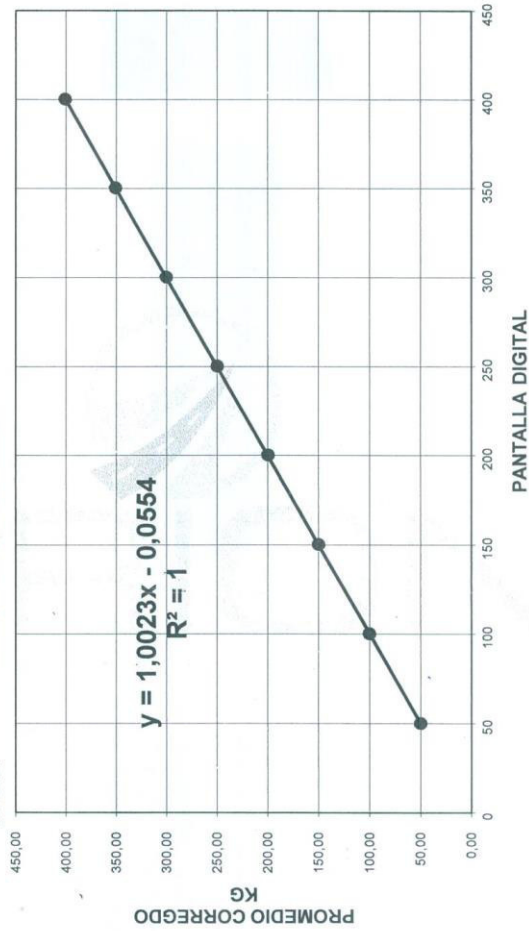
CALIBRACION DE SIST. DIGITAL

Pantalla SAFIR

Celda de Carga Cap 500 Kgr

Ing. Jefe de Laboratorio

CIP. 56551



Los Huertos de Huachipa Mz. E L1. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 8. Verificación de dial horizontal del sistema digital



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 003-18 CD

VERIFICACION DE DIAL HORIZONTAL

Mitutoyo, Modelo 2046S

N° Serie JGG 645 Sensibilidad 0.01mm

DIAL COMPARADOR DIVIS. MM	LECTURA DEL PATRON MM			SERIE PROMEDIO MM
	SERIE (1)	SERIE (2)	SERIE (3)	
0,5	0,500	0,507	0,500	0,502
1	1,001	1,004	1,005	1,003
1,5	1,500	1,502	1,504	1,502
2	2,002	2,005	2,007	2,005
2,5	2,501	2,504	2,502	2,502
3	3,004	3,008	3,006	3,006
3,5	3,500	3,503	3,504	3,502
4	4,007	4,006	4,008	4,007
4,5	4,504	4,508	4,505	4,506
5	5,001	5,003	5,002	5,002
5,5	5,502	5,504	5,505	5,504
6	6,004	6,003	6,007	6,006
6,5	6,507	6,508	6,509	6,508
7	7,002	7,003	7,007	7,004
7,5	7,504	7,506	7,508	7,506
8	8,006	8,005	8,003	8,006
8,5	8,504	8,507	8,509	8,507
9	9,006	9,009	9,006	9,007
9,5	9,505	9,508	9,504	9,506
10	10,007	10,009	10,004	10,007

coeficiente de correlación: $R^2 = 1$

Recta de ajuste: $y = 1.00x + 0.003$

Donde:

X : Lectura del dial (mm)

Y : Promedio de lectura Patrón mm

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Ing. Luis Taboada Palacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 56551

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf: 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 9. Verificación de dial vertical del sistema digital



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 003-18 CD

VERIFICACION DE DIAL VERTICAL

Mitutoyo, Modelo 2046S

N° Serie MBU 669 Sensibilidad 0.01mm

DIAL COMPARADOR DIVIS. MM	LECTURA DEL PATRON MM			SERIE PROMEDIO MM
	SERIE (1)	SERIE (2)	SERIE (3)	
0,5	0,501	0,504	0,503	0,503
1	1,003	1,006	1,004	1,004
1,5	1,507	1,503	1,502	1,504
2	2,002	2,002	2,003	2,002
2,5	2,506	2,504	2,505	2,505
3	3,007	3,006	3,004	3,006
3,5	3,502	3,501	3,506	3,503
4	4,009	4,005	4,007	4,007
4,5	4,508	4,507	4,505	4,507
5	5,006	5,003	5,006	5,005
5,5	5,503	5,502	5,508	5,504
6	6,008	6,003	6,004	6,005
6,5	6,509	6,507	6,508	6,508
7	7,008	7,006	7,005	7,006
7,5	7,506	7,509	7,503	7,506
8	8,004	8,003	8,006	8,004
8,5	8,509	8,501	8,508	8,506
9	9,006	9,002	9,007	9,005
9,5	9,510	9,504	9,503	9,505
10	10,008	10,002	10,004	10,005

coeficiente de correlación: $R^2 = 1$

Recta de ajuste: $y = 1.001x + 0.021$

Donde:

X : Lectura del dial (mm)

Y : Promedio de lectura Patrón mm

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Ing. Luis Taboada Pclacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 56551

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Luriganchu | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 10. Descripción del horno de laboratorio



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

1. CLIENTE UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES

Dirección La Calibración se efectuó en Lima.

2. EQUIPO : Horno de Laboratorio.

Marca : ORION.
Modelo : HL-03
Procedencia : Perú
Cámara : 85 lt
Tipo de Ventilación : Natural
Punto de Operación : 110 °C +/- 5 °C
Realizado en : Lima.

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
Ing. Luis Taboada Palacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 36953

2.1 INDICADOR : PIROMETRO AUTONICS

Alcance : 0°C a 400°C
División de escala : 0.1 °C

2.2 SENSOR : TERMOCUPLA TIPO "J"

Alcance : 0°C a 400°C
División de escala : 0.1 °C

3. METODO DE CALIBRACIÓN.

- SNM – PC-007 – Procedimiento de Calibración de Estufas e Incubadoras. INACAL.

4. PATRÓN DE CALIBRACIÓN.

- Calibrador de Temperatura: Marca MMC, Mod. SESAME, N/S 12180. (5 sensores) con termocuplas Tipo "T"
- Calibrador de Temperatura: Marca MMC, Mod. SESAME, N/S 12020. (5 sensores) con termocuplas Tipo "T".
- Patrón de calibración: Marca AA PRECISION, N/S T0-001
Informe de calibración de INACAL LT-093-2017

5. RESULTADOS

5.1 CONDICIONES AMBIENTALES.

- Temperatura : 21.3 °C
- Humedad Relativa : 80 %
- Presión Atmosférica : 985 hPa.

5.2 INSPECCION VISUAL.

- El equipo se encuentra en buen estado de conservación.

5.3 CONTROL DE DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA.

- En función del tamaño de la cámara del equipo se han instalado 10 sensores (Termocuplas) distribuidos de acuerdo a los esquemas indicados en las Páginas siguientes.
- Los valores de temperatura expresados en el ensayo corresponden a los valores alcanzados luego de haber estabilizado la temperatura dentro de la cámara. Los datos de los ensayos ejecutados, así como las curvas correspondientes a los 10 sensores utilizados, se detallan en las páginas siguientes.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Antes de utilizar este equipo, verificar que los resultados del presente certificados, correspondan con los requisitos establecidos en los ensayos a ejecutar.
- La periodicidad de las calibraciones está en función del uso, conservación y mantenimiento del equipo.

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 11. Certificado de calibración del horno de laboratorio



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

N° 011-18 HL


CALIBRACIÓN DE HORNO DE LABORATORIO

SOLICITANTE: UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES

EQUIPO:

Marca : ORION
Modelo : HL-03
Procedencia : Perú
Capacidad : 85 lt.
SERIE : 1005030
Tipo de Ventilación : Natural
Punto de Operación : 110°C +/- 5 °C

FECHA: Huachipa, 17 de Marzo del 2018

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Ing. Luis Taboada Palacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 56551

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 12. Ensayo para un valor esperado de 110 °C del horno de laboratorio



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

ENSAYOS:

1. Control de la distribución de la temperatura:

Ensayo para un valor esperado de: 110 °C

Tiempo (hh:mm)	Pirómetro °C	INDICACIONES CORREGIDAS DE CADA TERMOCUPLA °C										T* Prom. °C	Tmax - Tmin °C
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0:00	110,5	110,5	110,3	110,3	110,1	111,0	110,6	110,6	110,3	111,0	110,2	110,5	0,9
0:02	110,5	110,4	110,5	110,6	109,6	110,3	110,5	111,2	110,1	111,2	110,4	110,5	1,6
0:04	110,5	110,6	110,7	110,4	109,7	111,1	109,8	111,3	109,3	110,5	110,4	110,4	2,0
0:06	110,2	110,8	110,4	110,4	110,0	111,7	110,5	111,4	109,5	110,3	110,5	110,6	2,2
0:08	110,2	110,4	110,4	110,0	109,9	110,1	110,4	111,4	108,9	110,4	110,7	110,3	2,5
0:10	110,1	110,6	110,3	110,5	110,1	110,4	110,4	110,3	108,9	110,1	110,6	110,2	1,7
0:12	110,3	110,6	110,7	110,2	110,4	111,5	110,7	110,0	109,3	109,8	110,8	110,4	2,2
0:14	110,2	110,7	110,4	109,8	110,1	110,1	110,7	109,9	109,1	109,5	110,5	110,1	1,6
0:16	110,2	110,6	110,3	109,9	110,1	110,0	110,4	110,3	109,1	109,8	110,3	110,1	1,5
0:18	110,3	110,5	110,3	110,3	110,3	110,2	110,5	110,8	109,4	110,0	110,4	110,3	1,4
0:20	110,4	110,4	110,5	110,5	110,1	110,3	110,7	110,7	109,2	110,3	110,6	110,3	1,5
0:22	110,2	110,7	110,8	110,3	110,1	110,5	110,6	110,7	109,3	110,3	110,7	110,4	1,5
0:24	110,3	110,5	110,6	110,8	110,4	110,4	110,6	111,1	109,3	110,7	110,7	110,5	1,8
0:26	110,2	110,5	110,6	110,6	110,4	110,7	110,5	110,4	109,3	110,9	110,9	110,5	1,6
0:28	110,3	110,5	110,3	110,3	109,7	110,1	110,6	110,1	108,9	110,3	110,5	110,1	1,7
0:30	110,1	110,5	110,6	110,0	109,5	110,0	110,4	109,8	109,0	109,9	110,7	110,0	1,7
0:32	110,2	110,3	110,4	109,7	109,6	110,2	110,3	109,7	108,9	109,6	110,6	109,9	1,7
0:34	110,2	110,4	110,3	109,4	109,8	110,6	110,4	109,6	109,1	109,4	110,5	110,0	1,5
0:36	110,3	110,6	110,5	109,6	109,9	110,2	110,3	109,8	109,2	109,5	110,8	110,0	1,6
0:38	110,2	110,6	110,7	109,6	109,9	110,0	110,5	110,0	109,1	109,5	110,6	110,1	1,6
0:40	110,3	110,3	110,4	109,4	109,8	110,2	110,4	110,1	109,4	110,0	110,5	110,1	1,1
0:42	110,2	110,6	110,7	109,9	110,1	110,6	110,7	110,4	109,2	110,4	110,9	110,4	1,7
0:44	110,3	110,6	110,7	110,1	109,7	110,1	110,5	110,2	108,9	110,3	110,6	110,2	1,8
0:46	110,1	110,5	110,3	110,3	109,6	109,9	110,7	110,5	109,0	111,4	110,7	110,3	2,4
0:48	110,2	110,8	110,9	110,7	110,4	110,3	110,9	110,7	109,3	110,5	110,9	110,5	1,6
0:50	110,3	110,3	110,4	110,2	110,2	110,0	110,5	110,3	109,5	110,2	110,7	110,2	1,2
T. PROM.	110,3	110,5	110,5	110,1	110,0	110,4	110,5	110,4	109,2	110,2	110,6	110,3	
T. MAX.	110,5	110,8	110,9	110,8	110,4	111,7	110,9	111,4	110,3	111,4	110,9		
T. MIN.	110,1	110,3	110,3	109,4	109,5	109,9	109,8	109,6	108,9	109,4	110,2		

NOMENCLATURA:

- T .Prom. Promedio de indicaciones corregidas de los termopares para un instante de tiempo.
- Tmax - Tmin Diferencia entre máxima y mínima temperatura para un instante de tiempo.
- T. PROM Promedio de indicaciones corregidas para a cada termocupla durante el tiempo total.
- T. MAX La Máxima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total.
- T. MIN La Mínima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total.

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

 Ing. Luis Taboada Pclacios
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP: 56551

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
 laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Página 3 de 7

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

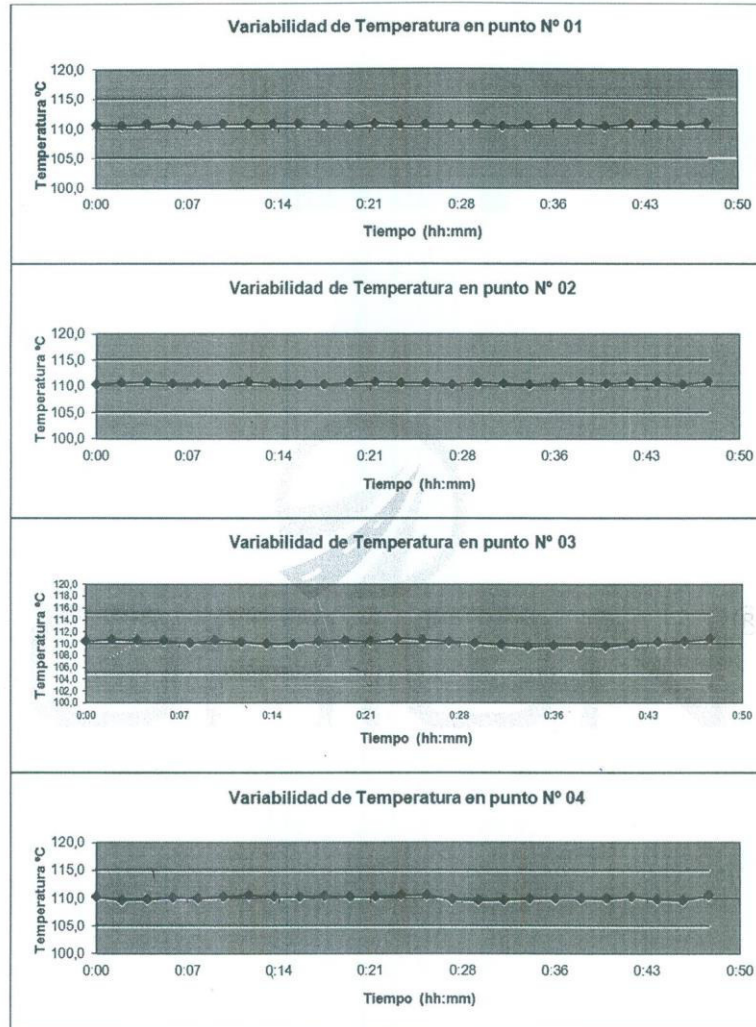
Anexo 13. Gráfico de variabilidad de temperatura para 110 °C del horno de laboratorio



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto


GRAFICOS DE VARIABILIDAD DE TEMPERATURA PARA 110 °C



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
Luis Taboada Palacios
Ing. Luis Taboada Palacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 56551

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 14. Certificado de calibración del sistema digital

 **ORION LABORATORIOS E.I.R.L.**
Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACION
N° 004-18 DCC

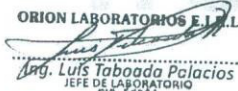
SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES

TITULO : Calibración de Sistema Digital

Celda de Carga
Marca : ZEMIC
Tipo : S
Capacidad : 5.0 TN
Serie : K2D004464

Pantalla
Marca : OHAUS
Modelo : T32MC
Serie : 7131051591

FECHA : Huachipa, 17 de Marzo del 2018


ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
Ing. Luis Taboada Palacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 249931

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 15. Informe del equipo de sistema digital



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 004-18 DCC

INFORMACION DEL EQUIPO

1.- GENERALIDADES

A solicitud de la UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES se procedió a verificar el comportamiento del Sistema Digital. La calibración se realizó en Lima el 17 de Marzo del 2018.

2.- DEL SISTEMA A VERIFICAR

Celda de Carga

Tipo : S
Marca : Zemic
Capacidad : 5.0 TN
Serie : K2D004464

Pantalla

Marca : OHAUS
Modelo : T32MC
Serie : 7131051591

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
Ing. Luis Taboada Pelacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 56551

3.- DEL SISTEMA DE CALIBRACIÓN

Dispositivo : Celda de Carga
Fabricante : AEP TRANSDUCER
Tipo : C2S
Serie N° : 205775
Carga Nominal : 10 TN
Modalidad : Compresión
Indicador : Digital AEP Transducer
Modelo : MP10.
N° Serie : 6181-2006-06

Calibración realizado en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú – Expediente ..: INF-LE 095-17B

4.- PROCEDIMIENTO

El procedimiento toma como referencia a la norma ASTM E4-07 y la Norma NTP ISO/IEC 17025, Se aplicaron tres series de carga a la celda de carga, mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

5.- RESULTADOS

En la Tabla N° 1 se muestran las tres series de carga y la serie promedio correspondiente.
En el Gráfico N°1 se muestra la curva de regresión y la ecuación de ajuste correspondientes a la presente calibración.

Anexo 16. Tabla N° 1 de calibración de sistema digital



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 004-18 DCC
TABLA N° 1

CALIBRACION DE SISTEMA DIGITAL
Celda "S" 5.0 TN K2D004464, Pantalla OHAUS S/N: 7131051591

Sistema Digital "A" KG	SERIES DE CALIBRACIÓN (KG)				PROMEDIO CORREGIDO "B" KG	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE (1)	SERIE (2)	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
250	250.0	250.1	0.00	0.04	250.05	0.02	0.03
500	500.8	500.4	0.16	0.08	500.60	0.12	0.05
750	751.0	750.9	0.13	0.12	750.95	0.13	0.04
1.000	1.002.0	1.002.2	0.20	0.22	1.002.10	0.21	0.01
1.250	1.252.6	1.252.8	0.21	0.22	1.252.70	0.22	0.01
1.500	1.502.0	1.504.0	0.13	0.27	1.503.00	0.20	0.03
1.750	1.752.4	1.754.0	0.14	0.23	1.753.20	0.18	0.05
2.000	2.005.1	2.006.2	0.25	0.31	2.005.65	0.28	0.04
2.500	2.506.2	2.507.9	0.25	0.32	2.507.05	0.28	0.05
3.000	3.008.4	3.009.6	0.28	0.32	3.009.00	0.30	0.03
3.500	3.509.3	3.510.4	0.27	0.30	3.509.85	0.28	0.02
4.000	4.011.4	4.012.7	0.29	0.32	4.012.05	0.30	0.02

Coefficiente Correlación: $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste:
Donde: $y = 1,0033x - 1,3254$

X: Lectura de la pantalla
Y: fuerza promedio (KG)

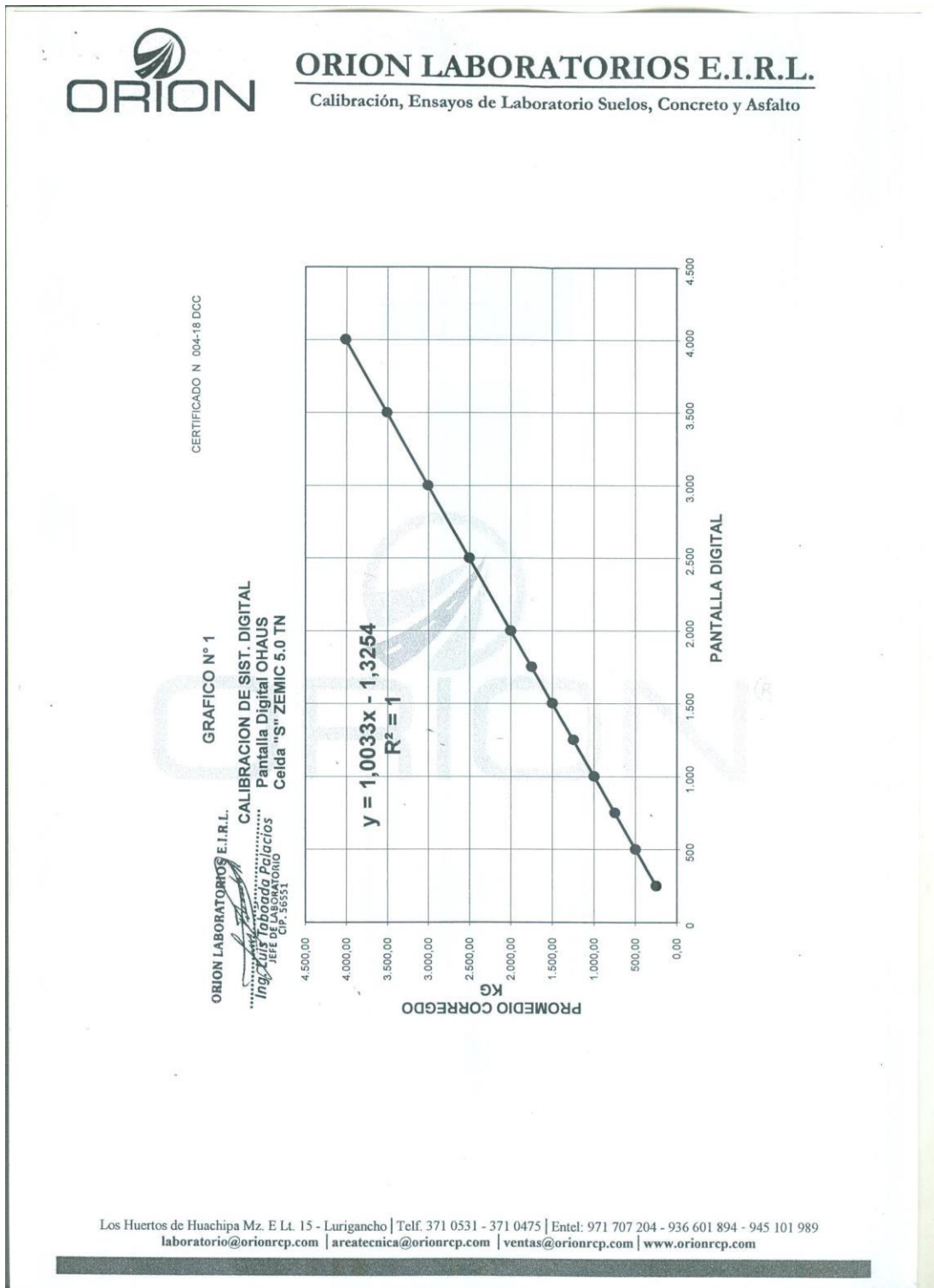
ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

[Firma]
Luis Tabares Pizarro
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 38551

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com


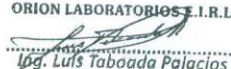
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 17. Gráfico N° 1 de calibración de sistema digital




Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 18. Certificado de calibración de tamizador eléctrico

	ORION LABORATORIOS E.I.R.L. Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto
<u>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</u>	
N° 001-18 TAE	
OTORGADO A	: UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES
CERTIFICA QUE	: El instrumento de medición con el modelo y nro de serie indicados líneas abajo, ha sido calibrado, probado y verificado utilizando patrones certificados con trazabilidad en el Instituto Nacional de Calidad INACAL.
Instrumento de medición	: TAMIZADOR ELECTRICO
Marca	: ORION
Modelo	: TE-01
Serie	: 10040103
Fecha de Calibración	: 17.03.2018
Próxima Calibración	: 17.09.2018
MÉTODO DE CALIBRACIÓN La Calibración se realizó por comparación entre las lecturas del indicador digital de la centrífuga con el tacómetro patrón.	
PATRONES El Cronómetro Digital marca CASIO, de procedencia Japonesa	
TRAZABILIDAD los Patrones (certificados) son emitidos por el Instituto Nacional de Calidad INACAL. ®	
CONDICIONES DE CALIBRACIÓN Temperatura Inicial 23.1°C Final 23.1°C Humedad Relativa 80 %	
RESULTADO DE LA MEDICION Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la norma metrológica consultada	
ORION LABORATORIOS E.I.R.L.  Ing. Luis Taboada Palacios JEFE DE LABORATORIO RIP: 58551	
Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho Telf. 371 0531 - 371 0475 Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989 laboratorio@orionrcp.com areatecnica@orionrcp.com ventas@orionrcp.com www.orionrcp.com	

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

Anexo 19. Tabla de indicación patrón cronómetro Casio de tamizador eléctrico

 **ORION LABORATORIOS E.I.R.L.**
Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto


CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° 001-18 TAE

Fecha : 17.03.2018
Caduca : 17.09.2018

RAZON SOCIAL : UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES

MARCA : ORION
MODELO : TE-01
SERIE : 10040103

	RANGO DE TIEMPOS Minutos	INDICACION PATRON CRONOMETRO CASIO
Ensayo 1	1	1'00"01
Ensayo 2	2	2'00"04
Ensayo 3	4	4'00"03
Ensayo 4	6	6'00"02
Ensayo 5	8	8'00"01
Ensayo 6	10	10'00"04


Ing. Luis Taboada Palacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 56551

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres

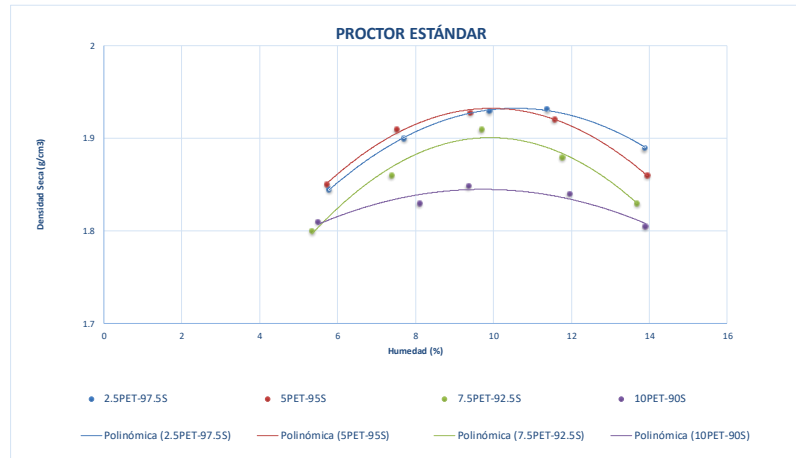
Anexo 20. Compactación-Proctor estándar para proporciones del aditivo

COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTÁNDAR ASTM D-1557	
ENSAYO ELABORADO POR:	Jhording Sinche Lavado - Justin Zevallos Quevedo
PROPORCIÓN:	ARENA- LIMOSA-PET EN 2.5 PET-97.5S, 5PET-95S, 7.5 PET-92.5S Y 10PET-90S

2.5 PET-97.5S					
MOLDE	1	2	3	4	5
Peso molde (g)	3967.50	3967.50	3967.50	3967.50	3967.50
Volumen molde (cm3)	944.00	944.00	944.00	944.00	944.00
Peso molde + Suelo húmedo (g)	5809.85	5899.21	5969.79	5998.67	5999.48
Peso Suelo Húmedo	1842.35	1931.71	2002.29	2031.17	2031.98
Peso molde + Suelo seco (g)	5709.18	5761.10	5789.42	5791.31	5751.66
Peso Suelo Seco	1741.68	1793.60	1821.92	1823.81	1784.16
Densidad húmeda (g/cm3)	1.95	2.05	2.12	2.15	2.15
CÁPSULA	A	B	C	D	E
Peso cápsula (g)	29.60	25.40	25.70	27.00	27.20
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	82.23	80.00	82.15	73.22	69.77
Peso cápsula + Suelo seco (g)	76.48	62.73	70.58	70.97	73.10
Peso agua (g)	2.71	2.87	4.44	5.00	6.38
Peso suelo seco (g)	46.88	37.33	44.88	43.97	45.90
Humedad (%)	5.78	7.70	9.90	11.37	13.89
Densidad seca (g/cm3)	1.85	1.90	1.93	1.93	1.89

5PET-95S					
MOLDE	1	2	3	4	5
Peso molde (g)	3967.50	3967.50	3967.50	3967.50	3967.50
Volumen molde (cm3)	944.00	944.00	944.00	944.00	944.00
Peso molde + Suelo húmedo (g)	5813.97	5906.13	5958.98	5990.74	5968.28
Peso Suelo Húmedo	1846.47	1938.63	1991.48	2023.24	2000.78
Peso molde + Suelo seco (g)	5713.90	5770.54	5787.53	5780.92	5723.34
Peso Suelo Seco	1746.40	1803.04	1820.03	1813.42	1755.84
Densidad húmeda (g/cm3)	1.96	2.05	2.11	2.14	2.12
CÁPSULA	A	B	C	D	E
Peso cápsula (g)	28.60	29.20	29.50	28.80	25.30
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	70.92	68.84	78.04	73.72	81.20
Peso cápsula + Suelo seco (g)	73.12	65.65	67.57	79.84	68.77
Peso agua (g)	2.55	2.74	3.59	5.91	6.06
Peso suelo seco (g)	44.52	36.45	38.07	51.04	43.47
Humedad (%)	5.73	7.52	9.42	11.57	13.95
Densidad seca (g/cm3)	1.85	1.91	1.93	1.92	1.86

7.5 PET-92.5S					
MOLDE	1	2	3	4	5
Peso molde (g)	3967.50	3967.50	3967.50	3967.50	3967.50
Volumen molde (cm3)	944.00	944.00	944.00	944.00	944.00
Peso molde + Suelo húmedo (g)	5757.44	5853.10	5945.43	5951.28	5931.52
Peso Suelo Húmedo	1789.94	1885.60	1977.93	1983.78	1964.02
Peso molde + Suelo seco (g)	5666.70	5723.34	5770.54	5742.22	5695.02
Peso Suelo Seco	1699.20	1755.84	1803.04	1774.72	1727.52
Densidad húmeda (g/cm3)	1.90	2.00	2.10	2.10	2.08
CÁPSULA	A	B	C	D	E
Peso cápsula (g)	27.10	26.80	24.40	25.80	29.80
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	73.22	71.88	69.60	72.83	81.38
Peso cápsula + Suelo seco (g)	64.69	68.79	74.25	69.68	68.90
Peso agua (g)	2.01	3.10	4.84	5.19	5.35
Peso suelo seco (g)	37.59	41.99	49.85	44.08	38.10
Humedad (%)	5.34	7.39	9.70	11.78	13.69
Densidad seca (g/cm3)	1.80	1.86	1.91	1.88	1.83



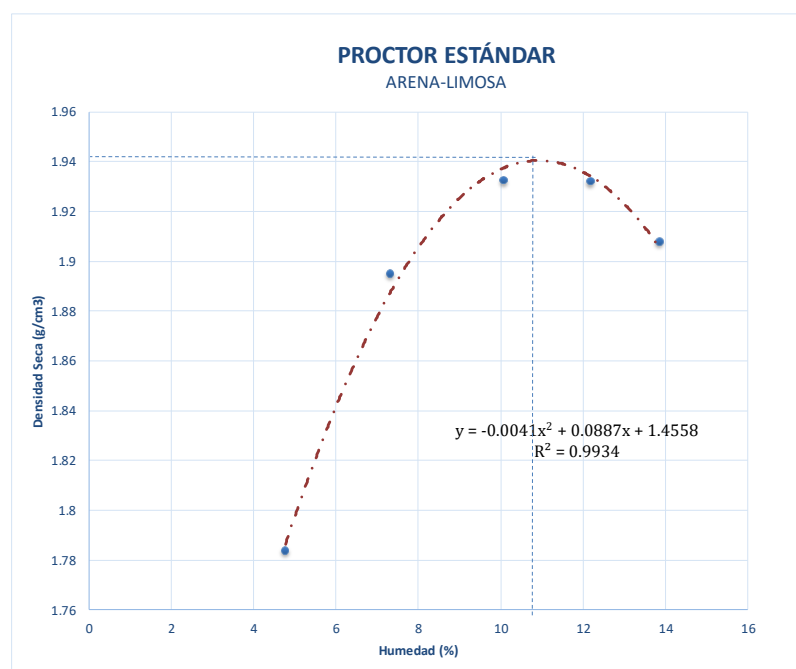
10PET-92.5S					
MOLDE	1	2	3	4	5
Peso molde (g)	3967.50	3967.50	3967.50	3967.50	3967.50
Volumen molde (cm3)	944.00	944.00	944.00	944.00	944.00
Peso molde + Suelo húmedo (g)	5769.94	5835.12	5876.51	5912.20	5908.28
Peso Suelo Húmedo	1802.44	1867.62	1909.01	1944.70	1940.76
Peso molde + Suelo seco (g)	5676.14	5695.02	5712.96	5704.46	5671.42
Peso Suelo Seco	1708.64	1727.52	1745.46	1736.96	1703.92
Densidad húmeda (g/cm3)	1.91	1.98	2.02	2.06	2.06
CÁPSULA	A	B	C	D	E
Peso cápsula (g)	24.00	25.30	24.90	27.00	23.50
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	73.10	76.01	75.14	71.75	71.18
Peso cápsula + Suelo seco (g)	74.00	72.83	67.77	69.57	66.43
Peso agua (g)	2.75	3.85	4.02	5.09	5.97
Peso suelo seco (g)	50.00	47.53	42.87	42.57	42.93
Humedad (%)	5.49	8.11	9.37	11.96	13.90
Densidad seca (g/cm3)	1.81	1.83	1.85	1.84	1.81

Fuente: Elaborado por los autores

Anexo 21. Compactación-Proctor estándar para la muestra de suelo

COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTANDAR ASTM D-1557	
ENSAYO ELABORADO POR:	Jhording Sinche Lavado - Justin Zevallos Quevedo
PROPORCIÓN:	ARENA- LIMOSA (100S)

MOLDE	1	2	3	4	5
Peso molde (g)	3967.50	3967.50	3967.50	3967.50	3967.50
Volumen molde (cm ³)	944.00	944.00	944.00	944.00	944.00
Peso molde + Suelo húmedo (g)	5731.50	5891.50	5975.50	5886.00	5975.50
Peso Suelo Húmedo	1764.00	1924.00	2008.00	1918.50	2008.00
Peso molde + Suelo seco (g)	5651.18	5760.33	5791.67	5677.39	5731.07
Peso Suelo Seco	1683.68	1792.83	1824.17	1709.89	1763.57
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.87	2.04	2.13	2.03	2.13
CÁPSULA	4-B	5-B	6-C	A	3-C
Peso cápsula (g)	29.18	29.98	29.05	29.54	29.90
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	75.30	84.84	68.92	83.15	68.84
Peso cápsula + Suelo seco (g)	73.20	81.10	65.27	80.60	65.27
Peso agua (g)	2.10	3.74	3.65	2.55	3.45
Peso suelo seco (g)	44.02	51.12	36.22	51.06	37.45
Humedad (%)	4.77	7.32	10.08	12.20	13.86
Densidad seca (g/cm ³)	1.78	1.90	1.93	1.93	1.91



Humedad Óptima (%)	10.81
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	1.941

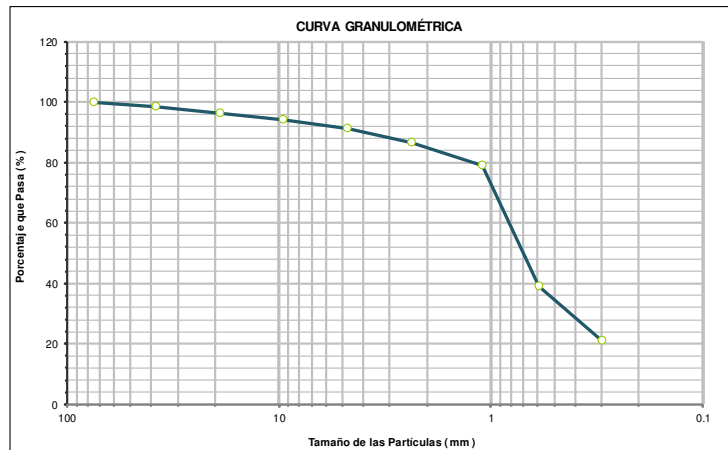
Fuente: Elaborado por los autores

Anexo 22. Análisis granulométrico y ensayo de laboratorio de suelo areno-limoso

Análisis granulométrico - Ensayo de laboratorio	
ENSAYO ELABORADO POR:	Jhording Sinche Lavado - Jostin Zevallos Quevedo
PROPORCIÓN:	ARENA- LIMOSA (100S)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	Peso Suelo Seco (g)	883.12
		Peso Suelo Seco Lavado (g)

Tamiz ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido		% Pasa
			Parcial	Acumulado	
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	11.97	1.36	1.36	98.64
4	4.760	19.43	2.20	3.56	96.44
8	2.360	20.99	2.38	5.93	94.07
16	1.100	25.53	2.89	8.82	91.18
30	0.590	39.91	4.52	13.34	86.66
50	0.297	68.44	7.75	21.09	78.91
100	0.149	350.90	39.73	60.83	39.17
200	0.075	159.06	18.01	78.84	21.16
Fondo	----	186.89	21.16	100.00	0.00
TOTAL		883.12	100.00		

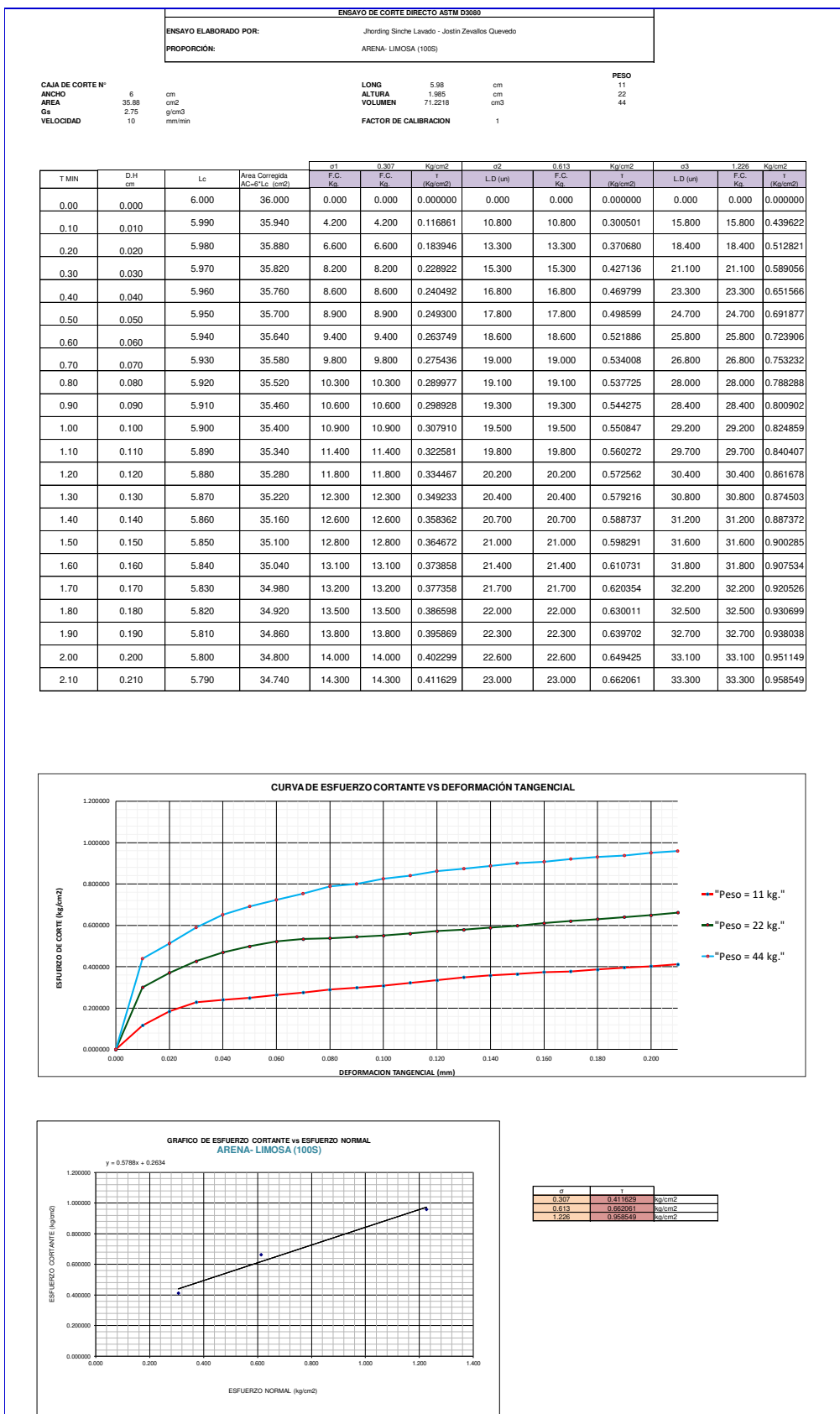


D30	0.117	% Grava	3.56
D60	0.239	% Arena	96.44

Cc (Coef. curvatura)	3.444
cu (Coef. uniformidad)	0.824

Fuente: Elaborado por los autores

Anexo 23. Corte directo areno-limosa (100S)



Fuente: Elaborado por los autores

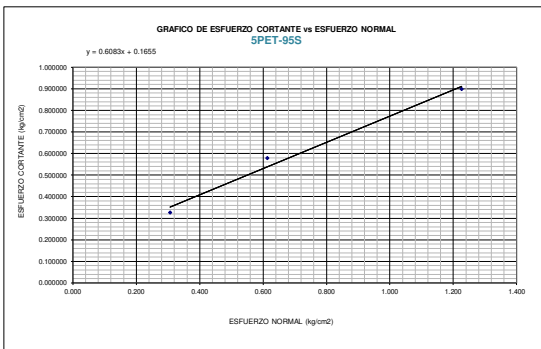
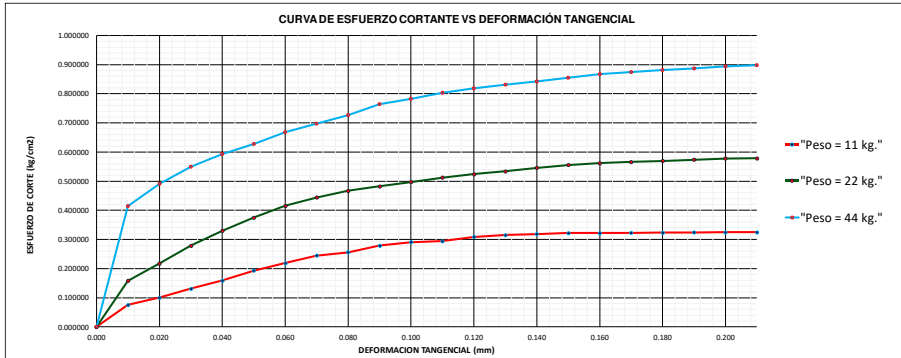
Anexo 24. Corte directo 2.5PET-97.5S

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

ENSAYO ELABORADO POR: Jhording Sinche Lavado Joslin Zevallos Quevedo
 PROPORCION: 2.5PET-97.5S

CAJA DE CORTE N°		LONG	5.98	cm	PESO	11
ANCHO	6	ALTURA	1.985	cm		22
AREA	35.88	VOLUMEN	71.2218	cm ³		44
G_s	2.75	VELOCIDAD	10	mm/min		
VELOCIDAD	10	FACTOR DE CALIBRACION	1			

T. MIN	D.H. cm	Lc	Area Corregida (A _c -P ₁ L _c) (cm ²)	a1			a2			a3			1.228		
				F.C. Kg	F.C. Kg	t (Kg/cm ²)	F.C. Kg	F.C. Kg	t (Kg/cm ²)	L.D. (mm)	F.C. Kg	F.C. Kg	t (Kg/cm ²)	L.D. (mm)	F.C. Kg
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000000	0.000	0.000	0.000000	0.000	0.000	0.000000	0.000	0.000	0.000000
0.10	0.010	5.990	35.940	2.700	2.700	0.075125	5.700	5.700	0.158598	14.900	14.900	0.414580			
0.20	0.020	5.980	35.880	3.600	3.600	0.100334	7.800	7.800	0.217391	17.600	17.600	0.490524			
0.30	0.030	5.970	35.820	4.700	4.700	0.131212	10.000	10.000	0.279174	19.700	19.700	0.549972			
0.40	0.040	5.960	35.760	5.700	5.700	0.159396	11.800	11.800	0.329978	21.200	21.200	0.592841			
0.50	0.050	5.950	35.700	6.900	6.900	0.193277	13.400	13.400	0.375350	22.400	22.400	0.627451			
0.60	0.060	5.940	35.640	7.800	7.800	0.218855	14.800	14.800	0.415264	23.800	23.800	0.667789			
0.70	0.070	5.930	35.580	8.700	8.700	0.244519	15.800	15.800	0.444070	24.800	24.800	0.697021			
0.80	0.080	5.920	35.520	9.100	9.100	0.256194	16.600	16.600	0.467342	25.800	25.800	0.726351			
0.90	0.090	5.910	35.460	9.900	9.900	0.279188	17.100	17.100	0.482234	27.100	27.100	0.764241			
1.00	0.100	5.900	35.400	10.300	10.300	0.290960	17.600	17.600	0.497175	27.700	27.700	0.782486			
1.10	0.110	5.890	35.340	10.400	10.400	0.294264	18.100	18.100	0.512168	28.400	28.400	0.803622			
1.20	0.120	5.880	35.280	10.900	10.900	0.308957	18.500	18.500	0.524376	28.900	28.900	0.819161			
1.30	0.130	5.870	35.220	11.100	11.100	0.315162	18.800	18.800	0.533788	29.300	29.300	0.831914			
1.40	0.140	5.860	35.160	11.200	11.200	0.318544	19.200	19.200	0.546075	29.600	29.600	0.841866			
1.50	0.150	5.850	35.100	11.300	11.300	0.321937	19.500	19.500	0.555556	30.000	30.000	0.854701			
1.60	0.160	5.840	35.040	11.300	11.300	0.322489	19.700	19.700	0.562215	30.400	30.400	0.867580			
1.70	0.170	5.830	34.980	11.300	11.300	0.323042	19.800	19.800	0.566038	30.600	30.600	0.874786			
1.80	0.180	5.820	34.920	11.300	11.300	0.323597	19.900	19.900	0.569874	30.800	30.800	0.882016			
1.90	0.190	5.810	34.860	11.300	11.300	0.324154	20.000	20.000	0.573723	30.900	30.900	0.886403			
2.00	0.200	5.800	34.800	11.300	11.300	0.324713	20.100	20.100	0.577586	31.100	31.100	0.893678			
2.10	0.210	5.790	34.740	11.300	11.300	0.325273	20.100	20.100	0.578584	31.200	31.200	0.898100			



a	t	
0.307	0.325273	kg/cm ²
0.613	0.578584	kg/cm ²
1.226	0.898100	kg/cm ²

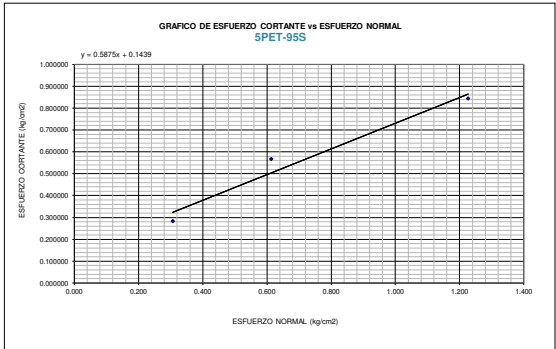
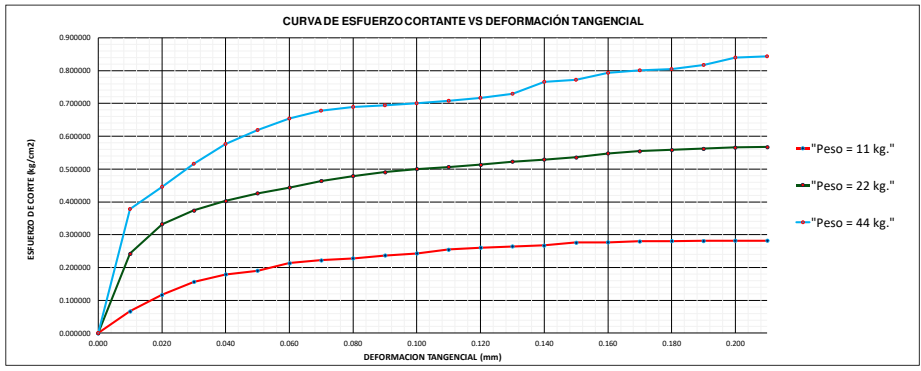
Fuente: Elaborado por los autores

Anexo 25. Corte directo 5PET-95S.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080
 ENSAYO ELABORADO POR: Jhording Sinche Lavado Joslin Zevallos Quevedo
 PROPORCIÓN: 5PET-95S

CAJA DE CORTE N°		LONG	5.98	cm	PESO	11
ANCHO	6	ALTURA	1.985	cm		22
AREA	35.88	VOLUMEN	71.2216	cm ³		44
CS	2.75					
VELOCIDAD	10	FACTOR DE CALIBRACION	1			

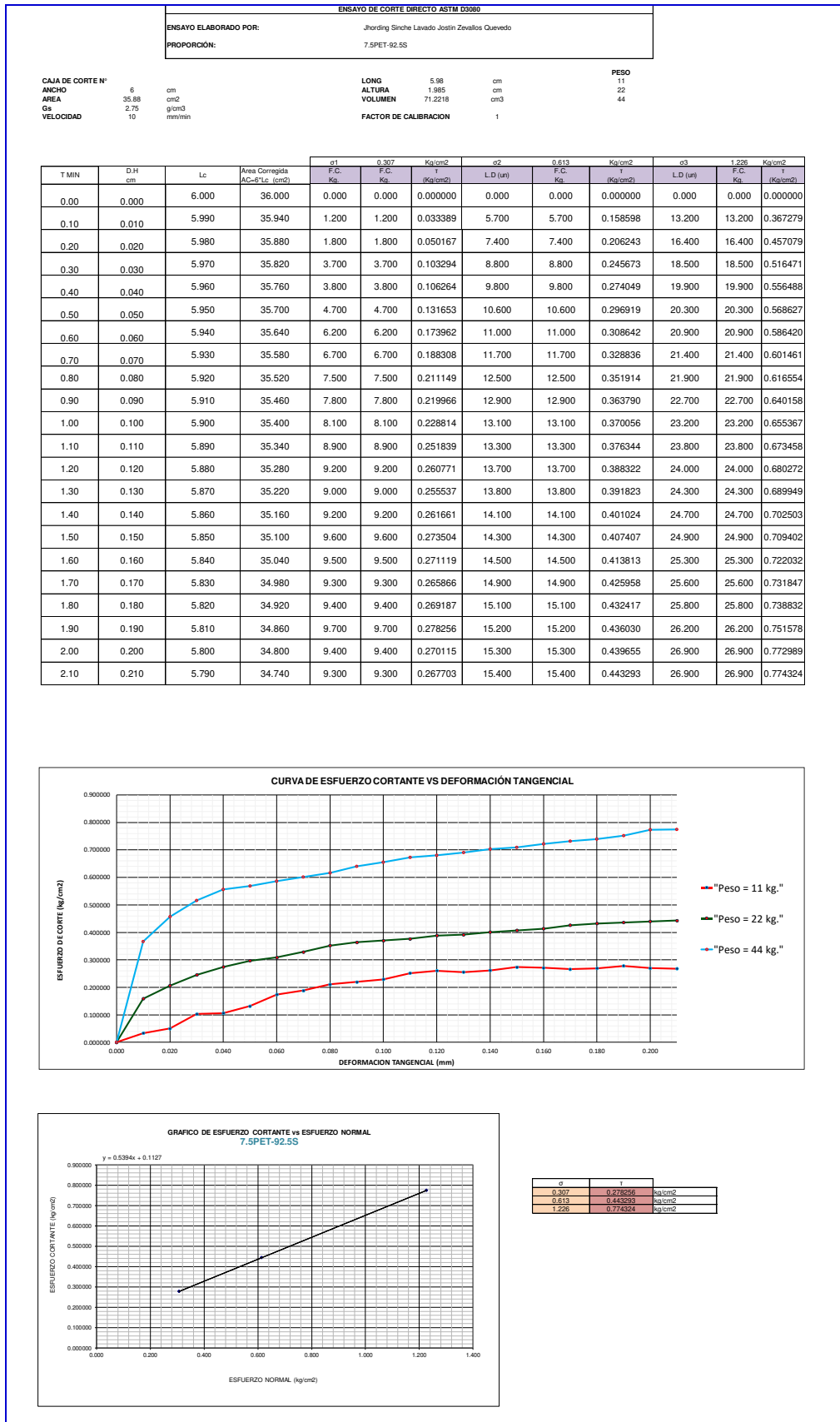
T MIN	D.H cm	Lc	Area Correjada AC=PLc (cm ²)	r1 0.307 Kg/cm ²		r2 0.613 Kg/cm ²		r3 1.226 Kg/cm ²				
				F.C. Kg	F.C. Kg	F.C. Kg	F.C. Kg	F.C. Kg	F.C. Kg			
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000000	0.000	0.000	0.000000	0.000	0.000	
0.10	0.010	5.990	35.940	2.400	2.400	0.066778	8.700	8.700	0.242070	13.600	13.600	0.3784
0.20	0.020	5.980	35.880	4.200	4.200	0.117057	11.900	11.900	0.331661	16.000	16.000	0.4459
0.30	0.030	5.970	35.820	5.600	5.600	0.156337	13.400	13.400	0.374093	18.500	18.500	0.5165
0.40	0.040	5.960	35.760	6.400	6.400	0.178971	14.400	14.400	0.402685	20.600	20.600	0.5761
0.50	0.050	5.950	35.700	6.800	6.800	0.190476	15.200	15.200	0.425770	22.100	22.100	0.6190
0.60	0.060	5.940	35.640	7.600	7.600	0.213244	15.800	15.800	0.443322	23.300	23.300	0.6538
0.70	0.070	5.930	35.580	7.900	7.900	0.222035	16.500	16.500	0.463744	24.100	24.100	0.6773
0.80	0.080	5.920	35.520	8.100	8.100	0.228041	17.000	17.000	0.478604	24.500	24.500	0.6898
0.90	0.090	5.910	35.460	8.400	8.400	0.236887	17.400	17.400	0.490694	24.600	24.600	0.6937
1.00	0.100	5.900	35.400	8.600	8.600	0.242938	17.700	17.700	0.500000	24.800	24.800	0.7006
1.10	0.110	5.890	35.340	9.000	9.000	0.254669	17.900	17.900	0.506508	25.000	25.000	0.7074
1.20	0.120	5.880	35.280	9.200	9.200	0.260771	18.100	18.100	0.513039	25.300	25.300	0.7171
1.30	0.130	5.870	35.220	9.300	9.300	0.264055	18.400	18.400	0.522430	25.700	25.700	0.7297
1.40	0.140	5.860	35.160	9.400	9.400	0.267349	18.600	18.600	0.529010	26.900	26.900	0.7651
1.50	0.150	5.850	35.100	9.700	9.700	0.276353	18.800	18.800	0.535613	27.100	27.100	0.7721
1.60	0.160	5.840	35.040	9.700	9.700	0.276826	19.200	19.200	0.547945	27.800	27.800	0.7934
1.70	0.170	5.830	34.980	9.800	9.800	0.280160	19.400	19.400	0.554603	28.000	28.000	0.8005
1.80	0.180	5.820	34.920	9.800	9.800	0.280641	19.500	19.500	0.558419	28.100	28.100	0.8047
1.90	0.190	5.810	34.860	9.800	9.800	0.281124	19.600	19.600	0.562249	28.500	28.500	0.8176
2.00	0.200	5.800	34.800	9.800	9.800	0.281609	19.700	19.700	0.566092	29.200	29.200	0.8391
2.10	0.210	5.790	34.740	9.800	9.800	0.282096	19.700	19.700	0.567070	29.300	29.300	0.8434



α	τ	
0.307	0.282096	kg/cm ²
0.613	0.567070	kg/cm ²
1.226	0.843408	kg/cm ²

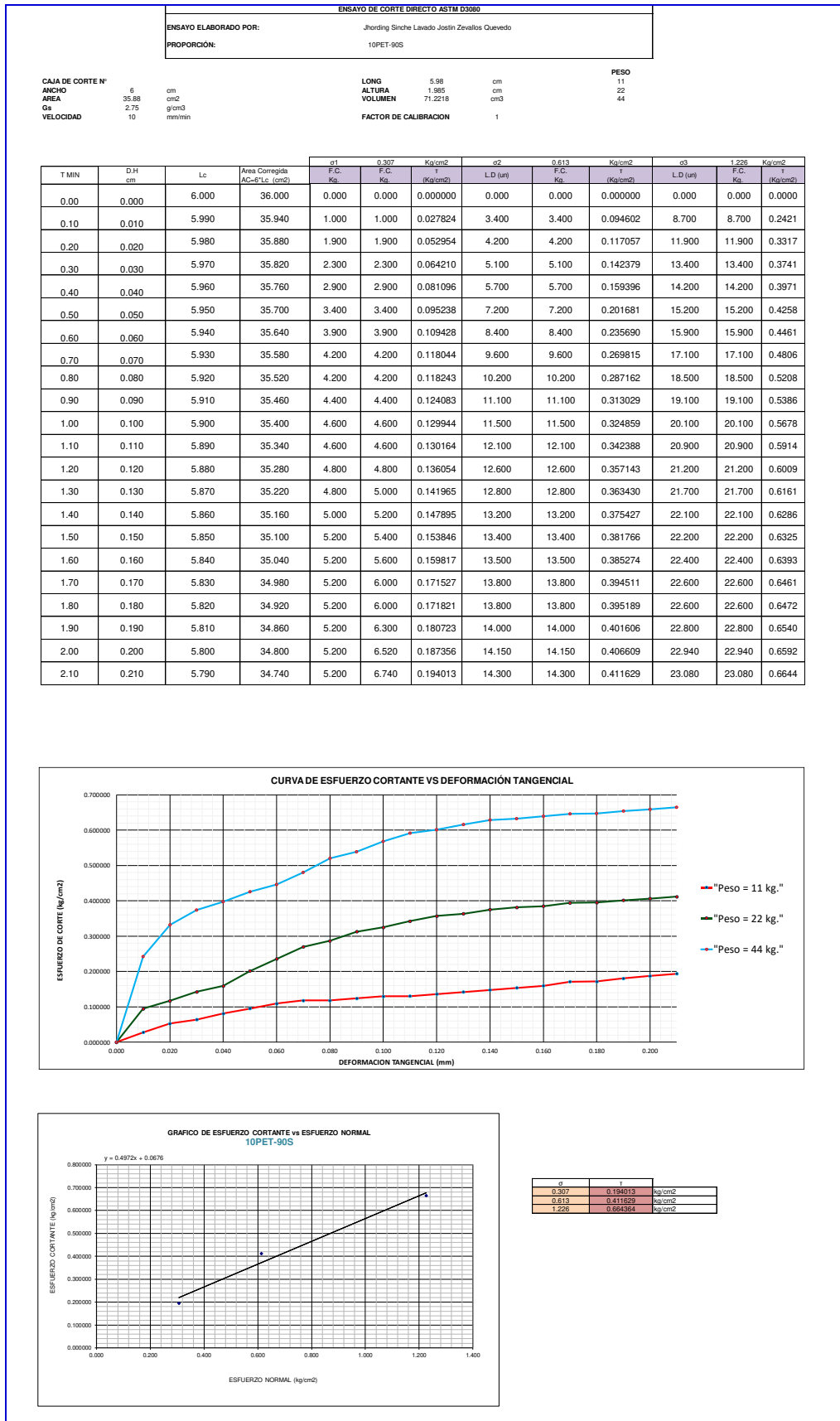
Fuente: Elaborado por los autores

Anexo 26. Corte directo 7.5PET-92.5S.



Fuente: Elaborado por los autores

Anexo 27. Corte directo 10PET-90S.



Fuente: Elaborado por los autores

Anexo 28.Foto frontal del lugar de extracción de muestra.



Fuente: Elaborado por los autores

Anexo 29.Foto lateral izquierdo del lugar de extracción de muestra.



Fuente: Elaborado por los autores

Anexo 30.Foto lateral derecho del lugar de extracción de muestra.



Fuente: Elaborado por los autores