

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

Influencia de la incorporación de plástico reciclado triturado – PET en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante en la prolongación de la Av.

Micaela Bastidas, Tamburco - Abancay, 2018.

**Para optar el título profesional de Ingeniero Civil**

**Presentado por:**

Bach. Esperanza Quispe Serrano

Bach. Magaly Sañac Vilca

**Asesor:** Ing. Hugo Virgilio Acosta Valer

**ABANCAY – APURÍMAC**

**2019**

**MIEMBROS DEL JURADO**

Los miembros del Jurado certificamos que el presente trabajo de investigación **“Influencia de la incorporación de plástico reciclado triturado – PET en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante en la prolongación de la Av. Micaela Bastidas, Tamburco, Abancay, 2018.”**, de responsabilidad de las bachilleres Esperanza Quispe Serrano y Magaly Sañac Vilca, el cual después de haber sido revisada por cada uno de los miembros del Jurado, queda autorizado para su respectiva presentación.

JURADOS	FIRMA	FECHA
Ing. Ángel Maldonado Mendivil. PRESIDENTE.	.....	.....
Ing. Holguer Cayo Baca. PRIMER DICTAMINANTE	.....	.....
Ing. Calixto Cañari Otero. SEGUNDO DICTAMINANTE	.....	.....

## DEDICATORIA

*Al Señor, por regalarnos vida, para hacer realidad nuestras metas trazadas, a mi madre por ese amor incondicional, a mi padre que desde lo alto siempre ilumina mis pasos, a mi hijo, esposo, hermanos(as) por su amor, comprensión y confianza y a todos mis amigos que me acompañaron en este nuevo logro.*

*A todos ustedes, un millón de gracias.*

*Esperanza*

*A Dios y a mis queridos padres Cirilo Sañac Girondas, Teresita de Jesús Vilca Quispe y a mi hermano Fredy que desde el cielo me cuidan, a mis hermanas por todo su cariño, apoyo, comprensión y confianza que lograron en mí ser la mujer que soy para salir adelante y así alcanzar mis metas, para ellas todo mi amor y respeto, a todos mis compañeros y amigos que ayudaron a alcanzar este logro. Gracias*

*Magaly*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por bendecirnos siempre con salud, fortaleza, entendimiento y sabiduría para alcanzar nuestras metas.*

*A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de los Andes, a todos los docentes por impartirnos conocimientos y brindarnos sus experiencias profesionales.*

*Queremos agradecer de manera especial al Ing. Hugo Virgilio Acosta Valer por su dedicación brindada en el proceso de asesoramiento, a los encargados de laboratorios de Ingeniería Civil e Ingeniería Ambiental: Yelsin y Ray, al Sr. Marcelino Huachallanqui, técnico jefe del laboratorio GEOMAT, al Sr. Juan Orosco, gerente de JORPLAS, a familiares, amigos y a todas las personas que nos brindaron su apoyo para finalmente culminar el presente trabajo de investigación.*

*Magaly y Esperanza.*

## RESUMEN

La presente tesis estudia el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante cuando se le incorpora plástico reciclado triturado PET, como aditivo, obtenido del reciclaje de botellas descartables procesadas industrialmente en plantas recicladoras.

El estudio se centra en el mejoramiento de suelos a nivel de sub rasante de baja capacidad de soporte, cuyo valor de CBR lo categoriza como sub rasante insuficiente o pobre, el cual mediante el mejoramiento alcance valores de CBR que lo caractericen como una sub rasante regular a ser usada.

Basándonos en la Norma Técnica Peruana y el Manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y haciendo uso del laboratorio de suelos y pavimentos GEOMAT en la ciudad de Abancay, se realizaron ensayos estándares para clasificar el suelo, límites de Atterberg, ensayos de compactación como próctor modificado y finalmente ensayos CBR tanto al suelo natural como al suelo incorporado con PRT-PET, con el objeto de tener un patrón de comparación en la medición y determinar del mejoramiento.

Para ello, se practicaron ensayos previos de CBR para determinar la granulometría y textura ideal de incorporación PRT-PET a ser usado como aditivo en el mejoramiento del suelo, para que una vez determinados estos, puedan ser practicados en distintos porcentajes de incorporación hasta encontrar la dosificación óptima.

De la evaluación de resultados, tenemos que con la incorporación de PRT-PET de granulometría heterogénea con dimensiones entre 9.50 mm a 0.075 mm, textura ondulada, en una dosificación óptima de incorporación de 5% respecto al peso seco del suelo, se tuvo el más significativo crecimiento del CBR, llegando a mejorar el suelo natural de 3.4% a 7.8% que representa incremento en 129% y en expansión de 1.1% a 0.6% que representa una reducción en 45%, pasando de ser una sub rasante insuficiente a una sub rasante regular.

Asímismo, al darle un nuevo uso a las botellas recicladas de PRT-PET, se logró minimizar la contaminación ambiental y se tiene una alternativa de mejoramiento del suelo a bajo costo.

**PALABRAS CLAVES;** Suelo, subrasante, mejoramiento, polietileno tereftalato (PET).

## ABSTRACT

The present thesis studies the improvement of the soil at the subgrade level when recycled plastic crushed PET is incorporated as an additive, obtained from the recycling of disposable bottles processed industrially in recycling plants.

The study focuses on the improvement of soils at subgrade level of low support capacity, whose CBR value categorizes it as insufficient or poor subgrade, which through improvement reaches CBR values that characterize it as a regular subgrade to be used.

Based on the Peruvian Technical Standard and the Materials Testing Manual of the Ministry of Transport and Communications and using the GEOMAT soil and pavement laboratory in the city of Abancay, standard tests were carried out to classify soil, Atterberg limits, compaction tests as a modified proctor and finally CBR tests on both natural soil and soil incorporated with recycled PET crushed plastic, in order to have a comparison pattern in measuring and determining improvement.

For this purpose, previous CBR tests were carried out to determine the ideal particle size and texture of recycled PET crushed plastic to be used as an additive in soil improvement, so that once these have been determined, they can be practiced in different percentages of incorporation until the optimum dosage is found.

From the evaluation of results, we have that with the incorporation of recycled plastic shredded PET of heterogeneous granulometry with dimensions between 9.50 mm to 0.075 mm, wavy texture, in an optimal dosage of incorporation of 5% with respect to the dry weight of the soil, the most significant growth of CBR was had, improving the natural soil from 3.4% to 7.8% that represents an increase in 129% and in expansion from 1.1% to 0.6% that represents a reduction in 45%, going from being an insufficient sub-grade to a regular sub-grade.

Likewise, by giving a new use to recycled bottles of recycled plastic shredded PET, it was possible to minimize environmental pollution and there is an alternative for soil improvement at low cost.

**KEY WORDS;** Soil, subgrade, improvement, polyethylene terephthalate (PET).

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional trae consigo la necesidad de buscar zonas donde habitar haciéndose necesario el planeamiento y construcción de vías que nos permitan la accesibilidad y articulación con diferentes centros poblados y servicios para facilitar la comunicación, el intercambio económico, entre otros.

Para ello, es necesario que las vías estén asentadas en terrenos estables capaces de soportar las cargas que transmite la estructura del pavimento, en muchos casos esto no ocurre y nos encontramos con suelos no aptos para sub rasante, categorizados como inadecuados, insuficientes o pobres. Frente a ello, existe la posibilidad de restituir el suelo a nivel de sub rasante afectando laderas, causando movimientos de tierra y destruyendo ecosistemas y la otra posibilidad amigable es la de mejorar el suelo con la incorporación de un aditivo accesible en el mercado y de bajo costo, como es el caso del mejoramiento de suelos a nivel de sub rasante con la incorporación de plástico reciclado triturado PET, obtenido del reciclaje de botellas descartables.

La investigación se desarrolla en cinco capítulos diferenciados. En el capítulo uno: planteamiento del problema, se describe la problemática, justificación, objetivos, limitaciones y delimitación de la investigación.

El capítulo dos: referido al marco teórico, antecedentes internacionales, nacionales y locales referidas a la investigación; bases teóricas entre ellas sub rasante, polímeros, plástico reciclado PET, estabilización de suelos, se desarrolla el marco conceptual y referencial, la formulación de la hipótesis y operacionalización de variables.

En el capítulo tres, metodología de investigación: método, tipo de investigación, nivel o alcance, diseño de la investigación, se determina la población y muestra, técnicas e instrumentos, consideraciones éticas y procesamiento de datos.

En el capítulo cuatro, resultados y discusión: se presenta el resumen de los ensayos estándares realizados para la caracterización de la sub rasante, los ensayos de CBR para la determinación de la granulometría y textura ideal, así como la determinación de la dosificación óptima de PRT-PET que mejora el suelo a nivel de sub rasante.

El capítulo cinco, contiene las conclusiones y recomendaciones a las que se pudo llegar y finalmente, se menciona la biografía utilizada, se adjunta anexos: formatos y resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, así como los certificados de calibración de equipos utilizados en laboratorio.

## ÍNDICE GENERAL

MIEMBROS DEL JURADO .....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
INTRODUCCIÓN.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xiv
Capítulo 1 Planteamiento del Problema .....	1
1.1 Realidad Problemática.....	1
1.2 Planteamiento del Problema .....	2
1.2.1 Problema general .....	2
1.2.2 Problemas específicos.....	2
1.3 Justificación de la Investigación.....	3
1.4 Objetivos de la Investigación .....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Limitaciones .....	4
1.5.1 Limitaciones geográficas. ....	4
1.5.2 Limitaciones de diseño. ....	4
1.5.3 Limitaciones de ensayos de laboratorio.....	4
1.6. Delimitación .....	4
1.6.1. Espacial.....	4
1.6.2. Temporal.....	4
Capítulo 2 Marco Teórico.....	6
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	6
2.1.1 A nivel internacional.....	6
2.1.2 A nivel nacional.....	10
2.1.2 A nivel regional y local.....	14
2.2 Bases Teóricas .....	15



2.2.1 Sub rasante.....	15
2.2.1.1 Características fundamentales a tomar en cuenta de la sub rasante .....	17
2.2.3 Polímeros.....	23
2.2.3.1 Identificación de los envases.....	24
2.2.3.2 Estructura de los polímeros.....	25
2.2.3.3 Polietileno tereftalato (PET).....	25
2.2.3.4 Reciclado de botellas de plástico - PET.....	27
2.2.3.5 El PET y el medio ambiente.....	28
2.2.7 Estabilización de suelos.....	29
2.2.7.1 Estabilización mecánica de suelos.....	29
2.2.7.2 Estabilización por combinación de suelos.....	29
2.2.7.3 Estabilización por sustitución de los suelos.....	29
2.2.7.4 Suelo estabilizado con cemento.....	30
2.2.7.5 Suelo estabilizado con productos asfálticos .....	30
2.2.7.6 Suelo estabilizado con cal.....	30
2.2.7.7 Suelo estabilizado con cloruro de sodio.....	32
2.2.7.8 Estabilización con cloruro de calcio.....	32
2.2.7.9 Estabilización con cloruro de magnesio .....	32
2.3 Marco Conceptual.....	34
2.4 Marco Referencial (histórico).....	36
2.5 Hipótesis .....	38
2.5.1 Hipótesis general.....	38
2.5.2 Hipótesis específicas.....	39
2.6 Operacionalización de variables .....	39
2.6.1 Variable independiente .....	39
2.6.2 Variable dependiente.....	39
Capítulo 3 Metodología de Investigación.....	41
3.1 Método.....	41
3.2 Tipo de investigación .....	41
3.3 Nivel o alcance de investigación .....	42
3.4 Diseño de investigación.....	42
3.5 Población y Muestra .....	42
3.5.1 Población.....	42
3.5.1.1 Ubicación de la población.....	43

3.5.2	Muestra.....	44
3.5.1.2	Obtención de la muestra. ....	45
3.5.3	Muestreo. ....	52
3.5.3.1	Determinación de las propiedades físicas, mecánicas del suelo y PRT-PET... 53	
3.5.3.1.1	Propiedades físicas.....	53
3.5.3.1.2	Propiedades mecánicas.....	60
3.6	Técnicas e instrumentos .....	73
3.6.1	Técnicas.....	73
3.6.2	Instrumentos.....	74
3.7	Consideraciones éticas.....	74
3.8	Procesamiento de datos .....	74
Capítulo 4 Resultado y Discusión .....		75
4.1	Resultados.....	75
4.1.1	A nivel de la variable X / I.....	75
4.1.1.1	Obtención de las propiedades físicas, mecánicas y químicas.....	75
4.1.1.1.1	Propiedades físicas.....	75
4.1.1.1.2	Propiedades Mecánicas.....	79
4.1.1.1.3	Propiedades químicas.....	82
4.1.2	A nivel de la variable Y / D.....	83
4.1.2.1	Obtención de las propiedades mecánicas con incorporación de PRT-PET.....	83
4.1.2.1.1	Ensayo CBR para determinación de granulometría ideal de PRT-PET.....	83
4.1.2.1.2	Ensayo CBR para determinación de textura ideal de PRT-PET.....	85
4.1.2.1.3	Ensayo CBR para determinación de la dosificación óptima de PRT-PET.	86
4.2	Prueba de Hipótesis .....	91
4.2.1	Teoría de las muestras pequeñas o distribución t de STUDENT.....	91
4.3	Discusión .....	106
4.3.1	Discusión de resultados.....	106
Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones.....		111
5.1	Conclusiones .....	111
5.2	Recomendaciones.....	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		115
ANEXOS .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Categorías de sub rasante</i> .....	16
Tabla 2	<i>Clasificación de suelos según tamaño de partículas</i> .....	17
Tabla 3	<i>Índice de grupo y suelo de sub rasante</i> . ....	19
Tabla 4	<i>Clasificación de suelos según índice de plasticidad</i> . ....	21
Tabla 5	<i>Clasificación de suelos – método AASHTO</i> . ....	22
Tabla 6	<i>Calificación general de suelos a nivel de subrasante</i> .....	23
Tabla 7	<i>Especificaciones técnicas de tipo de estabilizadores y su aplicación según región</i> .....	34
Tabla 8	<i>Matriz de operacionalización de variables</i> .....	40
Tabla 9	<i>Calicatas realizadas en la prolongación de la Av. Micaela Bastidas</i> .....	45
Tabla 10	<i>Ensayos realizados al suelo natural sin adición</i> .....	48
Tabla 11	<i>Cantidad de suelo sin incorporación de PRT-PET</i> . ....	48
Tabla 12	<i>Número de ensayos realizados al suelo incorporado con PRT-PET</i> .....	49
Tabla 13	<i>Cantidad de suelo incorporado con PRT-PET para la selección de la granulometría</i> . ....	49
Tabla 14	<i>Cantidad de suelo incorporado con PRT-PET para la selección de la textura</i> . .	49
Tabla 15	<i>Cantidad de suelo incorporado con PRT-PET Liso para la dosificación</i> .....	49
Tabla 16	<i>Cantidad de suelo incorporado con PRT-PET ondulado para la dosificación</i> . .	49
Tabla 17	<i>Resumen de cantidad de suelo utilizado</i> .....	50
Tabla 18	<i>Número de ensayos realizados al PRT- PET</i> .....	50
Tabla 19	<i>Cantidad de PRT-PET liso para la selección de la granulometría</i> . ....	51
Tabla 20	<i>Cantidad de PRT-PET liso para la selección de la textura</i> . ....	51
Tabla 21	<i>Cantidad de PRT-PET liso para la dosificación</i> . ....	51
Tabla 22	<i>Cantidad de PRT-PET ondulado para la dosificación</i> .....	51
Tabla 23	<i>Resumen de cantidad de PRT-PET utilizado</i> .....	52
Tabla 24	<i>Hora de lectura de expansión para el ensayo de CBR</i> .....	71
Tabla 25	<i>Formatos de resultados de ensayos a realizar</i> . ....	74
Tabla 26	<i>Contenido de humedad</i> . ....	75
Tabla 27	<i>Análisis granulométrico por tamizado</i> . ....	76
Tabla 28	<i>Contenido de material en porcentaje según calicata</i> . ....	77
Tabla 29	<i>Análisis granulométrico por sedimentación</i> .....	77
Tabla 30	<i>Gravedad específica</i> .....	78

Tabla 31	<i>Límites de Atterberg de las tres calicatas realizadas</i> .....	78
Tabla 32	<i>Clasificación de suelos SUCS y AASHTO</i> .....	79
Tabla 33	<i>Resumen de próctor modificado</i> .....	79
Tabla 34	<i>Resumen de CBR muestra natural</i> .....	80
Tabla 35	<i>Datos de CBR suelo natural en C-02</i> .....	81
Tabla 36	<i>Datos de análisis físico químico C-02 suelo natural</i> .....	82
Tabla 37	<i>Datos técnicos del PET</i> .....	82
Tabla 38	<i>Resumen de tamaño de PRT-PET</i> .....	83
Tabla 39	<i>Relación de ensayos de CBR con incorporación de PRT-PET al 2%</i> .....	84
Tabla 40	<i>Resumen de CBR con incorporación de PRT-PET al 2%</i> .....	84
Tabla 41	<i>Resumen de textura seleccionada de PRT-PET</i> .....	85
Tabla 42	<i>Relación de ensayos de CBR con incorporación al 2% de PRT-PET según texturas</i> .....	85
Tabla 43	<i>Resumen de CBR con incorporación al 2% de PRT-PET según texturas utilizadas</i> .....	86
Tabla 44	<i>Relación de ensayos de CBR según incorporación de PRT-PET liso</i> .....	86
Tabla 45	<i>Resumen de ensayos de CBR con incorporación de PRT-PET liso</i> .....	88
Tabla 46	<i>Relación de ensayos de CBR según incorporación de PRT-PET ondulado</i> .....	89
Tabla 47	<i>Resumen de CBR con incorporación PRT-PET ondulado</i> .....	91
Tabla 48	<i>Resultados de laboratorio para la obtención de granulometría óptima de PRT-PET</i> .....	92
Tabla 49	<i>Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales en granulometría de PRT-PET</i> .....	93
Tabla 50	<i>Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales de expansión en granulometría</i> .....	93
Tabla 51	<i>Resultados de CBR en laboratorio para la obtención de la textura de PRT-PET</i> .....	95
Tabla 52	<i>Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales para la textura ondulada de PRT-PET</i> .....	96
Tabla 53	<i>Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales para la expansión en textura</i> .....	97
Tabla 54	<i>Resumen de resultados de laboratorio para la obtención de la dosificación</i> .....	98
Tabla 55	<i>Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales para la dosificación de PRT- PET</i> .....	99

Tabla 56 <i>Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales para la expansión en dosificación.....</i>	100
Tabla 57 <i>Datos de CBR con la incorporación de PRT- PET en relación a la estadística de prueba. ....</i>	102
Tabla 58 <i>Resultados de suelo natural en relación a la estadística de prueba para CBR con PRT-PET.....</i>	102
Tabla 59 <i>Resultados de CBR con la incorporación de PRT- PET en relación a la estadística de prueba. ....</i>	103
Tabla 60 <i>Resultados de suelo natural en relación a la estadística de prueba para expansión en CBR.....</i>	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Tipos de polímeros e identificación plásticos reciclados .....	24
<i>Figura 2:</i> Marca de reciclaje del PET y su acumulación para el reciclaje. ....	27
<i>Figura 3:</i> Guía referencial para la selección del tipo de estabilizador. ....	33
<i>Figura 4:</i> Macro ubicación del distrito Tamburco. ....	43
<i>Figura 5:</i> Vista panorámica de la población en estudio Tamburco - Bancapata – Soccoshuayco .....	43
<i>Figura 6:</i> Longitud de sub rasante de la prolongación de la Av. Micaela Bastidas.....	44
<i>Figura 7:</i> Ubicación de calicatas en estudio.....	44
<i>Figura 8:</i> Selección de los tres tipos de granulometría de PRT – PET.....	45
<i>Figura 9:</i> Localización y toma de muestra de la calicata 01 (C – 01) .....	46
<i>Figura 10:</i> Localización y toma de muestra de la calicata 02 (C – 02).....	46
<i>Figura 11:</i> Localización y toma de muestra de la calicata 03 (C – 03) .....	47
<i>Figura 12:</i> Localización de la calicata N°2 en la vía en estudio. ....	47
<i>Figura 13:</i> Plástico reciclado triturado - PET liso y PET ondulado .....	50
<i>Figura 14:</i> Selección de material según calicatas .....	52
<i>Figura 15:</i> Preparación de muestra y materiales para el ensayo. ....	53
<i>Figura 16:</i> Lectura de pesos de la muestra y puesta al horno. ....	53
<i>Figura 17:</i> Cuarteo y pesado de la muestra.....	54
<i>Figura 18:</i> Lavado de material en la malla N° 200.....	55
<i>Figura 19:</i> Tamizado manual de la muestra.....	55
<i>Figura 20:</i> Muestra recién tamizada .....	55
<i>Figura 21:</i> Colocación del aditivo defloculante a la muestra .....	56
<i>Figura 22:</i> Batido de material con defloculante.....	56
<i>Figura 23:</i> Toma de datos al 1', 2', 5', 15', 30', 60' hasta 1440" .....	57
<i>Figura 24:</i> Equipos para la determinación limite líquido. ....	58
<i>Figura 25:</i> Verificación del cierre de la ranura a 13 mm (1/2 pulg). ....	58
<i>Figura 26:</i> Toma de lectura de pesos tanto LL y LP sacados del horno. ....	58
<i>Figura 27:</i> Ensayo de limite plástico con un diámetro aproximado de 3.2 mm. ....	59
<i>Figura 28:</i> Preparación de la mezcla del suelo para ensayo de próctor modificado.....	61
<i>Figura 29:</i> Mezclado suelo preparado y colocar en bolsas para su saturación. ....	61
<i>Figura 30:</i> Enrase de espécimen para su posterior pesado. ....	62
<i>Figura 31:</i> Cuarteo de material colocación en bolsas para ensayo. ....	64

<i>Figura 32:</i> Mezcla del suelo y agua y saturación.....	64
<i>Figura 33:</i> Compactado de la muestra y puesta en inmersión. ....	65
<i>Figura 34:</i> Escurrimiento de la muestra y toma de datos de penetración. ....	66
<i>Figura 35:</i> Muestras ya ensayadas y sacadas del molde de CBR. ....	66
<i>Figura 36:</i> Plástico reciclado triturado - PET ondulado. ....	68
<i>Figura 37:</i> Preparación y pesando los materiales suelo – PRT-PET. ....	68
<i>Figura 38:</i> Suelo y PRT – PET pesado para ser mezclado. ....	68
<i>Figura 39:</i> Mezcla y saturación del suelo con PRT – PET. ....	69
<i>Figura 40:</i> Compactación de los especímenes y toma de datos.....	70
<i>Figura 41:</i> Especímenes listos para colocarlos a la poza.....	70
<i>Figura 42:</i> Inmersión de muestras de CBR durante 96 horas. ....	71
<i>Figura 43:</i> Lectura de expansión de la muestra. ....	71
<i>Figura 44:</i> Resistencia a la penetración y toma de datos.....	72
<i>Figura 45:</i> Muestras después del ensayo de penetración. ....	72
<i>Figura 46:</i> Muestras después del ensayo de penetración. ....	72
<i>Figura 47:</i> Muestras de suelo con PET-liso y suelo con PRT ondulado. ....	73
<i>Figura 48:</i> Curva granulométrica calicata 02.....	76
<i>Figura 49:</i> Muestra para la selección de PRT-PET .....	83
<i>Figura 50:</i> Muestra 03 - plástico reciclado triturado -PET.....	85
<i>Figura 51:</i> Muestra 03 con PRT – PET. ....	88
<i>Figura 52:</i> Temperatura de ondulado de material -PRT-PET liso.....	89
<i>Figura 53:</i> Verificación de los valores de $t_t$ y $t_c$ en la región crítica para granulometría Ideal. ....	93
<i>Figura 54:</i> Verificación de $t_t$ y $t_c$ en la región crítica para la expansión en granulometría ideal. ....	94
<i>Figura 55:</i> Verificación de $t_t$ y $t_c$ en la región crítica para la textura ideal. ....	96
<i>Figura 56:</i> Verificación de $t_t$ y $t_c$ en la región crítica para la expansión en textura ideal. .	97
<i>Figura 57:</i> Verificación de $t_t$ y $t_c$ en la región crítica para la dosificación óptima.....	100
<i>Figura 58:</i> Verificación de $t_t$ y $t_c$ en la región crítica para expansión en dosificación óptima. ....	101
<i>Figura 59:</i> Verificación de $t_t$ y $t_c$ en la región crítica para capacidad de soporte.....	104
<i>Figura 60:</i> Verificación de $t_t$ y $t_c$ en la región crítica para expansión en capacidad de soporte. ....	105

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1:</i> Calicata Vs valor de CBR y expansión.....	81
<i>Ilustración 2:</i> Calicata Vs CBR Y expansión.....	81
<i>Ilustración 3:</i> Incorporación de PRT-PET liso Vs CBR y expansión.....	87
<i>Ilustración 4:</i> Incorporación de PRT-PET liso Vs valor de CBR y expansión.....	87
<i>Ilustración 5:</i> Incorporación de PRT-PET ondulado Vs CBR y expansión.....	90
<i>Ilustración 6:</i> Incorporación de PRT-PET ondulado vs CBR.....	90
<i>Ilustración 7:</i> Granulometría Vs CBR y expansión al 2% de incorporación de PRT-PET .....	106
<i>Ilustración 8:</i> Textura Vs CBR y expansión al 2% de incorporación PRT-PET.....	107
<i>Ilustración 9:</i> Incorporación de PRT-PET según textura Vs CBR.....	108
<i>Ilustración 10:</i> Incorporación de PRT-PET según textura Vs expansión.....	108
<i>Ilustración 11:</i> Suelo natural vs suelo incorporado con PRT-PET según textura en.....	109
<i>Ilustración 12:</i> Suelo natural e incorporado Vs CBR y expansión.....	110



## **Capítulo 1**

### **Planteamiento del Problema**

#### **1.1 Realidad Problemática**

A través del tiempo, se viene investigando y buscando mejorar las propiedades mecánicas de resistencia compresión, tracción, corte de los suelos finos, empleando diferentes técnicas y utilizando una serie de materiales como aditivos biológicos, químicos, orgánicos e inorgánicos, así como también algunos refuerzos sintéticos entre otros.

En las últimas décadas, toman importancia en el mejoramiento del suelo, la utilización de materiales procedentes de los polímeros, entre ellos tenemos las mallas sintéticas y geotextiles, fabricadas con material proveniente del petróleo. Actualmente, observamos un gran crecimiento en la generación de residuos inorgánicos, entre ellos destaca los plásticos que se arrojan a diario como desperdicios en nuestra ciudad y el mundo; es así que el incremento de los residuos plásticos como son principalmente las botellas descartables en la ciudad de Abancay se refleja en el surgimiento de empresas recicladoras y transformadoras de estos. Tal es el caso de Plásticos JORPLAS; por otra parte, también ante este crecimiento los municipios promueven el reciclaje mediante concursos con incentivos de equipamiento en los centros educativos iniciales, primarios y secundarios de nuestra ciudad.

Teniendo en cuenta que el plástico es un material contaminante ambientalmente y mediante el reciclable, se da uso a estos residuos empleándolos como aditivo para generar nuevas alternativas para el mejoramiento de suelos que presenten finos como

limos y arcillas, con ausencia de gravas, suelo con baja capacidad de soporte categorizados como So o S1 con un CBR menor al 6% y que según sea el caso requiere ser cambiada o mejorada, y de esta manera, solucionar problemas de inestabilidad de sub rasantes.

Se debe tener en cuenta que, en la construcción de obras viales, se requiere minimizar en lo posible el movimiento de tierras, debido a que dicha actividad tiene consideraciones ambientales, técnicas y económicas y es por ello antes de tomar alguna decisión sobre la sub rasante se recomienda realizar estudios físico mecánico y así optar por la mejor opción, ya sea de mejorar o cambiar la sub rasante de baja capacidad portante, evitando movimientos de tierra innecesarios. Tal es el caso del suelo a nivel de sub rasante de la prolongación de la Av. Micaela Bastidas que en cierto tramo presenta un suelo limo arcilloso con plasticidad media a baja y que requiere ser mejorado, ya sea con el método sugerido por el Manual de Carreteras, Geología, Geotecnia y Suelos, o con la alternativa que plantea nuestra investigación, que es el mejorar el suelo a nivel de sub rasante con la incorporación de plástico reciclado triturado PET.

Finalmente, al usar material de desecho, contribuimos a la reducción de la contaminación ambiental, dándole un valor agregado a las botellas de plástico reciclado triturado PET mediante el correcto uso como aditivo, para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo a nivel de sub rasante, y lo más importante se da solución al problema que se plantea en la investigación.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿En qué medida influye la incorporación de plástico reciclado triturado – PET en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante en la prolongación de la Av. Micaela Bastidas, Tamburco, Abancay, 2018?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a) ¿En qué medida la granulometría ideal de plástico reciclado triturado – PET influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante?
- b) ¿En qué medida la textura ideal de plástico reciclado triturado – PET influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante?

c) ¿En qué medida la dosificación óptima de plástico reciclado triturado – PET influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante?

d) ¿En qué medida incrementa la capacidad de soporte (CBR) del suelo a nivel de sub rasante con la incorporación de plástico reciclado triturado - PET?

### **1.3 Justificación de la Investigación**

Se justifica al proponer, el uso de nuevas alternativas de solución para el mejoramiento de suelos a nivel de sub rasante de baja capacidad de soporte, en reemplazo a los tradicionales métodos de mejoramiento de suelos sugeridos en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Incorporando plástico reciclado triturado-PET y mediante ensayos de laboratorio, se puede determinar si contribuye a mejorar las propiedades mecánicas del suelo de baja capacidad portante; sus múltiples aplicaciones y su bajo costo hacen que las botellas descartables PET puedan ser acumuladas mediante el "reciclaje", de tal manera que se disminuya la contaminación ambiental como visual y se le de utilidad al plástico para el beneficio económico a un sector de la población y desde luego a la geotecnia vial, evitando así los grandes movimientos de tierra.

### **1.4 Objetivos de la Investigación**

#### **1.4.1 Objetivo general.**

Determinar la influencia de la incorporación de plástico reciclado triturado – PET en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante en la prolongación de la Av. Micaela Bastidas, Tamburco, Abancay, 2018.

#### **1.4.2 Objetivos específicos.**

- a) Determinar la granulometría ideal de plástico reciclado triturado – PET que influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.
- b) Determinar la textura ideal de plástico reciclado triturado – PET que influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.
- c) Determinar la dosificación óptima de plástico reciclado triturado – PET que influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

- d) Determinar el incremento de la capacidad de soporte (CBR) con la incorporación de plástico reciclado triturado - PET.

## **1.5 Limitaciones**

### **1.5.1 Limitaciones geográficas.**

La presente, se limita geográficamente a suelos a nivel de sub rasante, específicamente en la prolongación de la Av. Micaela Bastidas del sector de Bancapata del distrito de Tamburco, ya que en la composición geológica del suelo en estudio predomina la presencia de suelo limo arcilloso.

### **1.5.2 Limitaciones de diseño.**

El estudio de investigación se limita a la incorporación de PRT-PET, cuyos porcentajes son: 1% al 5% en textura lisa y 1% al 6% en textura ondulada respecto al peso seco del suelo.

### **1.5.3 Limitaciones de ensayos de laboratorio.**

Los ensayos de laboratorio para la presente tesis se limitan a la realización próctor modificado - método A y CBR, ya que son ensayos indispensables para el estudio de sub rasante. En la actualidad estos ensayos son accesibles en el laboratorio de materiales de la Universidad Tecnológica de los Andes, aclarando que existen ensayos que determinan con mayor precisión las propiedades físicas y mecánicas de los suelos como son el módulo de resiliencia, módulo dinámico, equipos con los cuales no se cuenta al 100% en el laboratorio y en otros casos no existen en la región.

## **1.6. Delimitación**

### **1.6.1. Espacial.**

El espacio geográfico en el que se desarrolla la investigación es la prolongación de la Av. Micaela Bastidas, una trocha carrozable que une los sectores de Bancapata, Soccoshuayco y Kerapata del distrito de Tamburco de la provincia de Abancay.

### **1.6.2. Temporal.**

La investigación se realizó durante 6 meses, a partir el mes de septiembre del 2018, hasta el mes de febrero del presente año.

## **Capítulo 2**

### **Marco Teórico**

#### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

##### **2.1.1 A nivel internacional.**

Valle, W. (2010). Realizó la investigación: *“Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos”*. En la Universidad Politécnica de Madrid. España. Resumiendo:

Tuvo como objetivo, aprovechar al máximo el terreno con presencia de yesos y sulfatos solubles, en la construcción de fondos de desmonte y terraplenes, con métodos de estabilización adecuados, para esto se analizan métodos experimentales desarrollados en un número de 4. (p.02).

Para deducir el método a utilizar, realizó una serie de ensayos de laboratorio y así llegó finalmente al método de estabilización con cemento tipo v, ya que este disminuye la plasticidad, retracción lineal, e hinchamiento libre del suelo y al mismo tiempo incrementa la resistencia del terreno. (p.36).

El método empleado en esta investigación es experimental, ya que se llevó a cabo solo ensayos en condiciones controladas, debiendo ser ensayos probados en condiciones reales, es decir puestas en obra, así verificar la efectividad real en campo. (p.59).

Llegó a la conclusión, que un modelo de todos los métodos explicados en esta tesis de investigación, es mejorar las propiedades mecánicas que consigan reducir esencialmente los aportes exteriores de material o de la eliminación de esta vía vertedero. (p.59).

Muñoz, L. (2012), realizó la investigación: “Estudio del uso del polietileno tereftalato (PET) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga”, realizado en la Universidad Nacional Autónoma de México. Se tuvo:

Planteó como objetivo principal la comprensión del comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato PET sometidos a esfuerzos de compresión estáticos, además de conocer cómo influye en la densidad del material, la velocidad de desplazamiento y el confinamiento sobre dicho comportamiento. (p.09).

El método utilizado es el experimental, mediante la recolección de información y ensayos de laboratorio para determinar las propiedades de físicas, químicas y biológicas del polietileno tereftalato. (p.13), en la primera fase se hicieron pruebas a compresión estática no confinada a distintos tipos de envases para lograr una caracterizarlos y determinar las 4 mejores opciones, tomando en consideración los parámetros: mejor relación peso-resistencia, mayor accesibilidad y menor deformación. Posteriormente se rellenó con bolsas plásticas, para realizar pruebas a compresión simple y poder comparar resultados con los obtenidos de los ensayos para los envases vacíos. (p.72).

En la segunda fase estudió el comportamiento en conjunto de los envases. Para ello se realizó pruebas a grupos conformados por 6 unidades de botellas en 3 diferentes disposiciones. Estos ensayos se hicieron bajo condiciones de velocidad de desplazamiento variable para comparar la relación que existe entre dicho factor y la resistencia del material. Con los datos obtenidos en el resultado propuso el modelo de tendencia del comportamiento según cada tipología de envase, así como para los 4 envases juntos. Adicional a lo anterior, en esta fase evaluó el efecto de carga sostenida Creep en el comportamiento del material. (p.92).

Finalmente llegó a la conclusión que los envases de agua mineral y bebidas carbonatadas y poseen mayor resistencia y estos envases rellenos en grupo incrementan su resistencia hasta un 140% aunque su peso aumenta y por razones

de variación temperatura sufre una deformación máxima instantánea de 0.25mm manteniéndose en  $\pm 0.2$ mm valor que resulta siendo despreciable; termina aportando que según un análisis de cargas a una vivienda de un nivel con un área aproximada de 100m<sup>2</sup> estos envases rellenos y en grupo podrían soportar su peso. (p.115).

López T, Hernández J, Horta J, Coronado A. & Castaño V. (2010). realizaron la investigación: "*Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas*", Universidad Autónoma de Querétaro. México.

El objetivo de este estudio; es la utilización de un polímero denominado Poliuretano utilizado de manera común en la industria de la construcción para reparación de malecones, sellado de grietas, y para reforzar suelos granulares. Su viscosidad y humedad son mínimas y de color ámbar. Las combinaciones suelo-polímero se realizaron al 2, 4, 6, 8 y 10%, respecto al peso del suelo seco. De los resultados de las pruebas obtenidas, determinó el uso de la mezcla suelo-polímero al 5%, como combinación ideal, además que, en un mayor porcentaje, no se obtuvo cambios significativos (p.164).

El método de estudio es experimental, que consistió en estudiar la adición de un polímero al suelo expansivo para así determinar qué tan efectivo es en la disminución del cambio volumétrico, problema que estos suelos presentan al hidratarse; para ello, se realizaron distintos ensayos que se detallan en el desarrollo de la investigación. (p.164).

Llegó a la conclusión que las propiedades de resistencia no mejoran con la mezcla suelo-polímero, que no es esencial en suelos expansivos por presentar altas resistencias frecuentemente; pero se tuvo como resultado significativo en esta investigación, lo referido a la expansión. Los resultados muestran que la combinación suelo-polímero reduce la expansión alrededor del 40% respecto a la expansión inicial del suelo natural; de las pruebas de consolidación practicadas, se tiene que el polímero reduce el coeficiente de permeabilidad; impidiendo la entrada de agua, reduciendo el cambio de volumen del suelo expansivo. Además de ello, el suelo con polímero es menos compresible que el natural, lo que redujo de manera significativa posibles asentamientos (p.168).

López, J. (2013). realizó la investigación: “*Suelos arcillosos reforzados con materiales de plástico reciclado realizado*” en la Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia.

Planteó como objetivo general analizar cómo cambia la resistencia al corte de un suelo arcilloso cuando a este se le adiciona fibras de plástico reciclado. (p. 24).

El método aplicado en este proyecto de grado es experimental y las técnicas utilizadas son la recolección de datos y ensayos de laboratorio en los que se busca el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos, adicionando fibras de tamaño entre 3,0 y 5,0 cm de PET. (Polietileno Tereftalato) reutilizado. Preparó 48 moldes de suelo con cuatro porcentajes distintos de fibra de PET (0,2%, 0,5%, 1,0% y 1,5% con referencia al peso seco del suelo). A través de ensayos de compresión simple se determinó el cambio ocasionado en el suelo cuando se adicionan las fibras. (p.26).

Los resultados que obtuvo a través de esta investigación indicaron que para proyectos de ingeniería el porcentaje ideal de adición es de 0.2 y 2.0%, los resultados más favorables a los que se llegó con una humedad optima de 21.52% son los siguientes; con la fibra de 3cm en un porcentaje de 1.5% se logra incrementar la cohesión a 43.3% y la ductilidad alcanza una deformación unitaria del 5%, con un aumento en compresión de 29.43 kPa, mientras que con fibra de 5cm a 1.5 se incrementa a 41.9% y la ductilidad alcanza una deformación unitaria del 4% con un aumento en compresión de 30.45 kPa. (p.67).

Concluyó que la adición de fibras a la muestra sin alterar mejora las propiedades del suelo. (p.67).

Sherwell, G. (2014), realizó la investigación: “*Estudio del uso del polietileno tereftalato (Pet) como material de refuerzo de estructuras terreas conformadas por suelo fino*” Realizado En La Universidad Nacional Autónoma de México, plantea como objetivo:

El realizar el estudio del comportamiento del suelo fino con fibras de PET aleatoriamente orientadas como elemento de refuerzo para tener un mayor aprovechamiento y eficiencia de los desechos, tomando como referentes investigaciones anteriores y mediante la experimentación en laboratorio. (p.09).



Realizó ensayos al suelo fino y a las fibras de plástico de polietileno tereftalato para conocer sus propiedades índices y poder establecer las características y otros aspectos considerados para la realización de las pruebas obteniendo de los ensayos valores iniciales los cuales serán mejorados con la inclusión de fibras de 15 x 15mm. (p.54).

En el comportamiento de esfuerzo deformación se observa que los ensayos de compresión triaxial realizados sin reforzamiento fibroso llegan a la falla con una deformación menor del 15% de su altura inicial; dicha falla obtenida es una falla frágil. Sin embargo, los ensayos realizados con reforzamiento de fibra de PET discreta no llegan a la falla. También se observa que, a mayor deformación de esta, mayor es el incremento de la pendiente de la curva esfuerzo deformación a la vez que la capacidad de carga es también mayor; pero a mayor cantidad de fibra discreta de PET, existe un decremento en la rigidez de la probeta, es decir, mayor es la ductilidad que presenta la probeta ; Para todos los casos de suelo reforzado con fibra PET entre 0.10, 0.30, 0.60 y 1.0% con una deformación de 10% y 15% de la deformación de la altura inicial de la probeta se obtuvo una mejora promedio de 57% de capacidad portante.(p.91).

Concluyó que el uso de fibras discretas aleatoriamente distribuidas de polietileno tereftalato (PET) como material de reforzamiento, afectó positivamente en el comportamiento del suelo limoso de alta plasticidad. (p.92); Determinó así, que el suelo limoso (MH) reforzado con fibras discretas de PET distribuidas aleatoriamente, puede ser utilizado en escenarios donde presenten hundimientos diferenciales, no se requieran grandes capacidades de carga y se busque tener un suelo impermeable (p.92).

### **2.1.2 A nivel nacional.**

Ugaz, R. (2006), realizó la investigación: *“Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de la subrasante”*. Realizado en la Universidad Nacional de ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Lima – Perú.

El objetivo de esta investigación, fue el estudio del comportamiento de diversos estabilizadores químicos en diferentes climas, aplicados en suelos de distintas partes del Perú, los cambios producidos en la capacidad de soporte,

compresibilidad, durabilidad, permeabilidad y estabilidad volumétrica en el corto y largo plazo.

El método utilizado fue descriptivo y deductivo, realizó ensayos en laboratorio y campo, para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo tanto antes y después de la aplicación del agente estabilizante.

Concluyó la investigación, referido a las propiedades mecánicas, con el estabilizador de suelos con RBI-grado 81, alcanzan las mejores resistencias en CBR alcanzando un incremento de 161%, seguidas del estabilizador de suelos con Aid que incremento el CBR en 11%, mientras que con cloruro de calcio (QUIM KD-40), se tienen las resistencias más bajas de 37% de incremento. En cuanto a costos, con el estabilizador de suelos con RBI-grado 81, se tiene mayores costos de estabilización, mientras que, con el estabilizador de suelos con cloruro de calcio (QUIM KD-40), se tiene los costos de estabilización más bajos.

Oviedo, R. (2013), en su artículo: *“Mejoramiento de subrasante de baja capacidad portante por medio de la aplicación de correlación deflectométrica”*, revista *Proyecta*. Ed.21. Lima-Perú, recuperado de [https://issuu.com/construccionyvivienda/docs/proyecta\\_21/42](https://issuu.com/construccionyvivienda/docs/proyecta_21/42).

Tuvo como objetivo, mejorar la subrasante, ya que esta debe tener capacidad de respuesta que garantice el pavimento a lo largo de su vida útil, la cual debe estar de acuerdo al estudio y especificaciones técnicas del proyecto; referente al grado de compactación y deflexión máxima admisible. Pero, muchas veces no se cumple en algunos casos puntuales o aislados, resultando inevitable su mejoramiento. (p.04).

El método que utilizó, en la investigación es experimental, ya que se realizan ensayos de laboratorio y se plantea el análisis teórico-práctico que determine el espesor conveniente de reemplazo del material inadecuado de la subrasante, en cuanto al valor de CBR exigido, para cumplir con el diseño estructural del pavimento. (p.25).

En conclusión, se sabe que, para que la estructura de un pavimento se comporte apropiadamente y pueda cumplir su período de diseño a nivel de subrasante, debe

registrar una deflexión no mayor a 2.0mm. para cargas estáticas transmitidas por un eje estándar de 80 KN. Esta deflexión máxima, bajo carga estática, se mide con la Viga Benkelman. Para mayores deflexiones, se procederá con mejorar la subrasante. (p.98).

Ramos, G. (2014), en su investigación: “Mejoramiento de sub-rasantes de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, realizado en la Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo”. Planteó lo siguiente:

Su objetivo fue, mejorar la subrasante de baja capacidad portante con el uso de polímeros reciclados y darle un valor agregado al polímero PET (Tereftalato de Polietileno), para ser incorporado como un aditivo en el mejoramiento de suelos de baja capacidad portante. Se tomó como muestra parte de la sub-rasante de la carretera no pavimentada Paucará-Paccho Molino en el distrito de Paucará-Acobamba-Huancavelica. Se tomo en referencia el "Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos" (p.04).

El método específico de investigación es experimental, ya que la investigación. se basa en observar el comportamiento de fenómenos inducidos o manipulados en laboratorio, facilitando la recolección de datos (p. 47).

Concluyó, que la subrasante con presencia significativa de arcilla presenta características particulares que categorizan al suelo con baja capacidad portante e inestabilidad volumétrica. Esto se debe a su composición tanto física, mecánica y química. El problema del suelo de subrasante es la presencia significativa de arcillas que lo determina como plástico y de granulometría mal graduada, siendo conveniente que este sea bien graduado, de granulometría continua y no uniforme, con presencia de gravas, arenas y material fino, ya que cada uno desempeña una función determinada. Al añadir estas partículas de polímeros reciclados (PR), obtenidos las botellas descartables PET, se mejora las propiedades físicas mecánicas del suelo para subrasante es decir la capacidad portante.

Al adicionar partículas de plástico reciclado con dimensiones entre los 5 y 10 mm de forma rectangular, al 1.5% respecto al peso seco del suelo, se observa un incremento porcentual en el CBR de 26%, esto se debe a que el material PET es

resistente y al incorporarlo al suelo, hace que haya fricción y por tanto presente también una mayor resistencia al corte. (p.103).

Leiva, R. (2016), realizó la investigación: “Utilización de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa, progresiva Km 0+000 - Km 0+100, distrito de Orcotuna, Concepción” en la Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo”. Planteó:

Como objetivo de investigación, determinar la influencia de las bolsas de polietileno en el suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción, esto mediante las propiedades físicas y mecánicas, la dosificación y la influencia en el diseño del pavimento flexible. (p.03).

El método que empleó es la observación, mediante el cual se pudo percibir deliberadamente el tipo de suelo de sub rasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna; es inductivo, se inicia con la observación de casos particulares a casos generales, aplicados en el laboratorio al adicionar de bolsas de polietileno en el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante; es comparativo, ya que se puede comparar los resultados de los ensayos obtenidos en el laboratorio antes y después de la adición de bolsas de polietileno (p. 35).

concluyó, que la incorporación de bolsas de polietileno fundido como agente estabilizador mejora las propiedades físicas, mecánicas de la sub rasante, recomendándose como dosificación óptima respecto al peso seco del suelo el 6% de incorporación de partículas de diferentes tamaños q pasan la malla 3/4” y son retenidos en la malla 3/8”, el CBR natural del suelo arcilloso inicial es 4.15% al 95% de la MDS, al incorporar bolsas fundidas de polietileno al 6%, incrementó el CBR a 7.98% al 95% de la MDS, esto explica que las bolsas fundidas de polietileno formando grumos le dan al suelo propiedades de flexo compresivas asi rcomo reducir la expansión en 36.85%. (p.100).

Vargas N. (2017). En su investigación: “Efecto de la adición de fibra de polímeros reciclados en el valor del CBR de suelos granulares en pavimentos”, Universidad Continental de Huancayo. Desarrollo:

Como objetivo, establecer el efecto causado en el valor del CBR al adicionar fibra de polímeros reciclados en suelos granulares en pavimentos; además, de la determinación del efecto de la máxima densidad seca en el óptimo contenido de humedad con la adición de fibra de polímeros reciclados. (Pág.3)

El método aplicado en esta investigación es cuantitativo, mediante la recolección de datos prueba la hipótesis, se basa en mediciones numéricas y determina modelos el comportamiento y la prueba de teorías, como el diseño experimental. El desarrollo de la investigación se apoya en la observación de situaciones que ocurren de manera intencional en el laboratorio al incorporar fibras de polímeros reciclados bajo control. El diseño preexperimental o pretest está definido como el resultado de los ensayos de laboratorio realizada al suelo natural para subbase sin la adición de aditivos, y diseño postest representa los resultados que se obtienen con dosificaciones de polímero reciclado en porcentajes distintos (Pág. 72,73)

Llegó a la conclusión, que el uso de polímeros reciclados en la estabilización de suelos granulares, establece una opción para fomentar el uso de materiales contaminantes que demoran un promedio de 150 a más años en degradarse. Esta consecuencia negativa es aprovechada para estabilizar los suelos; por otra parte, se recomienda implementar procesos industriales con el fin de facilitar la recolección de la fibra PET, disminuir costos y poder ser una alternativa competitiva con métodos conocidos (Pág. 131,132).

### **2.1.2 A nivel regional y local.**

Huamaní, Z & Condori, V. (2018). En su investigación: “Aplicación del estabilizador Z con polímero en el incremento valor del CBR del material utilizado como afirmado en la carretera departamental AP-103, tramo puente Ullpuhuaycco - Karkatera (l= 14.050 kms) Abancay-Apurímac 2018” de la Universidad tecnológica de los andes, Abancay, Apurímac, Perú.

El objetivo principal de esta tesis, fue la determinación de la aplicación del estabilizador Z con polímero sintético en el incremento del valor del CBR del material utilizado como afirmado en la carretera departamental AP-103-tramo puente Ullpuhuaycco - Karkatera Abancay-Apurímac en una longitud de 14.050 km.

Llegaron a la conclusión que, se demuestra mediante la experimentación en laboratorio que el valor de CBR, con la muestra patrón al 95% fue de 12.55%, al incorporar polímero incremento a 13.09%, con la muestra patrón al 100% alcanzo un incremento de 15.44%, incorporándole polímero incremento a 18.57%, se demostró también que este polímero incrementa positivamente en la curva esfuerzo penetración en vista que para 0.1 pulg. de penetración en el suelo patrón es 9.88 kg/cm<sup>2</sup>, adicionando polímero es 10.54 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que para 0.2 pulg de penetración fue de 12.82 kg/cm<sup>2</sup>, adicionando polímero es 14.08 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. (p.90).

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Sub rasante.**

Esta referido al suelo de fundación (suelo natural, compactado y libre de vegetación) sobre el cual se apoya toda la estructura del pavimento. Cuyo material puede ser del tipo granular como afirmado, cribados o seleccionados, que resulta de cortes y/o material extraído de canteras.

Los desplazamientos y los agrietamientos de los pavimentos por lo general son producidas en esta capa, gran parte de deflexiones que ocurren en la superficie de un sea de una buena caracterización. Por tal razón es muy importante analizar a la sub rasante, sus propiedades físicas (granulometría, límites de Atterberg), propiedades mecánicas (próctor y CBR), propiedades hidráulicas (coeficiente de expansión). (Melendez, 2013).

En ingeniería se conoce que función principal de la sub rasante, es el soporte de las cargas que transmite constantemente la estructura del pavimento y darle sustentación a la misma. Existen factores importantes que se consideran en el diseño de pavimentos, los cuales son: El tránsito, el clima, materiales disponibles y la sub rasante.

El tránsito, es importante para dimensionar los pavimentos, las cargas más pesadas por eje esperadas en el carril de diseño durante el periodo de diseño adoptado.

El clima, se debe tener en cuenta el efecto de las lluvias, así como los constantes cambios en la temperatura, las lluvias por su acción directa contribuyen a la elevación del nivel freático además que influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de sub rasante.

Los materiales disponibles, que determinaran la elección más adecuada de la estructura del pavimento conveniente económica y técnicamente.

Finalmente, el factor de estudio de nuestra investigación, que es la sub rasante. Precisamente de la calidad de esta capa depende mucho el espesor que deberá tener el pavimento, sea este flexible o rígido. La capacidad de soporte o resistencia a la deformación y los cambios de volumen de un suelo es usada como parámetro de medición y evaluación para sub rasante (Montejo, 2002, págs. 229,231).

Montejo (2002) afirma: Constantemente el ingeniero se enfrenta con suelos de características especiales que tiene que utilizar para una obra determinada, por ello se ve obligado a tomar alguna de estas acciones:

- Aceptar el material según se encuentre, considerando las restricciones de calidad impuestas en el diseño.
- Eliminar el material que no satisface o evitar usarlo, y sustituirlo por uno nuevo de características convenientes.
- Mejorar las propiedades del material existente para hacerlo útil y que cumpla los estándares de calidad de material que se exige (p. 75)

Se les considerará suelos aptos para sub rasante, aquellos que presenten un valor de CBR mayor o igual a 6%, de resultar los valores menores, se procederá a la sustitución del material propio o de lo contrario a su mejoramiento o estabilización.

Tabla 1  
*Categorías de sub rasante*

Categorías	CBR
So: Sub rasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Sub rasante insuficiente	CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Sub rasante Regular	CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Sub rasante buena	CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Sub rasante muy buena	CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Sub rasante excelente	CBR ≥ 30%

*Fuente: Manual de Carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección: Suelos y pavimentos. Lima, Perú. 2014.*

La Tabla 1, muestra las categorías de clasificación de la sub rasante, según la capacidad de soporte del suelo en porcentaje.

### 2.2.1.1 Características fundamentales a tomar en cuenta de la sub rasante

➤ *Humedad natural:*

La determinación del contenido de humedad natural nos permitirá comparar con el contenido de humedad óptima que se obtendrá en los ensayos próctor para obtener el CBR del suelo. Si la humedad natural resultante fuera igual o inferior a la humedad óptima, el especialista planteará la compactación normal del suelo y la aportación de la cantidad de agua necesaria. Pero si la humedad natural resultara superior a la humedad óptima y, de acuerdo a la saturación del suelo, se planteará incrementar la energía de compactación, sustituir el material saturado o airear el suelo. (MTC, 2016, pág. 121).

Una de las características más trascendentales de los suelos es el contenido de humedad natural, pues en suelos finos la firmeza de los suelos a nivel de sub rasante es mucho más específica y está muy relacionada con las condiciones de humedad y densidad que tengan estos suelos.

➤ *Granulometría:*

Son los granos que conforman un suelo, van desde los más grandes que se pueden coger fácilmente con las manos, hasta los granos más pequeños como limos y arcillas. A partir del cual se puede evaluar con mayor o menor aproximación las de más propiedades necesarias para la clasificación de suelos. (MTC, 2014, pág. 30).

La apropiada distribución granulométrica asegura un excelente comportamiento del suelo frente al efecto de cargas. En tal sentido el suelo necesita un porcentaje mayor de grava que pueda resistir las cargas, también un porcentaje definido de arena que deben llenar vacíos generados entre gravas, y por último otro porcentaje de finos para alcanzar cohesión entre los materiales.

Tabla 2

*Clasificación de suelos según tamaño de partículas.*

Tipo de material y tamaño de las partículas	
Grava	75 mm - 4.75 mm
Arena gruesa	4.75 mm - 2.00 mm
Arena media	2.00 mm - 0.425mm
Arena fina	0.425 mm - 0.075 mm
limo	0.075 mm - 0.005 mm
Material fino	Arcilla Menor a 0.005 mm

*Fuente. Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección: Suelos y pavimentos. Lima, Perú. Abril 2014.*



La Tabla 2, muestra la clasificación de suelos según el tamaño de sus partículas; gravas, arenas y material fino, también se detalla los diámetros de los tamices por donde pasan las partículas para su clasificación.

#### *La curva granulométrica.*

Es una gráfica transcendental, que nos proporciona información sobre su gradación y comportamiento del suelo. Si analizamos la curva granulométrica a detalle, veremos la regularidad de esta, donde podremos diferenciar dos tipos de granulometría. (Bañón, 2010, pág. 7).

- *Granulometría discontinua:* Muestra una curva con picos y trayectos planos, en los cuales se observa que en diversos tamices continuos no hay retención de partículas, se prueba que la diversificación de tamaños es escasa. Un claro ejemplo de suelos mal graduados son las partículas finas. (Bañón, 2010, pág. 7)
- *Granulometría continua:* Los tamices por lo general retienen material, es así que la curva muestra un trazo suave y continuo, este es el caso de suelos bien graduados. (Bañón, 2010, pág. 7)

#### *Coefficiente de curvatura.*

Es la relación del diámetro efectivo por donde pasa el 30% en peso de la totalidad de la muestra al cuadrado, entre el producto de los diámetros efectivos por donde pasa el 60% y 10%.

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \dots(1)$$

*D<sub>x</sub>*: Abertura del tamiz o diámetro efectivo (mm).

#### *Coefficiente de uniformidad.*

Es la relación entre los diámetros y tamices por donde atraviesa el 60% de las partículas entre el 10% del peso del total de la muestra analizada, entonces, si *C<sub>u</sub>* es menor a 2, este se reconoce como un suelo muy uniforme y de ser menor a 5, se considera como suelo uniforme. (Bañón, 2010, pág. 8)

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots(2)$$

➤ *Índice de grupo:*

Es adoptado muy comúnmente por el método AASHTO para clasificar los suelos, se basa por lo general en los límites de Atterberg. (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 1985)

Así mismo se señala, que para valorar la calidad del suelo como material válido para sub rasante en vías, se considera un dígito denominado índice de grupo (IG). (Braja, 2013, pág. 37)

Para la determinación del índice de grupo (IG) se utiliza lo siguiente:

$$IG = (F - 35) ((0.2 + 0.005 (LL - 40)) + 0.01 (F - 15) (IP - 10) \dots (3)$$

Dónde:

F = Porcentaje pasante la malla N°200.

LL = Límite Líquido

IP = Índice de Plasticidad

“El índice de grupo es un valor entero positivo, comprendido entre el valor 0 y el valor 20 o más. Cuando este valor resulta negativo, se considera como 0. Un IG cero se trata de un suelo muy bueno y un IG igual o mayor a 20 se trata de un suelo no utilizable para carreteras. En general, la calidad del comportamiento de un suelo como material para subrasante es inversamente proporcional al IG”; el IG es uno de los factores importantes para clasificar el suelo según el método AASHTO, este método es usado para clasificar suelos en carreteras. (MTC, 2014, pág. 32).

Tabla 3  
*Índice de grupo y suelo de sub rasante.*

Índice de grupo	Suelo de sub rasante
IG > 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 - 2	Bueno
IG está entre 0 - 1	Muy bueno

*Fuente. Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección: Suelos y pavimentos. Lima, Perú. Abril 2014.*

➤ ***La plasticidad.***

“La plasticidad resulta de la diferencia porcentual entre el límite líquido y el plástico. El Índice plástico representa el rango de humedad en el cual una fracción fina se encuentra en estado plástico”. (Braja, 2013). Son límites de Atterberg:

*El límite líquido.*

Es definido como el contenido de humedad, expresado en porcentaje en relación al peso de la muestra secada al horno, se realiza mediante el procedimiento Casagrande, este ensayo consiste en determinar la cantidad mínima de agua que pueda tener la pasta de una fracción pequeña de suelo seco que pasa la malla No 40; en el año 1932, Casagrande afirmó: “Que un golpe en el depósito estándar para L.L le ha de corresponder una resistencia cortante aproximadamente de 1 g/cm<sup>2</sup>; de tal modo el L.L de un suelo de textura fina, proporciona la cantidad de agua necesaria para la cual la resistencia cortante del suelo es aproximadamente de 25 g/cm<sup>2</sup>. El L.L, se asume como el valor de la humedad, en la que la cohesión resulta aproximadamente 2 kpa.

*El límite plástico.*

Es la cantidad de humedad, expresado en porcentaje en relación al peso seco de la muestra, para determinar el L.P, por lo general se hace uso del material sobrante del L.L que fue mezclado con agua, a la cual se le quita la humedad por mezclado hasta lograr una mezcla plástica fácilmente manejable y se forman pequeñas bolitas. Luego sirviéndonos de una placa de vidrio con aplicación de cierta presión que nos permitan formar rollos muy delgados de 3.2mm de diámetro hasta que se desmoronen, el L.P es el límite inferior de la etapa plástica del suelo. (Braja, 2013)

Se denomina índice de plasticidad (I.P) a la resta entre el LL y el LP, que muestra el margen de humedad dentro de la cual está en estado plástico conforme lo precisan los ensayos. Tanto el L.L como el L.P son dependientes del tipo y de la cantidad de arcilla; por consiguiente, el I.P depende por lo general de la cantidad de arcilla del suelo. (MTC, 2016, pág. 73)

$$IP = LL - LP \dots(4)$$

El I.P facilita la realización de una buena clasificación del suelo, un índice de plasticidad considerable determina que se trata de suelos arcillosos, muy parecido al suelo de la presente investigación. Por el contrario, un índice de plasticidad bajo determina que se trata de suelos poco arcillosos. (MTC, 2014, pág. 31).

Tabla 4

*Clasificación de suelos según índice de plasticidad.*

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
7 < IP < 20	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

*Fuente. Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección: Suelos y pavimentos. Lima, Perú. Abril 2014.*

➤ **Clasificación de los suelos:**

"Una conveniente y correcta clasificación permitirá al profesional responsable, tener idea primigenia sobre el comportamiento que se espera de un suelo como cimiento de la estructura del pavimento". (Bañón, 2010).

Para determinar el comportamiento y las características del suelo, se podrá evaluar con el conocimiento de los resultados obtenidos de granulometría, plasticidad e índice de grupo para luego clasificar los suelos.

La clasificación del suelo se realizará en base al cuadro mostrado. La misma que permitirá acercarnos al comportamiento cercano de los suelos, que ayudará a definir sectores semejantes desde el punto de vista de la geotecnia.

Para clasificar los suelos tenemos diversos métodos; AASHTO (Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes), USDA (Sistema de Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), ASTM y el FAA (Sistema de la Agencia Federal de Aviación); en caminos se emplea la metodología AASHTO. Para clasificar suelos se requiere realizar pruebas en laboratorio entre ellas contenido de humedad, granulometría y los límites de Atterberg, es importar señalar el símbolo de la clasificación, así como describir el tipo de suelo. (Bowles E., 1981, pág. 69)

Tabla 5

Clasificación de suelos – método AASHTO.

Clasificación general	Materiales Granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N°200)							Materiales limo-arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz N°200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5, A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 10	50 max										
N° 40	30 max	50 max	51 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
N° 200	15 max	25 max	10 max								
Características de la fracción que pasa el tamiz N°40											
Limite líquido, LL				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Limite plástico, LP	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Índice de grupo, IG	0		0	0			4 max	8 max	12 max	16 max	20 max

Fuente. Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección: Suelos y pavimentos. Lima, Perú. Abril 2014.

➤ **Ensayos CBR (California Bearing Ratio):**

La capacidad de soporte de una sub rasante está definida, como la carga que un suelo puede soportar sin producir deformaciones excesivas. El indicador que lo cuantifica es el índice CBR. Después de que el suelo haya sido clasificado mediante el método AASHTO, se obtendrá la estratigrafía del suelo para cada sector semejante, para establecer los suelos que dominaran el diseño posterior a este se efectuará un cronograma de ensayos para establecer el CBR, al 95% de la MDS y a una penetración de carga de 1". (MTC, 2014, pág. 35)

Tabla 6  
*Calificación general de suelos a nivel de subrasante.*

CBR	Usos	Clasificación general	Sistema de clasificación	
			SUCS	AASHTO
CBR < 3 %	Subrasante	Inadecuada	OH, CH, MH OL	A-5, A-6, A-7-6
CBR ≥ 3 % A CBR < 6 %	Subrasante	Insuficiente	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A-4, A-5, A-6, A-7-6, A-7-5
CBR ≥ 6 % A CBR < 10 %	Subrasante	Regular	CL, ML	A-2-7, A-4
CBR ≥ 10 % A CBR < 20 %	Subrasante	Buena	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6, A-2-7
CBR ≥ 20 % A CBR < 30 %	Subrasante	Muy buena	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-3
CBR ≥ 30 %	Subrasante	Excelente	GW, GM	A-1-a, A-1-b, A-3

Fuente. *Manual de Laboratorio de suelos en ingeniería Joseph Bowles, 1981.* Elaboración propia.

### 2.2.3 Polímeros.

Es una sustancia que contiene grandes moléculas conformadas por una cantidad de pequeñas unidades repetitivas, denominados monómeros. A la cantidad de monómeros repetitivos en una gran molécula se denomina grado de polimerización. La mayoría de las sustancias orgánicas presentes en la materia viva son polímeros así tenemos, la madera, las proteínas, la quitina, el caucho y las resinas; así como gran variedad de productos plásticos, los adhesivos, las fibras (nylon, rayón), la porcelana y el vidrio. (Beltrán y Marcilla, 2012).

Un polímero es no reversible, proviene del petróleo que al procesarlo con antimonio se obtiene el PET en partículas diminutas. Su degradación es dificultosa, demorándose un promedio de 700 años, los microorganismos existentes no poseen mecanismos para combatirlas, debiendo esperar a que los enlaces químicos entre los átomos del plástico comiencen su descomposición. (Crawford et. al 2013)

De acuerdo a su origen, se clasifican en naturales o sintéticos, los polímeros sintéticos poseen por lo general entre uno y tres tipos distintos de unidades repetitivas, y los polímeros naturales o biopolímeros como la celulosa, el ADN o las proteínas, presentan estructuras de mayor complejidad. (Beltrán y Marcilla, 2012).

### 2.2.3.1 Identificación de los envases.

Existen un gran número de envases de polímeros que corresponden a productos muy diferentes, dependiendo de su materia prima o según el proceso de fabricación y por el uso. Para ello, se estableció códigos de seguridad en el uso de estos, con la finalidad de facilitar su clasificación e identificación de cada polímero, Es así que tenemos 7 grupos de tipos de envases, que nos permiten fácilmente identificarlos dependiendo del material que está hecho un envase polimérico. Así tenemos:

- Polietileno de baja densidad (PEBD)
- Polietileno de alta densidad (PEAD)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Polietileno tereftalato (PET) y Otros

	<b>PET - Tereftalato de polietileno</b> Botellas de bebidas, agua, salsas y condimentos, envases de aceite, cosméticos y medicamentos.	
	<b>PEAD - Polietileno de alta densidad</b> Bolsas de compras, tuberías para agua, baldes, botellas de lácteos, botellas de shampoo, suavizantes y detergentes.	
	<b>PVC - Policloruro de vinilo</b> Tarjetas bancarias, lonas y carteles publicitarios, calzado deportivo, suelas de todo tipo de calzado, envoltura para golosinas, cables, hules y artículos para oficina. botellas	
	<b>PEBD - Polietileno de baja densidad</b> Bolsas para alimentos congelados, bolsas de compras, sacos industriales, cubetas para hielo, bolsas para suero y tapas flexibles.	
	<b>PP - Polipropileno</b> Vajilla reusable para microondas, elementos de cocina, contenedores para yogurt, mamilas, tapas en general, vasos no desechables y hieleras.	
	<b>PS - Poliestireno</b> Cajas para huevos, tazas, platos, bandejas y cubiertos desechables, envases de helado, ganchos para ropa, peines, cepillos y bolígrafos.	
	<b>OTROS -</b> Discos compactos, gabinetes de aparatos electrónicos, lentes de sol y recetados, lámparas para automóviles, teléfonos y juguetes. Policarbonatos, empleados en garrafas y biberones	

Figura 1: Tipos de polímeros e identificación plásticos reciclados

Fuente. [Herbolarioalicante.es/materiales-materiales-en-contacto-con-los-alimentos-en-contacto-con-los-alimentos](http://Herbolarioalicante.es/materiales-materiales-en-contacto-con-los-alimentos-en-contacto-con-los-alimentos).

### ***2.2.3.2 Estructura de los polímeros.***

La estructura de polímeros se estudia considerando dos niveles: La estructura química referida a la construcción de moléculas individuales y la estructura física referida al orden de las moléculas en relación a otras. Dependen significativamente de la estructura química y a su vez determinan cómo se comporta el material en su procesamiento y durante su vida útil.

#### *Plástico.*

En su significado general se denomina como plástico, al elemento conformado por estructuras y naturalezas diferentes que no tienen un punto exacto de ebullición y poseen un intervalo de temperaturas, propiedades de elasticidad y flexibilidad que les permitan ser moldeadas y a la vez tomar diferentes formas y aplicaciones. pero, en sentido específico, indica a algunos tipos de materiales sintéticos que a través de fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales.

Los plásticos se identifican por tener elevada relación, resistencia/densidad, es un excelente aislador térmico y eléctrico y posee alta resistencia ante los ácidos, álcalis y disolventes. Están compuestas por grandes moléculas pudiendo ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, estando sujetas a la tipología del plástico. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas (se suavizan al estar expuestas a mayores temperaturas), no obstante que las entrecruzadas son termo endurecibles (se rigidizan al estar expuestas a mayores temperaturas); si bien su composición presenta condiciones mínimas de peligrosidad gran parte de estos no constituyen un problema para el ambiente, pero sí constituyen un riesgo por su dificultad al no degradarse con facilidad. Contrario a lo que se observa con la madera, el papel, las fibras naturales o incluso el metal y el vidrio, los plásticos ni se oxidan tampoco se descomponen con el pasar del tiempo. Su eliminación constituye un problema ambiental muy considerable. (Muñoz Pérez, 2012).

### ***2.2.3.3 Polietileno tereftalato (PET).***

El PET (Tereftalato de Polietileno), inactivo al medio ambiente, fue registrado como un polímero termoplástico lineal cristalino para fibra por J.R. Whinfield y J.T. Dickson durante la II Guerra Mundial en 1941 para sustituir la materia prima que se



utilizaba en lo textil (algodón) por la fibra de poliéster. A partir de 1976 ha tenido un desarrollo extraordinario para empaquetaduras. Es en la década de 1980, donde se empezó a utilizar el PET en México para la fabricación de envases, recibiendo gran aceptación tanto del productor y consumidor, razón por la cual su empleo ha ido en aumento considerablemente con el paso de los años.

Conocido por ser la materia con la que se fabrican botellas, envases y empaques plásticos, generalmente transparente, constituye la base de una peculiar forma de negocios comprometido con desecharlo como basura y transformarlo en material útil donde se beneficien acopiadores y compradores para reusarlo en el mercado. Del PET utilizado en el mercado se recupera únicamente el 13%. (Sherwell, 2014, págs. 19,20).

Las características más relevantes del PET son:

- Alta transparencia y cristalinidad, aunque admite cargas de colorantes.
- Liviano, permite que una botella pese 20 veces menos que su contenido.
- Alto coeficiente de deslizamiento.
- Alta resistencia química y buenas propiedades térmicas.
- Levemente tóxico, liberan antimonio (Sb) por debajo de los límites admisibles por la OMS (20 µg/L).
- Actúa como barrera a CO<sub>2</sub>, aceptable barrera a O<sub>2</sub> y la humedad.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.
- Estabilidad a la intemperie.
- Alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad, adecuado para fibras.
- Biodegradación muy lenta.
- Alta resistencia a la corrosión, a esfuerzos permanentes y transitorios.
- Impermeable.

Existen diversas alternativas de reutilización del PET, que parte del reciclado manual, químico y otros métodos aplicados en diferentes países en la reutilización reduciendo el impacto en el ambiente y la cantidad acumulada en los rellenos sanitarios. En la actualidad para el reciclado se usan métodos mecánicos tradicionales, los cuales consisten en triturarlos, lavarlos a elevadas temperaturas y a presión adecuada para eliminar impurezas causadas por otros materiales y así obtener el producto final. (Sherwell,

2014, págs. 21,22). Existe la probabilidad de degradación del PET mediante diferentes métodos:

Siendo los procesos químicos que dan un re-uso al material modificando su estructura molecular. La duración del proceso de degradación natural demora un tiempo considerable debido a la vida útil del material PET, el cual es superior a 50 años. (Sherwell, 2014, pág. 22).

#### Químicos

- Por medio de fluido supercrítico.
- Poliestireno disuelto en corrientes petroquímicas.
- Hidro craqueo.
- Hidrólisis alcalina.

#### Naturales

- Foto degradación.
- Termo-oxidación.
- Biodegradación por medio de microorganismos.

La investigación nace con la inquietud de disminuir la contaminación ambiental que provocan estos desechos, cuando no son tratados como elementos reciclables.



Figura 2: Marca de reciclaje del PET y su acumulación para el reciclaje.

#### **2.2.3.4 Reciclado de botellas de plástico - PET.**

Es la recolección de botellas de plástico descartables que lleva en la parte inferior un símbolo con el número 1 que corresponde al PET (Tereftalato de Polietileno).

### *Obtención del PET, lavado y secado.*

Por lo general en la recolección de las botellas PET se encontraron una serie de botellas sucias por el hecho de ser recolectadas manualmente, en el proceso de triturado se colocan las botellas de plástico dentro del tambor de la máquina trituradora y se procede al triturado para así obtener las escamas de PET, seguidamente se lleva a un proceso de lavado con diferentes insumos que son añadidos para su lavado finalmente se lleva al aire libre para el secado; con el material ya listo para ser usado se procedió a realizar un proceso de tamizado de polímeros se usaron mallas de 1/2", 3/8", N°4 y N°200. Es necesario realizar el tamizado del PET para después realizar diferentes ensayos con el fin de lograr resultados eficientes, considerando el tamaño de las partículas y el que nos resulte con mayor capacidad de soporte expresados en valor de CBR.

### *Costo del PET.*

El costo del reciclaje de botellas de plástico descartables es bajo. Teniendo en el medio que el precio por kilogramo de botellas descartables recicladas mecánicamente es de 0.30 nuevos soles y el precio de botellas recicladas y trituradas de manera industrial es de s/. 0.50 por kilogramo.

#### ***2.2.3.5 El PET y el medio ambiente.***

El calentamiento global y la contaminación del medio ambiente hacen del reciclaje un proceso vital alcanzar la sostenibilidad, algo que solo se lograra con la cooperación de las autoridades, el sector privado y la ciudadanía en general.

Existen cifras alarmantes en el que cada año se produce 300 millones de toneladas de residuos plásticos en el planeta, la acumulación en peso de estos 300 millones de toneladas es casi el mismo peso de los 7600 millones de habitantes en el planeta y eso es cada año. (Ministerio del Ambiente Perú. Lucía Ruiz, 2019).

En el Perú solo se recicla el 2% de los residuos plásticos, y nosotros los peruanos producimos más de 350 kg. De basura al año, eso viene a ser diariamente unas 19000 toneladas de residuos plásticos a nivel nacional. (Ministerio del Ambiente, 2019).

El consumo integral del PET está calculado en 12 millones de ton. que correspondiente a incremento anual del 6%. "El mayor problema ambiental se este, es que

tan sólo un 20% de PET que es consumido en el mundo entero es reciclado, el resto se termina en botaderos a cielo abierto y rellenos sanitarios ". (Web: el ecologista).

### **2.2.7 Estabilización de suelos.**

#### ***2.2.7.1 Estabilización mecánica de suelos.***

En el manual de carreteras, sección suelos menciona que el objetivo de estabilizar un suelo es el de mejorar el suelo existente, sin alterar su composición y estructura inicial del suelo sirviéndose de la compactación que ayuda a reducir el contenido de vacíos existentes en el interior del suelo. (MTC, 2014, pág. 98)

#### ***2.2.7.2 Estabilización por combinación de suelos.***

El MTC menciona también para estabilizar por combinación de suelos se establece la combinación de materiales existentes en un suelo, para mezclarlos con materiales de préstamo u otros, para sustituir la falta de gravas o arenas dependiendo sea el caso. En nuestra investigación encontramos suelos de sub rasante con gran cantidad de partículas finas y carentes de gravas, por tal motivo se le incorporara al suelo partículas PET como agregado, estas partículas reemplazaran a las gravas.

“Se realizará un trabajo de escarificación al suelo existente, esto se realizará a una profundidad 15 cm, para luego colocarse el material de préstamo. Los materiales disgregados y los de aporte serán humedecidos o aireados hasta adquirir la humedad adecuada de compactación, desde luego se eliminará partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), sí existiera. En seguida se procede a mezclar los dos materiales, se realizará el batido del suelo, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad de campo y espesores hasta el nivel de suelo natural fijado en el proyecto”. (MTC, 2014, pág. 98)

#### ***2.2.7.3 Estabilización por sustitución de los suelos.***

Cuando según la evaluación se determina la construcción de sub rasante mejorada únicamente con material agregado, tenemos dos opciones a tomar, que el estrato a mejorar descansa directamente sobre el suelo natural y la otra que se tenga que excavar con anticipación y sustituido por el material a agregar. En la primera posibilidad el material del suelo deberá ser escarificado, conformado y compactado a una profundidad de 150mm y a una densidad determinada para para cuerpos de terraplén.

Una vez se fije que el suelo que soportara las cargas esta logrado se precederá a colocar el material a agregar en capas con espesores que aseguren el nivel de sub rasante y la densidad requerida, con el empleo del equipo compactador que se requiera. Estos materiales según se requiera pasaran a ser humedecidos o aireados y así poder lograr la humedad de compactación necesaria y posterior densificación. En la segunda opción que es mejorar el suelo con material totalmente agregado, requiere remover totalmente el suelo existente según al espesor a reemplazar. (MTC, 2014, págs. 98,99)

#### ***2.2.7.4 Suelo estabilizado con cemento.***

Según el MTC “La estabilización del suelo con cemento se obtiene de la mezcla entre un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras adicciones, seguida de la compactación y curado adecuado. De esta manera se obtiene un material endurecido y más resistente, pero que a comparación del concreto los granos no están envueltos si no están unidos entres sí, es por esto que la resistencia y el módulo de elasticidad de la mescla suelo - cemento es inferior al del concreto”. (MTC, 2014, pág. 102)

#### ***2.2.7.5 Suelo estabilizado con productos asfálticos***

“La estabilización de suelos con productos asfálticos tiene como fin el aumento de la estabilidad y la impermeabilización del suelo, los materiales que se utilizan son emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados. La elección de la emulsión asfáltica a utilizar depende de la granulometría del suelo (los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos), el contenido de humedad y de las condiciones climáticas, el MTC indica que para la estabilización de suelos, los asfaltos son considerados como aglutinantes con posibilidad a usarse con otros materiales, sin embargo su empleo esta recomendado a suelos gruesos con IP bajos, en caso de tratarse de suelos con contenido arcilloso, señala que los asfaltos también pueden usarse pero solo le procura impermeabilidad; además, para el caso de suelos plásticos, con otros productos se logra mayor eficiencia y economía”. (MTC, 2014, págs. 107,108).

#### ***2.2.7.6 Suelo estabilizado con cal.***

“Este tipo de estabilización se obtiene entre la mezcla del suelo, cal y agua. Generalmente es utilizado oxido cálcico denominado también cal anhidra o cal viva, se obtiene por el calcinamiento de material calizo. Tiene la propiedad de endurecerse en

contacto con el medio ambiente cuando se mezcla con agua, esto por reacción del +anhídrido carbónico, por lo cual son llamadas cales aéreas, son adecuados los suelos de granulometría fina de cierta plasticidad”. (MTC, 2014, pág. 101)

“El efecto que produce la adición de cal a un suelo, es el de cambiar su plasticidad, con respecto a este punto nos indica que; suelos de plasticidad  $IP < 15$ , aumentan tanto en el LL como el LP, y también muy ligeramente su IP; en cambio, en los suelos de plasticidad con  $IP > 15$  disminuye el IP”. (MTC, 2014, pág. 101).

Agentes que condicionan el procedimiento de suelos con cal:

- *Cantidad de arcillas en el suelo.* Este agente condiciona la validez de resultados durante el proceso de tratamiento con cal ya que es indispensable la presencia de arcillas en el suelo. La combinación del suelo y cal produce un fenómeno denominado floculación que reduce el porcentaje de finos, las arcillas son fuente de alúmina y sílice generando efectos puzolánicos que comprueba la estabilidad para suelos con cal, es indispensable que el suelo contenga gran cantidad de arcillas.
- *Contenido de materia orgánica.* El suelo está compuesto por diversas partículas que pueden absorber cationes de calcio o reaccionar, este a su vez puede no producir la reacción puzolánica de la cal con las arcillas del suelo; podemos decir que el contenido de materia orgánica en el suelo menores al 1% de no muestran inconvenientes.
- *PH del suelo.* El material como la cal y las arcillas requieren de un medio fundamentalmente básico, requiriendo un alto PH, con esto se garantiza un cambio iónico y una reacción puzolánica entre los dos elementos.
- *Humedad óptima de compactación.* Para la compactación es muy importante la humedad óptima del suelo y de mucha importancia para la estabilización de suelos, esto quiere decir que al añadir agua a la mezcla de suelo y cal este tiene la capacidad de disolver los cationes y sustancias que facilitan el mejoramiento de suelos. Para el tratamiento suelo y cal se recomienda aplicar niveles de agua superiores a lo establecido por el ensayo próctor.

#### ***2.2.7.7 Suelo estabilizado con cloruro de sodio.***

En el Manual de carreteras del MTC indica que “EL uso del cloruro de sodio en estabilización de carreteras es favorable en cuanto al control de polvo en bases y superficie de rodadura para tránsito ligero, además de que evita la rápida evaporación del agua de compactación en zonas secas. La sal es un estabilizante natural, compuesto por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental es el de ser higroscópico, es decir, absorbe la humedad del aire y de los materiales que lo rodean, mejorando la cohesión del suelo”. (MTC, 2014, pág. 104)

#### ***2.2.7.8 Estabilización con cloruro de calcio.***

“Este producto se comporta de forma parecida a la sal común, pero es lo prefieren debido al efecto oxidante que causa al usar el cloruro de sodio. Es así que el cloruro de calcio contribuye en la compactación y mejora la resistencia del suelo, evita el desmoronamiento de la superficie y es un atenuante del polvo.

Las características absorbentes que presenta el cloruro de calcio contribuyen con mantener la humedad en la superficie de la carretera. Su utilización se da en dos diferentes maneras, en granos regulares o Tipo 1 y en hojuelas o pelotillas o Tipo 11. La dosificación es de 1% - 2% de cloruro de calcio respecto al peso seco del suelo. El trabajo de mezclar, compactar y la terminación son bastante parecidos a estabilizar con cloruro de sodio. Por lo general su aplicación se da disuelta en agua a través del riego y en temporada seca”. (MTC, 2014, pág. 106).

#### ***2.2.7.9 Estabilización con cloruro de magnesio***

“El Mg CI posee coloración blanca muy parecido a los cristales, posee más efectividad que el Ca CI para elevar la tensión en la superficie logrando una superficie de rodadura de mayor resistencia. Químicamente, el Mg CI está compuesto alrededor de un 10.5% de magnesio, un 33.5% de cloro, un 52% de agua y un 4% de impurezas, viscoso al tacto por su gran contenido de humedad”. (MTC, 2014, pág. 106)

Para su utilización en vías presenta estas propiedades:

- Higroscópica: Tiene la capacidad de captar humedad hasta en zonas áridas.
- Ligante: Une partículas finas, logrando consolidar la carpeta de rodadura.

- Resistente a la evaporación: Posee una baja tensión de vapor, lo que permite que no se pierda la humedad absorbida.
- Alta solubilidad en agua: Permitiéndole dar una solución de manera rápida y sencilla.

Área	Clase de suelo	Tipo de Estabilizador Recomendado		Restricción en LL e IP del suelo	Restricción en el porcentaje que pasa la malla 200	Observaciones
1 A	SW o SP	(1)	Asfalto			
		(2)	Cemento Portland			
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 B	SW - SM o SP - SM o SW - SC o SP - PC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 C	SM o SC o SM-SC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2)	Cemento Portland	(b)		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 A	GW o GP	(1)	Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 B	GW - GM o GP - GM o GW - GC o GP-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 C	GM o GC o GM - GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Ceniza	IP no excede de 25		
3	CH o CL o MH o ML o OH o OL o ML-CL	(1)	Cemento Portland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
		(2)	Cal	IP no menor de 12		
IP = Índice Plástico (b) $IP = 20 + (50 - \text{porcentaje que pasa la Malla N° 200}) / 4$				Sin restricción u observación No es necesario aditivo estabilizador	Fuente: US Army Corps of Engineers	

Figura 3: Guía referencial para la selección del tipo de estabilizador.

Fuente: (Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC, 2014).



Tabla 7

Especificaciones técnicas de tipo de estabilizadores y su aplicación según región

Zona	Materiales o suelos predominantes	Estabilizador de suelos aplicable
COSTA (Altitud: hasta 500 msnm)	Suelos granulares, de nula a baja plasticidad (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5)	Sales, cemento Portland, ceniza volcánica, puzolana, emulsión asfáltica, productos químicos (aceites sulfonatos, ionizadores, polímeros, enzimas, Sistemas, etc.)
SIERRA (Altitud: entre 500 y 4800 msnm)	Suelos granulares, de nula a plasticidad media (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5)	Cemento portland, ceniza volcánica, puzolana, emulsión asfáltica, productos químicos (aceites sulfonatos, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.)
CEJA DE SELVA Y SELVA ALTA (Altitud: entre 400 y 1000 msnm)	Suelos granulares, de nula a plasticidad alta (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7)	Cemento portland, ceniza volcánica, puzolana, emulsión asfáltica, cal, productos químicos (aceites sulfonatos, ionizadores, polímeros, enzimas, Sistemas, etc.)
SELVA BAJA MENOR A 400 msnm)	Suelos limo arcillosos, arcillas, arcillas arenosas y arenas predominantemente finas (Clasificación AASHTO: A-2-4, A-3, A-6, A-7)	Cemento portland, ceniza volcánica, puzolana, emulsión asfáltica, cal, productos químicos (aceites sulfonatos, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.)

Fuente: (Documento técnico soluciones básicas en carreteras no pavimentadas, 2015)

### 2.3 Marco Conceptual

**CBR (California Bearing Ratio):** “Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo”. (MTC, 2013, pág. 11)

**Estabilizador de suelos:** “Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Estas estabilizaciones se realizan generalmente en la superficie de rodado o capas internas de la carretera” (MTC, 2013, pág. 22).

**Calicata:** “Excavación superficial que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas” (MTC, 2013, pág. 10).

**Contenido de humedad óptimo:** “Es el contenido de humedad al cual un suelo o material granular al ser compactado utilizando un esfuerzo especificado proporciona una máxima densidad seca. El esfuerzo puede ser estándar o modificado” (MTC, 2013, pág. 14).

**Granulometría:** “Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas” (MTC, 2013, pág. 25)

**Curva granulométrica:** “Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100 que son los retenidos acumulados”. (MTC, 2013, pág. 15)

**Sub rasante:** “Superficie terminada de la carretera a nivel del movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado” (MTC, 2013, pág. 45).

**PET (Tereftalato de Polietileno):** “Es un material de difícil degradación, tardan aproximadamente 700 años, ya que los microorganismos carecen de mecanismos para atacarlas, hasta el momento que los enlaces químicos entre los átomos del plástico comiencen a desintegrarse”.(Crawford et.al 2013).

**Impacto ambiental:** “Es el efecto causado por una actividad humana sobre el medio ambiente, puede tener consecuencias sobre la salud de la población, la calidad del aire y la belleza paisajística” (Gómez y Gómez, 2013, p. 29).

**Medio ambiente:** “Es el conjunto de factores o físico-naturales, sociales, culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la sociedad en que vive, determinando su forma, carácter, relación, y supervivencia” (MTC, 2014, pág. 301).

**Clasificación de suelo:** “Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Éstos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. El Sistema AASHTO lo usan principalmente los departamentos de caminos estatales y de condados, mientras que los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el Sistema Unificado”. (Braja M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 1985, pág. 35)

**Botellas de plástico:** Es un envase liviano bastante usado en el comercio de bebidas líquidas como lácteos, bebidas o limpia hogares. frente al vidrio presenta ventajas en cuanto a costo y además presenta versatilidad de moldeado.

**Reciclaje:** “Proceso de recuperación de elementos físicos o químicos aún útiles, provenientes de materiales que han servido para un propósito específico y que pueden volver a ser usados para el mismo u otro propósito, el reciclaje consiste en convertir materiales ya utilizados en materia prima para fabricar nuevos productos”. (MTC, 2014,p.301)

**Plástico reciclado:** Se define básicamente en recolectar, limpiar, seleccionar por tipo de material y fundirlos de nuevo para usarlo como materia prima adicional, alternativa o sustituta para el moldeado de otros productos.

## 2.4 Marco Referencial (histórico)

Fernández, (2006). Presentó en su estudio dos tipos de suelo cohesivos (marga expansiva y arcilla limosa) reforzados con fibra sintética. Se observó que la mejora de las propiedades geotécnicas por incorporación de fibras textiles sintéticas en los ensayos efectuados, es tanto mayor cuando peor sea el suelo, es decir, tuvo un mejor desempeño para la marga expansiva que para la arcilla limosa; y cuanto más largas sean las fibras utilizadas igualmente presenta un mejor desempeño.

Akhras N.M et al. (2008). Investigaron el efecto de dos tipos de fibras (Palmira y nylon) en las propiedades de expansión del suelo arcilloso. Ambas fibras con cuatro diferentes relaciones de aspecto L/d (25, 50, 75 y 100) y cinco diferentes cantidades de fibra (1%, 2%, 3%,4% y 5%) fueron mezclados con tres tipos de suelo expansivo con diferentes propiedades físicas. Los resultados del estudio demuestran que ambos tipos de fibras disminuyeron significativamente la presión y el potencial de expansión de los suelos arcillosos. También se notó que, para una misma cantidad de fibras, la fibra de palmira tuvo un efecto mayor que la de nylon en la disminución de la presión de expansión; de la misma manera tuvo mejor efecto en la reducción de la presión de expansión la relación de aspecto más baja para ambos tipos de fibra.

Mirzababaei M et al. (2009). Su trabajo se concentra en la manera en que las fibras afectan las propiedades del suelo reforzado sin drenar. Se usan cuatro diferentes fibras de sobras de alfombra (las más populares en el Reino Unido) con una longitud de 76 mm y diámetro de 38 mm, en concentraciones del 1%, 5% y 10% por masa de suelo seco. Se preparó una arcilla con un índice de plasticidad relativamente bajo. Se realizaron compresiones triaxiales (UU), obteniendo como resultado para la concentración del 1% aumentó su tensión desviadora pico un 10% que el suelo sin refuerzo, sin embargo, para las concentraciones de 5% Y 10% disminuyo su tensión desviadora pico un 1.6% y 25.4% respectivamente, lo que demuestra que a cierta cantidad de contenido de fibra tiene un efecto adverso en su aumento de resistencia. Todas las concentraciones de fibra mostraron un comportamiento esfuerzo-deformación perfectamente plástico.

Pradhan P.K. et al. (2012). Utilizaron como inclusión fibras de polipropileno aleatoriamente distribuidas para observar su efecto en las características de resistencia de un suelo cohesivo reforzado. Las fibras de polipropileno tenían tres relaciones de aspecto (L/d= 75, 100 y 125) en una concentración de 0 al 1% del peso del suelo seco. Los resultados de las pruebas revelaron que la inclusión de fibras de polipropileno aleatoriamente distribuida en el suelo incremento la resistencia al corte pico y residual. El contenido de fibra para alcanzar los máximos esfuerzos se encontraba en el rango de 0.4%-0.8% del peso del suelo seco para una relación de aspecto de 100.

Zaimoglu y Yetimoglu, (2012). Experimentaron con un suelo limoso de compresibilidad alta (MH) al cual adicionaron fibras de polipropileno. Usaron dosificaciones de la fibra al 0.25%, 0.5%, 0.75% y 1%. (respecto al peso seco del suelo), como sustitución del suelo; mediante el procedimiento de compactación próctor estándar determinaron el contenido de humedad óptimo para después incorporar fibras al suelo con la cantidad de agua establecida.

La experimentación, consistió en el desarrollo de pruebas de resistencia a la compresión no confinada, al corte directo, como del valor CBR. Realizaron pruebas de compresión no confinada en probetas remoldeadas de suelo con y sin refuerzo de 38 mm de diámetro y 76 mm de altura. De ellas obtuvieron comportamientos y resistencias semejantes para las dosificaciones de 0.75% y 1% las cuales fueron las mayores obtenidas.

De los resultados de los ensayos de corte directo, concluyeron que la intercepción de la cohesión para muestras de suelos fibro reforzados aumentaba al incrementar el contenido de fibra hasta valores del 0.75%, después de este contenido los resultados indicaron que el incremento en el valor era pequeño. Se pudo afirmar que las fibras discretas aleatoriamente distribuidas, actúan como una red espacial tridimensional que entrelaza los granos del suelo, ayudando a los granos a formar una matriz unitaria coherente que restringe los desplazamientos. Por lo tanto, la cohesión del suelo mejora. Por el otro lado, el ángulo de fricción por corte directo no mostró cambios significativos al incrementar el porcentaje de sustitución, lo cual puede ser atribuido al hecho que las inclusiones de fibra no tienen efecto apreciable en la micro estructura del suelo. De las pruebas del CBR, encontraron un aumento considerable en el suelo reforzado con un porcentaje de 0.75% en comparación al suelo no reforzado, el suelo con el 0.75% mejoró en un 80% el valor del CBR.

## **2.5 Hipótesis**

### **2.5.1 Hipótesis general.**

La incorporación de plástico reciclado triturado – PET influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante en la Prolongación de la Av. Micaela Bastidas, Tamburco, Abancay, 2018.

### **2.5.2 Hipótesis específicas.**

- a) La granulometría ideal de plástico reciclado triturado – PET influye significativamente en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.
- b) La textura ideal de plástico reciclado triturado – PET influye significativamente en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.
- c) La dosificación óptima de plástico reciclado triturado – PET influye significativamente en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.
- d) La capacidad de soporte (CBR) del suelo a nivel de sub rasante incrementa significativamente con la incorporación de plástico reciclado triturado - PET.

## **2.6 Operacionalización de variables**

### **2.6.1 Variable independiente**

- Incorporación de plástico reciclado triturado – PET.

El PRT-PET, obtenido de la recolección de botellas descartables transparentes, lavadas y procesadas en máquinas trituradoras, una vez obtenido las partículas trituradas en distintos tamaños se procede a tamizarlas y a través de ensayos previos de laboratorio, se determina el tipo de granulometría y textura ideal, para que sean ensayadas incorporándose al suelo natural en distintos porcentajes.

Tiene por dimensión: granulometría, textura y dosificación.

### **2.6.2 Variable dependiente**

- Mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante

El suelo arcilloso al tener en su composición presencia de granos finos de granulometría homogénea, no presenta cohesión, resistencia al corte y por tanto baja capacidad de soporte, razón por la cual se adicionará al suelo natural como aditivo partículas de PRT-PET de granulometría variada y textura rugosa u ondulada para así mejorar el suelo para ser usado como subrasante.

Tiene por dimensión: Capacidad de soporte.

Tabla 8

Matriz de operacionalización de variables

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<b>PRT:</b> Plástico reciclado triturado. <b>PET:</b> Polietileno Tereftalato o Politereftalato de etileno.	Plástico reciclado triturado - PET	Independiente	Granulometría Textura Dosificación	Tamaño de las partículas Nivel de superficie. Porcentaje	• mm • Razón. • Porcentaje (%)	Manual de laboratorio de suelos en Ingeniera Civil MTC. Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos. 2013. MTC Manual de Ensayos de materiales. MTC-E107 Ensayo de Contenido de H. MTC-E108 Ensayo de Granulometría MTC-E109 Ensayo de Limite Líquido MTC-E110 Ensayo de Limite Plástico MTC-E111 Ensayo de Hidrómetro MTC-E115 Ensayo de Proctor MTC-E132 Ensayo de CBR
<b>SUB RASANTE:</b> Capa superior de la plataforma a nivel de sub rasante, sobre la que se construirá la estructura de la capa de rodadura. (MTC, 2014)	Mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.	Dependiente	Capacidad de Soporte (CBR)	Expansión Resistencia a la penetración	• Porcentaje (%) • Porcentaje (%)	
<b>Granulometría:</b> Tipo de granulometría y dimensiones de las partículas de plástico	Granulometría	Independiente	Pas ½ -Ret 3/8 Pas 3/8- Ret N° 4 Pas 3/8 - Ret N° 200	Tamices	• mm	Formatos de registro de ensayos MTC-E108 Ensayo de Granulometría Manual de laboratorio de suelos en Ingeniera Civil
	Mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.	Dependiente	CBR	Resistencia a la penetración Expansión	• Porcentaje (%)	MTC. Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos. 2013.
<b>Textura:</b> Nivel de superficie de las partículas de plástico	Textura	Independiente	Liso Ondulado	Razón	• Razón	formatos, registro de resultados de ensayos en laboratorios por medio
	Mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.	Dependiente	CBR	Resistencia a la penetración Expansión	• Porcentaje (%)	MTC. Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos. 2013.
<b>Dosificación:</b> porcentaje de plástico a incorporar respecto al peso seco del suelo.	Dosificación	Independiente	1,2,3,4,5,6%	Porcentaje en peso del suelo seco (%)	• Porcentaje (%)	Cuadros comparativos, Formatos, Razón.
	Mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.	Dependiente	CBR	Resistencia a la penetración Expansión	• Porcentaje (%)	MTC. Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos. 2013.
<b>Capacidad de soporte (CBR).</b> Resistencia a la penetración de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.	Incorporación de PRT - PET	Independiente	1,2,3,4,5%	Porcentaje en peso del suelo seco (%)	• Porcentaje (%)	Cuadros comparativos Anteriores referencias Ensayos previos
	Capacidad de Soporte (CBR)	Dependiente	CBR	Resistencia a la penetración Expansión	• Porcentaje (%)	MTC E – 132 Formato de ensayo CBR

Fuente: Elaboración propia

## **Capítulo 3**

### **Metodología de Investigación**

#### **3.1 Método**

Existen diferentes métodos de investigación científica, entre las cuales podemos mencionar: “Método deductivo e inductivo.

Método deductivo es aquel que parte de datos generales aceptados como válidos para llegar a una conclusión de tipo particular”. (Buendia, Colás, y Hernández, 2006, pág. 5). Según este concepto podemos decir que nuestro método de investigación es deductivo, ya que nuestra investigación parte de datos generales para llegar a una aplicación particular que es el mejoramiento de suelos a nivel de sub rasante cuando se incorpora PRT-PET.

#### **3.2 Tipo de investigación**

El tipo de investigación según su finalidad es aplicado por que se usa la teoría y ciencia ya existente para aplicarlas de manera directa en casos prácticos reales, a razón que se utiliza botellas de PRT-PET en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

“La investigación aplicada busca conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar, basándose en resolver los problemas de una manera práctica, con un margen de generalización limitada, asimismo la información obtenida a través de esta investigación deberá ser también aplicable en cualquier lugar y por tanto ofrece oportunidades significativas para su difusión”. (Hernández, Collado y Baptista, 2006)



### **3.3 Nivel o alcance de investigación**

“Como los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (Hernández, Collado, & Baptista, 2006).

El alcance o nivel de investigación es descriptivo, explicativo, correlacional, ya que radica en observar para describir y explicar lo que ocurre, causas, situaciones, contexto y acontecimientos; esto es, especificar como son y de qué manera se manifiestan.

### **3.4 Diseño de investigación**

“En nuestra investigación empleamos el diseño experimental, la que se apoya en la observación de fenómenos manipulados de manera intencional en el laboratorio a una o más variables independientes (causas), en una situación de control, para así determinar las consecuencias de tal manipulación sobre una o unas variables dependientes (efecto)”. (Hernández S. R., 2010).

Este diseño de investigación experimental, se define como el resultado obtenido de los ensayos del laboratorio del suelo natural de sub rasante de la vía en estudio y los posteriores resultados que se obtenga con la incorporación de PRT-PET en distintos porcentajes.

### **3.5 Población y Muestra**

#### **3.5.1 Población.**

La población es el conjunto finito o infinito de unidades de análisis, individuos, objetos o elementos que se someten a estudio; pertenecen a la investigación y son la base fundamental para obtener la información.

La población que comprende nuestra tesis de investigación es:

El suelo a nivel de sub rasante de la vía prolongación de la Av. Micaela Bastidas, Tamburco, Km 0 +0.00 – Km 0+400, en una longitud de 400ml y un área de 2400.00m<sup>2</sup>. que a simple vista, según la estratigrafía observada, se trata de suelos con contenido arcilloso, limoso y gravo limoso, el cual al ser del tipo arcilloso contiene partículas finas que carecen de fricción entre ellas, a la vez presentan inestabilidad volumétrica y por tanto baja capacidad de soporte, este requerirá mejoramiento y nos

ayudará a lograr el objetivo de nuestra investigación, mientras que los suelos limosos o gravosos resultan siendo suelos malos o buenos respectivamente y no requerirán mejoramiento.

En cuanto al material utilizado como incorporación para lograr el mejoramiento, se trata de un material común, comercial, fácil de encontrar en el medio por que abunda como deshecho y su reutilización contribuye a disminuir la contaminación ambiental. Las botellas descartables de plástico en sus diferentes tipos, tamaño y colores, recicladas en el sector de Bancapata, entre ellas las botellas transparentes de plástico fabricadas de PET poseen alta resistencia química y propiedades mecánicas y superiores a las botellas de color.

### 3.5.1.1 Ubicación de la población.

Se encuentra ubicada en la zona nor-este del distrito de Tamburco, provincia de Abancay, Región de Apurímac. Tiene una longitud de 400ml.



Figura 4: Macro ubicación del distrito Tamburco.

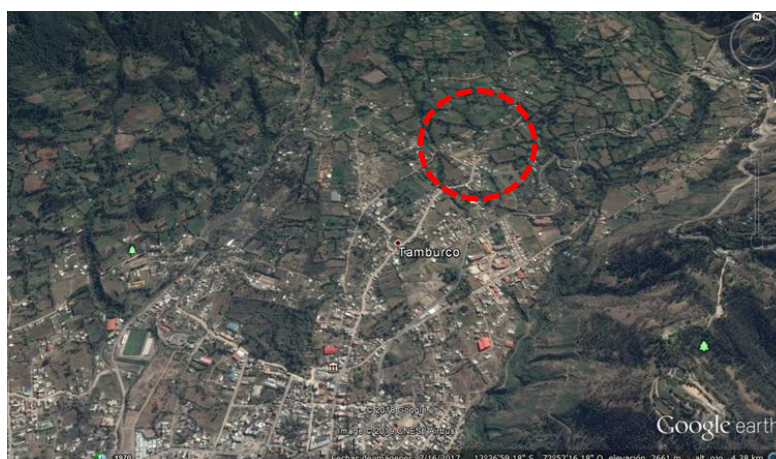


Figura 5: Vista panorámica de la población en estudio Tamburco - Bancapata – Soccoshuayco

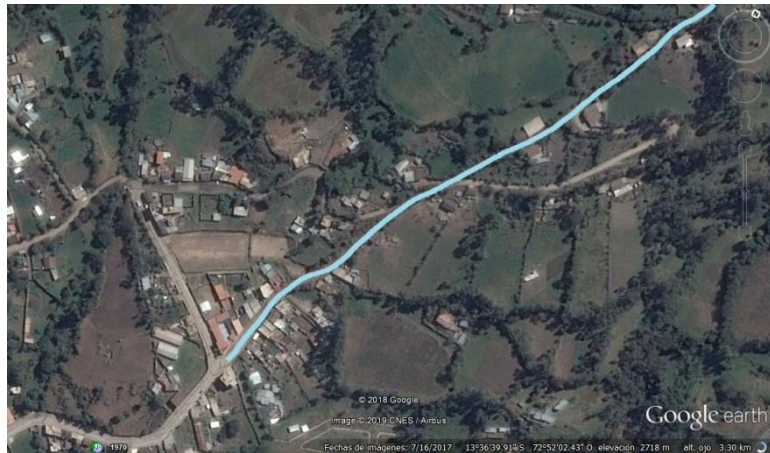


Figura 6: Longitud de sub rasante de la prolongación de la Av. Micaela Bastidas.

### 3.5.2 Muestra.

Sobre la muestra. (Hernández S. R., 2010). Afirma: “La muestra es una esencia, un sub grupo de la población. Entendido como un subconjunto de elementos que corresponden a ese conjunto definido en sus características al que se denomina población” (p.175).

De la vía en estudio considerada como un tipo de vía local según la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos, recomienda para el estudio un mínimo de 03 puntos de investigación, por lo que se obtuvieron 03 muestras de suelo elegidas por conveniencia, como son: C-01, C-02 y C-03 para determinar el tipo de suelo apropiado para el desarrollo de nuestra investigación.

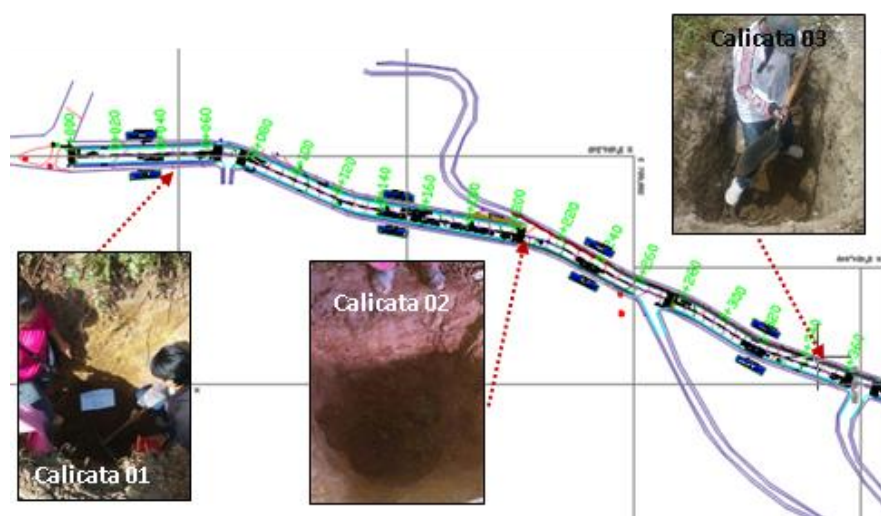


Figura 7: Ubicación de calicatas en estudio.

La Figura 7 muestra las calicatas realizadas y la ubicación de cada una de ellas a lo largo de la vía.

Las botellas transparentes de plástico fabricadas de PET, recicladas en el sector de Bancapata, las que fueron trituradas en la planta recicladora Jorplas de la ciudad de Abancay, y posteriormente seleccionadas en laboratorio mediante tamizado con la finalidad de obtener tres granulometrías de prueba: pasante el tamiz 1/2” - retenido en el tamiz 3/8”, pasante el tamiz 3/8” - retenido en el tamiz N° 4, pasante el tamiz 3/8” - retenido en el tamiz N° 200, los cuales incorporados al suelo y mediante ensayos de CBR se determine la granulometría que mejore el suelo.



Figura 8: Selección de los tres tipos de granulometría de PRT – PET

### 3.5.1.2 Obtención de la muestra.

Se realiza este procedimiento con el único objeto de obtener una muestra representativa de la sub rasante que posibilite el desarrollo de nuestra investigación, según la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos indica que para el tipo de vía local en un área de 1800m<sup>2</sup> le corresponde 01 punto de investigación; para nuestra área de investigación que es 2400m<sup>2</sup> nos correspondería 02 puntos de investigación. También aclara que para mayor detalle se debe realizar un mínimo de 03 puntos de investigación.

En el área en estudio se realizaron 03 calicatas distribuidas a 150m con respecto a otra, a una profundidad de 1.50m. Para determinar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, para así seleccionar la calicata con muestra de suelo conveniente para nuestra investigación sobre la que se hará los ensayos con la incorporación de PRT – PET.

Tabla 9  
Calicatas realizadas en la prolongación de la Av. Micaela Bastidas.

Progresiva (Km)	Calicata	Profundidad (m)	Coordenadas		Referencia
			Norte	Este	
0 + 050	C - 01	1.50	8494134.08	730656.514	50m Jardín.
0 + 200	C - 02	1.50	8494291.09	730682.829	Medio del tramo.
0 + 350	C - 03	1.50	8494430.51	730749.818	50m 1er pontón.

Fuente: Elaboración propia.

- Calicata 01 (C – 01): Ubicada en la progresiva Km 0+050, A 20 m del jardín Bancapata. Se observó material orgánico hasta una profundidad de 0.20m, de 0.20m hasta 0.40m presencia de arcilla y limo con considerable contenido de materia orgánica y a partir de 0.40m hasta 1.50m material arcilloso.

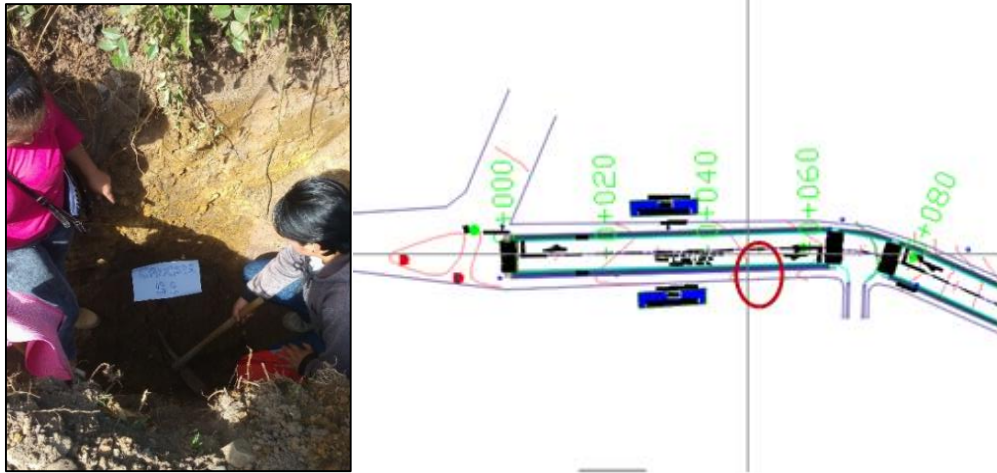


Figura 9: Localización y toma de muestra de la calicata 01 (C – 01)

Fuente: Elaboración propia.

- Calicata 02 (C – 02): Ubicada en la progresiva Km 0+200. Se observó un mínimo espesor de cobertura vegetal de 0.15m a 1.00m de profundidad presencia de material arcilloso de color rojizo, a partir de 1.00m a 1.50m presencia de arcilla y grava en mínima cantidad.



Figura 10: Localización y toma de muestra de la calicata 02 (C – 02)

Fuente: Elaboración propia.

- Calicata 03 (C – 03): Ubicada en la progresiva Km 0+350. Se observó un estrato considerable de materia orgánica y grava de 0.40m de espesor y a partir de los 0.40m hasta 1.50m de profundidad se observa un suelo arcillo gravoso de color plomo.

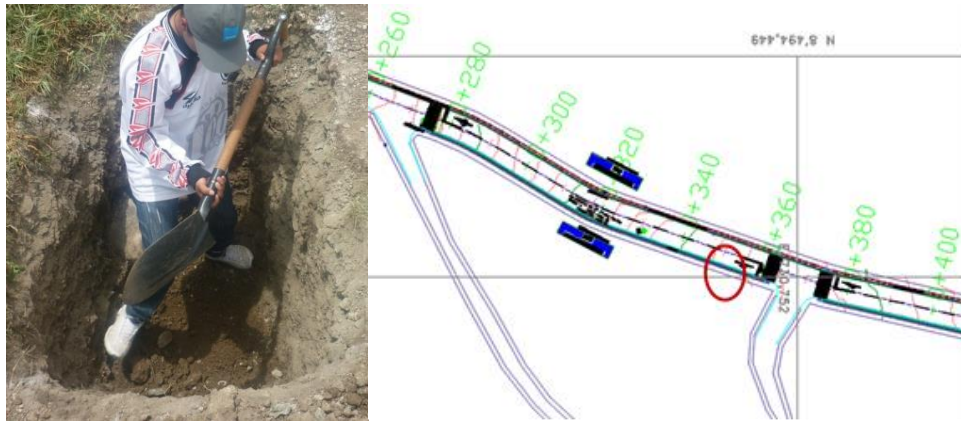


Figura 11: Localización y toma de muestra de la calicata 03 (C – 03)  
Fuente. Elaboración propia.

Se practicó ensayos de CBR al suelo natural de las 03 calicatas extraídas, según los resultados obtenidos: El suelo de la C-01 está categorizada como sub rasante inadecuada que no es posible mejorar, el suelo de la C-03 categorizada como sub rasante regular no requiere mejoramiento y la C-02 categorizada como sub rasante insuficiente con la posibilidad de mejoramiento, la cual es conveniente para el logro de nuestro objetivo de investigación. La muestra de nuestra investigación representada por el suelo de la C-02 contiene 951.0 kg de suelo natural como se detalla:



Figura 12: Localización de la calicata N°2 en la vía en estudio.

Tabla 10

*Ensayos realizados al suelo natural sin adición*

Norma	Suelo natural			
	Ensayos	Cantidad		
	Propiedades físicas	C-01	C-02	C-03
MTC E 108	Determinación del contenido de humedad	3	3	3
MTC E 107	Análisis granulométrico de suelos por tamizado	1	1	1
MTC E 111	Análisis granulométrico por medio del hidrómetro	-	1	-
MTC E 109	Determinación del límite líquido	1	1	1
MTC E 110	Determinación del límite plástico	3	3	3
	Propiedades mecánicas	C - 01	C- 02	C-03
MTC E 115	Proctor modificado	1	3	1
MTC E 132	CBR de suelos	1	3	1
	Análisis químico	C - 01	C- 02	C-03
	Suelo natural	-	1	-

*Fuente: Elaboración propia.*

Así tenemos la relación de ensayos realizados con sus respectivas cantidades de material utilizado en cada uno de ellos.

➤ *Cantidad de suelo natural.*

Tabla 11

*Cantidad de suelo sin incorporación de PRT-PET.*

Suelo natural					
Ensayos	Cantidad (Kg)			Total	
	Propiedades físicas	C-01	C-02	C-03	(kg)
	Determinación del contenido de humedad	0.25	0.25	0.25	0.75
	Análisis granulométrico de suelos por tamizado	1.00	1.00	1.00	3.00
	Análisis granulométrico por medio del hidrómetro	-	0.25	-	0.25
	Determinación del límite líquido	0.25	0.25	0.25	0.75
	Determinación del límite plástico	0.25	0.25	0.25	0.75
	Propiedades mecánicas	C - 01	C- 02	C-03	
	Próctor modificado	10.00	30.00	10.00	50.00
	CBR de suelos	18.00	54.00	18.00	90.00
	Análisis químico	C - 01	C- 02	C-03	
	Suelo natural	-	1.00	-	1.00
	Total (kg)	29.75	87.00	29.75	146.50

*Fuente. Elaboración propia.*

Tabla 12

Número de ensayos realizados al suelo incorporado con PRT-PET

Suelo incorporado con PRT-PET				
Asstho	Ensayos Propiedades Mecánicas	Cantidad		
		C - 01	C- 02	C-03
MTC E 132	Relación de soporte - CBR	-	48	-

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 13

Cantidad de suelo incorporado con PRT-PET para la selección de la granulometría.

Suelo con incorporación de PRT – PET Liso al 2%			
Ensayo CBR	Nº CBR	Kg/CBR	Sub Total (kg)
suelo + 1/2” – 3/8” PRT – PET al 2%	3	18.00	54.00
suelo + 3/8” – Nº 4 PRT – PET al 2%	3	18.00	54.00
suelo + 3/8” – Nº-200 PRT – PET al 2%	3	18.00	54.00
Total (kg)			162.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 14

Cantidad de suelo incorporado con PRT-PET para la selección de la textura.

Suelo con incorporación de PRT – PET al 2%			
Ensayo CBR	Nº CBR	Kg/CBR	Sub total (kg)
Suelo + 3/8”-Nº 4 PRT – PET Liso al 2%	3	18.00	54.00
Suelo + 3/8”-Nº 4 PRT – PET al Ondulado al 2%	3	18.00	54.00
Total (kg)			108.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 15

Cantidad de suelo incorporado con PRT-PET Liso para la dosificación.

Suelo con incorporación de PRT – PET Liso							
Ensayo CBR	%					Nº CBR	Cantidad/CBR (kg)
	1	2	3	4	5		
Suelo + 3/8”-Nº 4 PRT – PET Liso.	3	3	3	3	3	15	18.00
Total (kg)							270.00

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 16

Cantidad de suelo incorporado con PRT-PET ondulado para la dosificación.

Suelo con incorporación de PRT – PET Ondulado										
Ensayo CBR	Incorporación						Nº CBR	Cantidad (kg)		
	1%	2%	3%	4%	5%	6%				
Suelo + 3/8”-Nº 4 PRT-PET Ondulado	3	3	3	3	3	3	18	18.00		
Total (kg)								324.00		

Fuente. Elaboración propia



Tabla 17

*Resumen de cantidad de suelo utilizado.*

Cantidad de suelo	Sub total (kg)
Suelo sin incorporación de PRT-PET.	87.00
Suelo incorporado con PRT-PET para la selección de la granulometría.	162.00
Suelo incorporado con PRT-PET para la selección de la textura.	108.00
Suelo incorporado con PRT-PET Liso para la dosificación.	270.00
Suelo incorporado con PRT-PET ondulado para la dosificación.	324.00
Total (kg)	951.00

*Fuente. Elaboración propia.*

Para determinar la muestra que contiene PRT-PET, se considerará tres tipos de granulometrías y dos tipos de textura, las cuales serán sometidas a ensayos de CBR considerando un porcentaje promedio del 2% de incorporación.

Como muestra se requirió 22.68 Kg de botellas de plástico PET trituradas.



Figura 13: Plástico reciclado triturado - PET liso y PET ondulado

En la Figura 13 se muestra el PRT –PET de granulometría pasante 3/8” y retenido en N° 200, en sus dos texturas liso y ondulado, en una cantidad de 22.68 kg. Las que serán sometidas a ensayos para determinar su comportamiento.

➤ Cantidad de PRT-PET requerido

Tabla 18

*Número de ensayos realizados al PRT- PET*

Plástico reciclado triturado - PET	
Ensayos	Cantidad
Análisis químico	1
Análisis mecánico	1

*Fuente. Elaboración propia*

Tabla 19

Cantidad de PRT-PET liso para la selección de la granulometría.

Ensayo CBR	Muestra adicionada al 2%					Sub Total (kg)
	Cantidad (kg)					
	1%	2%	3%	4%	5%	
Suelo + pas. 1/2" – ret. 3/8" PRT–PET	-	1.08	-	-	-	1.08
Suelo + pas. 3/8" – ret. N° 4 PRT–PET	-	1.08	-	-	-	1.08
Suelo + pas. 3/8" – ret. N°200 PRT– PET	-	1.08	-	-	-	1.08
Total (kg)						3.24

Fuente. Elaboración propia

Tabla 20

Cantidad de PRT-PET liso para la selección de la textura.

Ensayo CBR	Muestra adicionada					Sub Total (kg)
	Cantidad (kg)					
	1%	2%	3%	4%	5%	
Suelo + 3/8" – N° 4 PRT – PET Liso	-	1.08	-	-	-	1.08
Suelo + 3/8" – N° 4 PRT – PET Ondulado	-	1.08	-	-	-	1.08
Total (kg)						2.16

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 21

Cantidad de PRT-PET liso para la dosificación.

Ensayo CBR	Muestra adicionada					Sub Total (kg)
	Cantidad (kg)					
	1%	2%	3%	4%	5%	
Suelo + 3/8" – N° 4 PRT – PET Liso	0.54	1.08	1.62	2.16	2.70	8.10
Total (kg)						8.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

Cantidad de PRT-PET ondulado para la dosificación.

Ensayo CBR	Muestra adicionada						Sub Total (kg)
	Cantidad (kg)						
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	
Suelo + 3/8" – N° 4 PRT – PET al Ondulado	0.54	1.08	1.62	2.16	2.70	3.24	11.34
Total (kg)							11.34

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23

*Resumen de cantidad de PRT-PET utilizado.*

Suelo con incorporación de PRT – PET al 2%	
Ensayo CBR	Sub total (kg)
Cantidad de PRT-PET liso para la selección de la granulometría.	1.08
Cantidad de PRT-PET Liso para la selección de la textura.	2.16
Cantidad de PRT-PET liso para la dosificación.	8.10
Cantidad de PRT-PET ondulado para la dosificación.	11.34
<b>Total (kg)</b>	<b>22.68</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.5.3 Muestreo.

El muestreo que realizaremos es por conveniencia, donde se elige el material que está al alcance de nuestra investigación (Martínez B. C., 2012, pág. 316) ; para realizar el muestreo en la vía de estudio, se observó que en algunos tramos existe material arcilloso, seguidamente realizamos 3 calicatas en los tramos con predominancia de material arcilloso, se obtuvieron 3 muestras representativas de cada calicatas, teniendo en cuenta los estratos se tomó la muestra desde la segunda capa que esta de 30cm a 40cm de profundidad ya que la primera capa es netamente orgánica, las muestras obtenidas fueron trasladadas al laboratorio para realizar los ensayos requeridos para subrasante.

Se verificó las tres muestras de las 3 calicatas trasladadas al laboratorio y se empezó a realizar los ensayos preliminares; colocamos el material en forma de una ruma, luego lo extendemos con palas para que se oree el material ya que se encontraba húmedo.

Cuando el material se encuentre seco se procede a realizar el cuarteo en partes iguales, se toma dos partes opuestas del cuarteo como muestra representativa que tengan sus características similares y luego desechar el restante.



*Figura 14: Selección de material según calicatas*

### **3.5.3.1 Determinación de las propiedades físicas, mecánicas del suelo y PRT-PET.**

#### **3.5.3.1.1 Propiedades físicas.**

A.- Determinación del contenido de humedad

##### *Equipos*

Espátulas, recipientes, balanza de precisión, horno.

##### *Procedimiento*

Se toma un recipiente y se pesa; se toma el material que se encuentra embolsado para evitar que pierda su contenido de humedad natural y se vacía la cantidad requerida a un recipiente ya pesado. Colocamos en el recipiente parte de la muestra representativa del suelo, se pesará en una balanza de precisión, para luego tomar los datos.

Se coloca el recipiente con la muestra dentro del horno para su secado, se dejará la muestra en el horno con una temperatura de  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Durante 16 horas aproximadamente. Pasado el tiempo según la norma del MTC que son 16 horas se retira la muestra del horno de secado y se deja enfriar unos 20 a 30 minutos para luego ser pesada en la balanza y tomar datos de la muestra seca.



Figura 15: Preparación de muestra y materiales para el ensayo.



Figura 16: Lectura de pesos de la muestra y puesta al horno.

## B.- Análisis granulométrico de suelos por tamizado

### *Equipos*

Serie de tamices, balanza de precisión, brocha, recipientes, utensilios de laboratorio en general.

### *Procedimiento*

Se toma una cantidad representativo del total del material y se cuarteo.

Después de realizado el cuarteo se toma una muestra de suelo en un recipiente ya pesado, se pesa en una balanza de precisión se toma los datos.

Se añade agua al material para que las partículas finas como las arcillas puedan saturarse y así hacer más fácil su lavado.

Transcurrido un tiempo se procede al lavado del material con ayuda del tamiz #200.

Ya lavada la muestra se deja secar durante 16 horas aproximadamente dentro de un horno a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  para que pueda secar.

Seco el material realizamos el tamizado mecánico a mano, se realiza de tal manera que la muestra está en constante movimiento circular, transcurrido un periodo de tiempo se observa que la muestra haya pasado por los tamices y se procede al pesado de las partículas retenidas en cada tamiz, por ningún motivo debe inducir con la mano las partículas que se hayan quedado en las mallas, el retiro de las partículas de los tamices se procede con una brocha para evitar malograr las mallas de los tamices.



*Figura 17: Cuarteo y pesado de la muestra*



Figura 18: Lavado de material en la malla N° 200



Figura 19: Tamizado manual de la muestra



Figura 20: Muestra recién tamizada

C.- Análisis Granulométrico por medio del hidrómetro.

#### *Equipos*

03 balanzas, tamiz N° 10 y N° 200, tamizador mecánico, aparato agitador, hidrómetro 152 H, cilindro de vidrio para sedimentación, termómetro, cronometro, estufa, capaz de mantener temperaturas uniformes, utensilios de uso general.

Reactivos. - Agente de floculante (Hexametáfosfato de sodio) y agua destilada o desmineralizada.

### *Procedimiento*

Se toma una porción de muestra de 50 gr (Peso seco), se coloca la muestra en una probeta de 250 ml, luego se agrega agua destilada hasta que la muestra está totalmente sumergida seguidamente se coloca el agente dispersor con una medida de 125 ml de solución de hexametáfosfato de sodio, se deja reposar la muestra durante 24 horas para que los terrones del suelo se desintegren.

Pasada las 24 horas la muestra se coloca en el aparato agitador lavando cualquier residuo que haya quedado en el recipiente con agua destilada o desmineralizada. Se transfiere el material del aparato agitador a un cilindro de sedimentación de 1000 ml.

Se agita el cilindro de sedimentación con un agitador manual 60 ciclos durante un minuto, al terminar se coloca el cilindro sobre la mesa y se pone en marcha el cronometro, en seguida se toma las lecturas al 1; 2; 5; 15; 30; 60; 120; 250; 1440 minutos, las lecturas se realizan al tope del menisco.



Figura 21: Colocación del aditivo defloculante a la muestra



Figura 22: Batido de material con defloculante



Figura 23: Toma de datos al 1', 2', 5', 15', 30', 60' hasta 1440''

#### D.- Determinación de los límites de Atterberg

##### Límite líquido.

##### *Equipos*

Recipiente de porcelana, espátula, dosificador de plástico, capsulas, aparato de casagrande, acanalador, calibrador, balanza electrónica, juego de tamices.

##### *Procedimiento*

Tomamos una muestra de material suficiente de suelo, esta muestra representativa se coloca en el tamiz #40 con un peso aproximado de 300 gr. y se tamiza.

Terminado el tamizado se colocará un aproximado de 200g de la muestra de suelo en el recipiente de porcelana, seguidamente añadimos pequeñas cantidades de agua destilada y mezclamos el suelo hasta obtener una pasta homogénea con un color uniforme. Cuando la pasta homogénea se encuentre en un punto en el que se pueda estimar su consistencia se procede a colocar a la cuchara de Casagrande, para así verificar si puede cerrar la ranura en una longitud de 13 mm alrededor de 35 golpes.

A continuación, se debe de tener en cuenta la consistencia resultante que permita un número de golpes para la falla en el rango de 15 a 35.

Se coloca dentro del aparato de Casagrande otra pequeña cantidad de muestra de suelo la cual será manipulada con una espátula hasta una profundidad de 1cm para luego realizar el trabajo con el ranurador bien centrada en la cazuela. La mayor profundidad del suelo en la pasta deberá ser aproximadamente igual



a la altura de la cabeza del rasurador. Si se utiliza la cuchara de Casagrande, se debe mantener firmemente perpendicular a la tangente instantánea a la superficie de la cazuela y la herramienta, de forma que la profundidad de la ranura sea homogénea en toda su longitud.



Figura 24: Equipos para la determinación límite líquido.



Figura 25: Verificación del cierre de la ranura a 13 mm (1/2 pulg).



Figura 26: Toma de lectura de pesos tanto LL y LP sacados del horno.

Límite plástico

*Equipos*

Placa de vidrio grueso esmerilado de superficie adecuada para el ensayo.

Espátula de hoja flexible, recipiente para evaporación, capsulas para determinar el contenido de humedad, balanza con una aproximación de 0,01 g, horno debe mantener una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , calibrador con aproximación de 0,1 cm, Agua destilada, dosificador de plástico para el control de agua.

### *Procedimiento*

Seleccionamos una porción de material que pasa por el tamiz N°40 de aproximadamente 20 gr, se añade agua destilada con el dosificador y se amasa con la espátula hasta formar una pasta consistente, luego se forma una esfera de ella se tomara entre 1.5gr a 2 gr de muestra en forma de bolitas para realizar el ensayo. Realizamos fricción de una porción de muestra entra la palma de la mano y la placa de vidrio esmerilado, aplicando presión constante para formar rollitos.

Se debe formar un rollito de diámetro uniforme, en la totalidad de la longitud; hasta que este alcance un diámetro aproximado de 3,2 mm.

Si al alcanzar este diámetro el rollito no se desmoronamiento o presenta agrietamiento, se tiene un material con humedad superior a su límite plástico. En tal sentido, se junta de nuevo todo el material formando una esfera, para así manipularla con las manos, produciendo así su pérdida de humedad.

Se repiten los pasos anteriores hasta lograr que el material alcance el diámetro de 3,2 mm, hasta que se produzca un agrietamiento y desmoronamiento del mismo. Se colocan en una capsula de masa conocida y se registra el peso de muestra más recipiente.



*Figura 27:* Ensayo de limite plástico con un diámetro aproximado de 3.2 mm.

### 3.5.3.1.2 Propiedades mecánicas.

A.- Proctor modificado suelo natural

#### *Equipos*

Los equipos necesarios para este ensayo serán un molde de 4 pulgadas que tenga en promedio  $101,6 \pm 0,4$  mm ( $4,000 \pm 0,016$  pulg), con un diámetro interior  $116,4 \pm 0,5$  mm, una altura de ( $4,584 \pm 0,018$  pulg) y un volumen de  $944 \pm 14$  cm<sup>3</sup> ( $0,0333 \pm 0,0005$  pie<sup>3</sup>). (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 107).

Un martillo de compactación con un diámetro de aprox. 50.8 mm, su peso de 4536 gramos y una altura de caída de 457.2 mm.

Una regla de acero, horno con temperatura constante de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , balanza con precisión de 1 gr, tamiz N°4; herramientas en general. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 108).

#### *Procedimiento*

Para el procedimiento seleccionar el molde de compactación que en nuestro caso sería el método A, seguidamente ensamblamos el molde la base y el collar de extensión.

Para nuestro ensayo utilizaremos el método de preparación húmedo para ello preparamos cuatro sub muestras para generar la gráfica de compactación correspondiente y efectivamente tener la curva que indique la mayor densidad seca, usamos un aproximado de 2,5 kg de nuestra muestra de suelo tamizado para cada espécimen.

Teniendo el material listo y preparado, se procede a colocarlo en una bandeja o recipiente adecuado donde se añadirá agua poco a poco con una probeta para el proceso de mezclado y humedecimiento de la muestra. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 110)



Figura 28: Preparación de la mezcla del suelo para ensayo de próctor modificado



Figura 29: Mezclado suelo preparado y colocar en bolsas para su saturación.

Determinar un valor cercano a la humedad óptima y para los siguientes tres especímenes tomaremos tres por encima y dos por debajo o viceversa. En seguida, realizamos los cálculos para determinar cuál será la cantidad de agua que cumpla con las humedades determinadas para el ensayo, esta mezcla del material con el agua tiene que presentar la consistencia y humedad adecuada.

Se toma datos del molde como su peso, luego realizamos la compactación. La muestra se distribuye en cinco capas y para realizar el compactado por capa se debe proporcionar veinte y cinco (25) golpes, asegurándose que cada golpe sea con la misma energía y que alcance la altura máxima de caída, verificando siempre que la superficie del martillo esté libre de material y que el contacto sea total; en el caso de la última capa de compactación se debe de cumplir que el material sobrepase el borde del molde.

Terminada la compactación se retira el collar de extensión con ayuda de la espátula, luego se lleva a cabo el enrasado, generalmente al momento del enrasar se desprenden pequeñas partículas generando vacíos en la superficie, para solucionar este inconveniente se recomienda rellenar los vacíos con

muestra sobrante del ensayo para así tener una superficie lisa e impermeable en el enrase, terminado el procedimiento se retira la base del molde y se pesa.



Figura 30: Enrase de espécimen para su posterior pesado.

Tomamos datos de cada uno de los 4 especímenes ensayados, con sus respectivas proporciones de agua, y determinar el peso unitario seco y contenido de agua para cada espécimen (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 111)

B.- California Bearing Ratio suelo natural.

#### *Equipos*

Prensa CBR parecidas a las utilizadas en los ensayos de compresión, utilizada necesariamente para llevar a cabo la penetración de un pistón en el espécimen, este desplazamiento entre la base y la cabeza se debe regular a velocidad constante de 1.27mm (0.05") por minuto, la capacidad de la prensa y su sistema para su medida de carga debe ser 44,5 kN (10000 lbf), a más y con una precisión mínima de 44N (10 lbf) o menos. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 248).

El molde que utilizamos es de metal, cilíndrico con dimensiones, de 152,4mm  $\pm$  0,66 mm (6  $\pm$  0,026") de diámetro interior y de 177,8  $\pm$  0,46 mm (7  $\pm$  0,018") de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50,8 mm (2,0") de altura y una placa de base perforada de 9,53 mm (3/8") de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de 1,6 mm (28 1/16"). (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 248).

Un disco espaciador de metal, de forma circular, de 150,8 mm (5 15/16") de diámetro exterior y de  $61,37 \pm 0,127$  mm ( $2,416 \pm 0,005$ ") de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

Martillo de compactación como el descrito en el de ensayo de próctor modificado de operación mecánica con un diámetro de Aprox. 50.8 mm, un peso de 4536 gr. y una altura de caída de 457.2 m, (equipo modificado). (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 249)

Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149,2 mm (5 7/8") de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm (1/16") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura.

Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0,025 mm (0,001").

Dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de  $4,54 \pm 0,02$ kg.

Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.

Horno de secado capaz de mantener una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C.

Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0,1 g, tamices, de 4,76 mm (No. 4).

Materiales de uso general dentro de laboratorio como es cápsulas de aluminio, probetas, varilla para el cuarteo, cucharon mezclador, trapos, guantes, etc. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 250).

### *Procedimiento*

De toda nuestra muestra tomamos la cantidad de 5.6 kg por ensayo para cada espécimen de CBR, como ya tenemos determinada la humedad natural del suelo y la densidad máxima mediante el ensayo de próctor modificado; nos disponemos a colocar la muestra en una bandeja adecuada para realizar la mezcla entre el agua y el material se suelo, añadiremos la cantidad de agua requerida para alcanzar la humedad fija u óptima en el mezclado de la muestra;

teniendo listo la muestra de suelo con la humedad óptima se coloca en bolsas de polietileno herméticas durante 30 min para alcance su máxima saturación, para después realizar el procedimiento de compactado.



*Figura 31: Cuarteo de material colocación en bolsas para ensayo.*



*Figura 32: Mezcla del suelo y agua y saturación.*

Para el procedimiento de compactado, se tomó el peso y volumen de los moldes necesarios para el ensayo, estos datos son indispensables para cálculos posteriores, estos datos deben de estar plasmados en cada molde para su fácil identificación, seguidamente se arma el molde con el collar de metal suplementario se acomoda y ajusta; ya teniendo el molde listo, se coloca sobre una superficie firme horizontal, colocando así un trapo entre el molde y la superficie que sirva de protección y como aislante del sonido producido por los golpes.

Se coloca el disco espaciador en la base perforada, luego también se coloca papel filtro que sirve de separador entre el disco y la muestra de suelo ya que durante la compactación se puede presentarse adherencias entre la muestra y el disco.

Seguidamente, pesamos el molde incluido la base, colocamos el collar extensor y el disco espaciador dentro del molde sobre este papel filtro de igual diámetro.

Utilizamos tres moldes debido a que la prueba se realiza en los tres moldes con 56, 25 y 12 golpes por capa, con el contenido de agua correspondiente a la humedad óptima; utilizaremos 3 moldes por ensayo ya que la prueba se efectúa dando 56, 25 y 12 golpes por capa y con el contenido de agua correspondiente a la óptima; durante el proceso de compactación la curva se desarrolla para 56, 25 y 12 golpes por capa, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Terminada la compactación, se retira el collar suplementario y se enrasa el espécimen con una regla metálica cuidando que no quede vacíos y si existiera se rellenará esos vacíos con material sobrante. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 251)

Después del enrase se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, se quita el disco espaciador, colocamos papel filtro entre el molde y la base, luego tomamos lectura de los pesos. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 251)



*Figura 33: Compactado de la muestra y puesta en inmersión.*

Inmersión; colocamos sobre la superficie de la muestra invertida y sobre el papel filtro la placa perforada con vástago, y, sobre esta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo



que se ensaya, la aproximación queda dentro de los 2,27 kg correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total es menor de 4,54 kg. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, págs. 251,252)



Figura 34: Escurrecimiento de la muestra y toma de datos de penetración.



Figura 35: Muestras ya ensayadas y sacadas del molde de CBR.

### C.- California Bearing Ratio suelo con incorporación de PRT-PET.

#### *Equipos*

Prensa CBR parecidas a las utilizadas en los ensayos de compresión, utilizada necesariamente para llevar a cabo la penetración de un pistón en el espécimen, este desplazamiento entre la base y la cabeza se debe regular a velocidad constante de 1.27mm (0.05") por minuto, la capacidad de la prensa y su sistema para su medida de carga debe ser 44,5 kN (10000 lbf), a más y con una precisión mínima de 44N (10 lbf) o menos. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 248).

El molde que utilizaremos es de metal, cilíndrico con dimensiones, de 152,4mm  $\pm$  0,66 mm (6  $\pm$  0,026") de diámetro interior y de 177,8  $\pm$  0,46 mm (7  $\pm$  0,018") de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50,8 mm

(2,0") de altura y una placa de base perforada de 9,53 mm (3/8") de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de 1,6 mm (28 1/16"). (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 248)

Un disco espaciador de metal, de forma circular, de 150,8 mm (5 15/16") de diámetro exterior y de  $61,37 \pm 0,127$  mm ( $2,416 \pm 0,005$ ") de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

Martillo de compactación como el descrito en el de ensayo de próctor modificado de operación mecánica con un diámetro de aprox. 50.8 mm, un peso de 4536 gr. y una altura de caída de 457.2 m, (equipo modificado). (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 249)

Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149,2 mm (5 7/8") de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm (1/16") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura.

Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de este y medir la expansión, con aproximación de 0,025 mm (0,001"). (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 250).

Dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de  $4,54 \pm 0,02$ kg.

Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.

Horno de secado capaz de mantener una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C.

Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0,1 g, tamices, de 4,76 mm (No. 4).

Materiales de uso general dentro de laboratorio como es, capsulas de aluminio, probetas, varilla para el cuarteo, cucharon mezclador, trapos, guantes, etc. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 250).

### *Procedimiento*

De toda nuestra muestra tomamos la cantidad de 5.1 kg por ensayo para cada espécimen de CBR, como ya tenemos determinada la humedad natural del

suelo y la densidad máxima mediante el ensayo de próctor modificado; nos disponemos a colocar la muestra en una bandeja adecuada para realizar la mezcla entre el agua, el material se suelo y el PRT-PET ondulado, añadiremos la cantidad de agua requerida para alcanzar la humedad fija u óptima en el mezclado de la muestra; teniendo listo la muestra de suelo con la incorporación de PRT-PET y con la humedad óptima se coloca en bolsas de polietileno herméticas durante 30 min para alcance su máxima saturación, para después realizar el procedimiento de compactado.



Figura 36: Plástico reciclado triturado - PET ondulado.



Figura 37: Preparación y pesando los materiales suelo – PRT-PET.



Figura 38: Suelo y PRT – PET pesado para ser mezclado.



*Figura 39: Mezcla y saturación del suelo con PRT – PET.*

Para el procedimiento de compactado, se tomó el peso y volumen de los moldes necesarios para el ensayo, estos datos son indispensables para cálculos posteriores, estos datos deben de estar plasmados en cada molde para su fácil identificación, seguidamente se arma el molde con el collar de metal suplementario se acomoda y ajusta; ya teniendo el molde listo se coloca sobre una superficie firme horizontal, colocando así un trapo entre el molde y la superficie que sirva de protección y como aislante del sonido producido por los golpes.

Se coloca el disco espaciador en la base perforada, luego también se coloca papel filtro que sirve de separador entre el disco y la muestra de suelo ya que durante la compactación se puede presentarse adherencias entre la muestra y el disco.

Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre este, un disco de papel filtro del mismo diámetro.

Seguidamente pesamos el molde incluido la basa, colocamos el collar extensor y el disco espaciador dentro del molde sobre este papen filtro de igual diámetro.

Utilizamos tres moldes debido a que la prueba se realiza en los tres moldes con 56, 25 y 12 golpes por capa, con el contenido de agua correspondiente a la humedad óptima; durante el proceso de compactación la curva se desarrolla para 56, 25 y 12 golpes por capa, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.



*Figura 40:* Compactación de los especímenes y toma de datos.

Terminada la compactación, se retira el collar suplementario y se enrasa el espécimen con una regla metálica cuidando que no quede vacíos y si existiera, se rellena esos vacíos con material sobrante. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 251)

Después del enrase, se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, se quita el disco espaciador, colocamos papel filtro entre el molde y la base, luego tomamos lectura de los pesos. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 251).



*Figura 41:* Especímenes listos para colocarlos a la poza.

Inmersión; colocamos sobre la superficie de la muestra invertida y sobre el papel filtro la placa perforada con vástago, y, sobre esta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación queda dentro de los 2,27 kg correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total es menor de 4,54 kg. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, págs. 251,252)



Figura 42: Inmersión de muestras de CBR durante 96 horas.

Se monta el trípode sobre el borde del molde, marcando los puntos exactos de contacto de las tres patas del trípode.; esto ya que retiramos el trípode para tomar lecturas a los diferentes especímenes y lo colocamos nuevamente para tomar las lecturas siguientes; se ajusta el deformímetro y se registra la primera lectura, hora y día exacto. El ensayo tiene una duración de 96 horas, en ningún momento se puede dar por terminada la inmersión por un periodo inferior a 24 horas. Se recomienda hacer lecturas en los siguientes intervalos de tiempo.

Tabla 24

*Hora de lectura de expansión para el ensayo de CBR*

Horas	0	24	48	72	96
Lectura #	0	1	2	3	4

Fuente. Elaboración propia.



Figura 43: Lectura de expansión de la muestra.

Terminado el periodo de inmersión, se extraen del tanque los moldes con intervalos de tiempo uno tras otro, se escurre el agua retenida en la parte superior, sujetando firmemente las sobrecargas en su respectiva posición; luego, se deja escurrir el agua por 15 minutos, seguidamente retiramos las sobrecargas incluida la placa perforada; inmediatamente se pesa y se coloca en la prensa CBR para el ensayo de penetración, es muy importante no dejar que

transcurra más tiempo después de sacar las sobrecargas para realizar el ensayo de penetración. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 252).



Figura 44: Resistencia a la penetración y toma de datos.



Figura 45: Muestras después del ensayo de penetración.



Figura 46: Muestras después del ensayo de penetración.

En la Figura 46, se muestra los especímenes ensayados en suelo natural con la incorporación de PRT – PET ondulado y el cuadro de porcentajes de dosificaciones que fueron ensayados y se observa los resultados obtenidos en la cual se obtuvo la dosificación óptima para la investigación.



Figura 47: Muestras de suelo con PET-liso y suelo con PRT ondulado.

La Figura 47, finalmente, se muestra los especímenes ensayados con incorporación de PRT – PET liso, suelo natural y con la incorporación de PRT – PET ondulado, observándose la diferencia en compactación de cada espécimen y el material dentro de cada uno.

### 3.6 Técnicas e instrumentos

#### 3.6.1 Técnicas.

Se utilizó la técnica de la observación directa para recabar los datos, (Deza y Muñoz, 2012). Afirma: “la observación resulta siendo un método fundamental de cualquier tipo de investigación, en ellas se basa el investigador para conseguir mayor cantidad de datos”

Para nuestra tesis, se utilizó la observación directa que puede definirse como la inspección directa realizada a un fenómeno, para determinar los aspectos inherentes a sus características y comportamiento.

Se inicia con la visita al lugar para inspeccionar la composición estratigráfica del suelo a lo largo del tramo que comprende nuestra investigación, se realizaron tres calicatas obteniéndose 03 muestras representativas del tramo, las que fueron llevadas al laboratorio para la realización de ensayos correspondientes al desarrollo de nuestra investigación, ya procesados los datos y obtenidos los resultados se procedió a la elaboración de las conclusiones y recomendaciones de nuestra investigación.



### 3.6.2 Instrumentos

Referido a aquella información que nos ayuda a organizar de mejor manera, así tenemos la relación de formatos usados según el tipo de ensayo realizado en el desarrollo de nuestra investigación.

Tabla 25  
*Formatos de resultados de ensayos a realizar.*

Norma	Formato de ensayo	Suelo natural	Suelo + PRT-PET
MTC E 108	Determinación de la humedad natural	X	
MTC E 107	Análisis granulométrico de suelos por tamizado	X	
MTC E 109	Análisis granulométrico por medio del hidrómetro	X	
MTC E 110	Límites de consistencia	X	
MTC E 111			
MTC E 115	Próctor modificado	X	X
MTC E 132	Relación de Soporte de California (CBR)	X	X
NTP 400.04	Análisis físico químico suelo natural	X	

*Nota:* La tabla muestra los ensayos que se realizaron durante la investigación para obtener los datos necesarios (*Fuente Elaboración propia*)

### 3.7 Consideraciones éticas

Es una reflexión acerca de la responsabilidad que debe tener el estudiante en el desarrollo de investigación teniendo en cuenta lo que es la ética en la investigación, así como la voluntad de investigar, la aceptación de equivocación, la autocrítica, el saber reconocer al trabajo ajeno y la responsabilidad social. Se debe también tomar en cuenta la legitimidad al buscar información, en el desarrollo de la investigación y en la publicación de resultados, entendido lo descrito, afirmamos nuestra formación ética profesional en base a respeto, sinceridad, honestidad y legitimidad en el proceso tanto del desarrollo y difusión de nuestra investigación.

### 3.8 Procesamiento de datos

Para procesar los datos referidos a lo que es estadística en nuestra investigación usamos como método para la contratación de nuestra hipótesis la prueba “t” de Student con una distribución de diferencia de medias, utilizado para muestras pequeñas como es nuestro caso, con lo cual determinamos si la hipótesis nula es cierta; el medio del cual nos servimos fueron: programa estadístico informático Spss que fue utilizado en la captura y en el análisis de datos, para la creación de tablas y gráficas de data compleja, los programas informáticos de excel que nos ayudó con los datos numéricos y word nos fue útil en el procesamiento de palabras, también usamos el programa autocad como apoyo gráfico.

## Capítulo 4

### Resultado y Discusión

#### 4.1 Resultados

##### 4.1.1 A nivel de la variable X / I.

##### *4.1.1.1 Obtención de las propiedades físicas, mecánicas y químicas.*

##### *4.1.1.1.1 Propiedades físicas.*

- Determinación del contenido de humedad.

El contenido de humedad nos da una aproximación al contenido óptimo de humedad que debe tener el suelo para una buena compactación. Así obtuvimos:

Tabla 26

*Contenido de humedad.*

Progresiva (Km)	Contenido de humedad		
	Calicata	Profundidad(m)	(W%)
0 + 050	C - 01	1.50	17.40
0 + 200	C - 02	1.50	16.80
0 + 350	C - 03	1.50	15.80

*Fuente. Elaboración propia*

En la Tabla 26, observamos, el promedio del contenido de humedad de la sub rasante de las 03 calicatas realizadas en la vía en estudio, resulta 16.7%. La muestra en estudio C-02, tiene un contenido de humedad de 16.8%, este dato servirá de referencia para contrastar posteriormente con el contenido óptimo de humedad del suelo que se obtenga.

➤ Análisis granulométrico por tamizado.

Se realiza este ensayo a las 03 calicatas en estudio, para poder clasificar el suelo al cual corresponde cada una de ellas.

Tabla 27

Análisis granulométrico por tamizado.

Tamiz	Malla mm	% Pasante		
		C-01	C-02	C-03
2"	50.80	100.00	100.00	100.00
1 ½"	38.10	100.00	100.00	100.00
1"	25.40	100.00	100.00	98.80
¾"	19.00	100.00	100.00	96.60
½"	12.50	99.70	99.70	93.90
3/8"	9.50	99.00	98.90	92.20
Nº 4	4.75	96.60	96.30	87.50
Nº 10	2.00	93.80	93.20	82.00
Nº 20	0.84	92.30	91.50	76.20
Nº 40	0.425	91.40	90.50	71.40
Nº 50	0.30	90.90	89.90	69.00
Nº 80	0.177	89.70	88.60	65.40
Nº 100	0.15	88.90	87.70	62.70
Nº 200	0.075	56.67	79.10	58.50

Fuente. Elaboración propia

La Tabla 27, muestra el resumen del ensayo granulométrico practicado a las 03 calicatas, en el que se observa que en la C-01 y C-03 en promedio, el 57.6% pasa la malla Nº 200; mientras que en la C-02 el 79.10% pasa la malla Nº 200 lo que indica mayor contenido de finos.

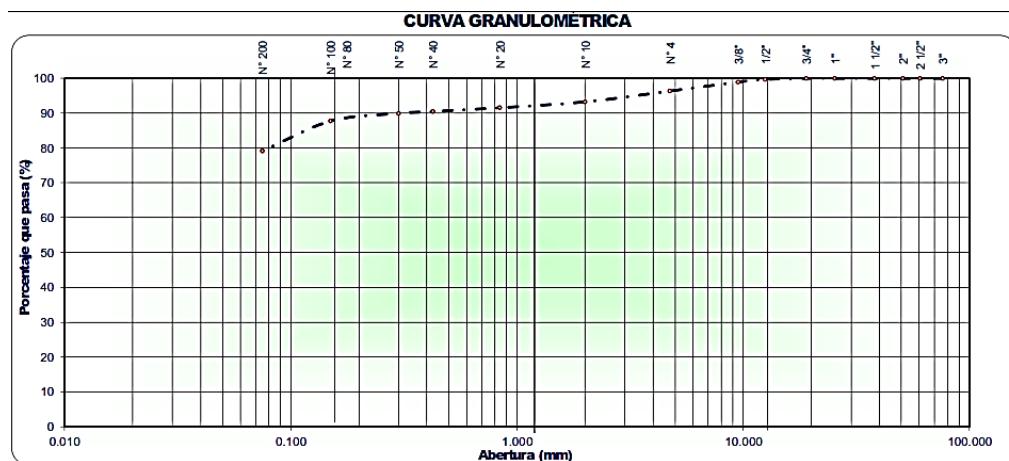


Figura 48: Curva granulométrica calicata 02

Tabla 28

*Contenido de material en porcentaje según calicata.*

Material	C-01	C-02	C-03
Grava	3.37%	3.68%	12.54%
Arena	39.96%	17.22%	28.96%
Limo y arcilla	56.67%	79.10%	58.50%

*Fuente. Elaboración propia*

La Tabla 28, muestra el material correspondiente a grava, arena y arcillas en las 03 calicatas, la calicata 01 y 02 presentan bajo contenido en gravas en promedio 3.53% y 12.54%, la calicata 03; en lo que se refiere a arena la calicata 02 presenta 17.22% que es el menor contenido respecto a las otras 02 calicatas, respecto a finos la calicata 02 tiene el mayor porcentaje 79.10% de contenido fino entre limos y arcillas.

➤ Por sedimentación.

Por simple observación de los estratos de las calicatas y al realizar el ensayo granulométrico y los límites de Atterberg. Podemos deducir que la calicata C-02 que representa la muestra en estudio. Posee textura muy fina en comparación a las otras 02 calicatas y requiere de este ensayo para conocer a mayor detalle su composición.

Tabla 29

*Análisis granulométrico por sedimentación*

Calicata 02	
Diámetro	% Pasante
0.045	53%
0.032	49%
0.021	44%
0.015	37%
0.012	34%
0.009	28%
0.006	22%
0.003	13%
0.001	6%

*Fuente. Elaboración propia*

La calicata 02 contiene poca cantidad de grava y bastante fino por lo que su granulometría tiende a ser uniforme, es así que la capacidad de soporte es baja según el ensayo realizado.

➤ Gravedad específica.

Este dato resulta necesario para poder realizar el ensayo de análisis granulométrico por sedimentación. Así, tenemos:

Tabla 30  
*Gravedad específica*

Progresiva (Km)	Calicata	Profundidad(m)	GE
0 + 200	C - 02	1.50	2.74

*Fuente. Elaboración propia*

➤ Determinación de los límites de Atterberg.

Las muestras de suelo de las 03 calicatas analizadas presentan plasticidad media a baja.

Tabla 31  
*Límites de Atterberg de las tres calicatas realizadas.*

Progresiva (Km)	Calicata	L.L	L.P	I.P
0 + 050	C - 01	29.00	18.00	11.00
0 + 200	C - 02	28.00	18.00	10.00
0 + 350	C - 03	29.00	19.00	10.00

*Fuente. Elaboración propia*

Según los valores que muestra la tabla 31, de acuerdo al Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, podemos deducir que los valores de IP de las calicatas C-01, C-02 y C-03 se encuentran entre  $7 < IP \leq 20$ ; se tratan de suelos arcillosos de mediana plasticidad; de los datos obtenidos la C-02 considerada como muestra de investigación y ubicada en la progresiva 0+200 km, tiene un LL de 28.00 un LP de 18.00 y un IP de 10.

➤ Clasificación SUCS Y ASSHTO

Para la clasificación SUCS, se considera de la granulometría, los datos de los porcentajes que pasan por la malla N° 200 Y N° 4. Además de las características plásticas, Para la clasificación ASSHTO, se considera de la granulometría, los datos de los porcentajes que pasan por la malla N° 10 Y N° 40 Y N° 200, las características plásticas

además el índice de grupo con el que podremos calificar si es apto o no el suelo para sub rasante de acuerdo a la tabla que contiene el Manual de Carreteras.

Tabla 32  
*Clasificación de suelos SUCS y AASHTO*

Progresiva (Km)	Calicata	Clasificación SUCS	AASHTO
0 + 050	C - 01	CL - Arcilla y limos de mediana a baja plasticidad.	A-6 (7)
0 + 200	C - 02	CL - Arcilla inorgánica de mediana a baja plasticidad.	A-4 (6)
0 + 350	C - 03	CL - Arcilla y limos de baja plasticidad.	A-4 (3)

*Fuente. Referente de la carta de plasticidad, tabla de clasificación de suelos según AASHTO. Elaboración propia.*

Según se muestra en la tabla 32 y de acuerdo al Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, las calicatas C-01 y C-02, están entre los rangos  $4 < IG < 9$ , caracterizados como suelo de sub rasante insuficiente o pobre, mientras que la calicata C-03 se encuentra entre el rango  $2 < IG < 4$ , caracterizada como suelo de sub rasante regular que no necesita mejoramiento del suelo para sub rasante, con lo que quedó descartado como suelo en estudio para nuestra investigación.

#### 4.1.1.1.2 Propiedades Mecánicas.

➤ Próctor modificado muestra natural.

Se determinó la relación entre contenido de humedad y peso específico seco para después obtener la curva compactación de la muestra de suelo con el objeto de determinar la MDS para un OCH.

Tabla 33  
*Resumen de próctor modificado.*

Progresiva (Km)	Calicata	MDS	OCH
0 + 050	C - 01	1.875	14.0
0 + 200	C - 02	1.929	14.2
0 + 350	C - 03	1.931	13.7

*Fuente. Elaboración propia.*

La Tabla 26, muestra que el contenido de humedad natural de la calicata 02 es 16.80 valor que resulta siendo superior al valor del contenido de humedad óptima que es 14.2 que se observa en la Tabla 33 El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento para este caso y según la saturación del suelo, recomienda aumentar la energía de compactación, airear el suelo o reemplazar el material saturado.

➤ Ensayo CBR muestra natural.

Se realizó ensayos de CBR a las 03 muestras de suelo natural extraídas, se obtuvieron valores los cuales nos permitieron seleccionar cuál de las 03 calicatas contiene el tipo de suelo conveniente para mejorar la sub rasante, ya teniendo un valor inicial de partida del CBR y expansión del suelo natural, posteriormente pudimos compararlo con los valores de CBR que resultaron de la incorporación de PRT-PET en sus diferentes dosificaciones. Valores que deben resultar mayores al valor inicial.

Tabla 34  
Resumen de CBR muestra natural.

C-01			C-02			C-03		
CBR a 1''		Exp.	CBR a 1''		Exp.	CBR a 1''		Exp.
100%MDS	95%MDS		100%MDS	95%MDS		100%MDS	95%MDS	
3.4	2.6	1.3	5.2	3.4	1.1	14.5	10.4	1.2

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 34 se puede observar que la muestra de la C-01 está categorizada como So sub rasante inadecuada cuyo  $CBR < 3\%$  y no es apta para ser usada como sub rasante, la muestra de la C-03 corresponde a la categoría S2 sub rasante regular con valores de  $6\% \geq CBR < 20\%$  que no requiere mejoramiento; mientras que la calicata 02 es categorizada como S1 sub rasante pobre con  $3\% \geq CBR < 6\%$  la cual requiere de mejoramiento para ser utilizada por lo que resulta conveniente para nuestro estudio, con la incorporación de PRT-PET en sus diferentes porcentajes y texturas se logrará incrementar este valor de CBR.

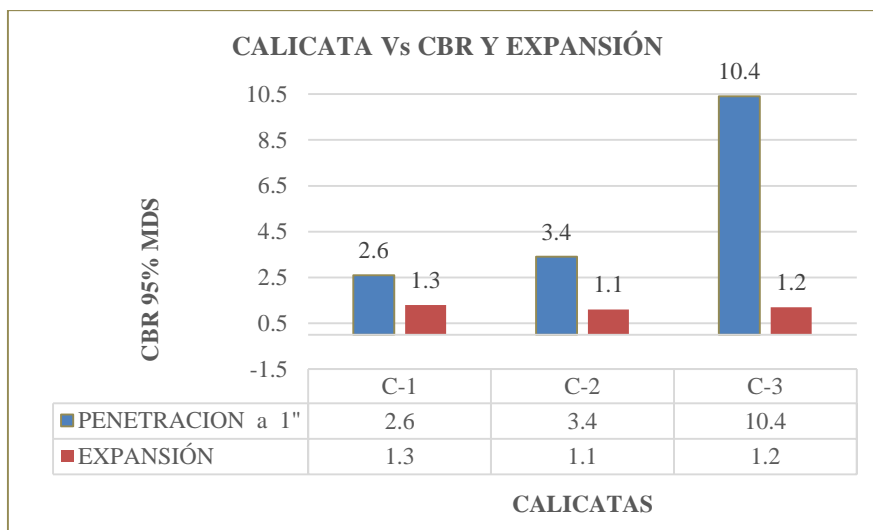


Ilustración 1: Calicata Vs valor de CBR y expansión.

Fuente. Elaboración propia.

La Ilustración 1, muestra los resultados de CBR y expansión obtenidos de las 03 calicatas en estudio, la primera resultado siendo es inadecuada, la segunda es conveniente para nuestro estudio y la tercera no requiere mejoramiento.

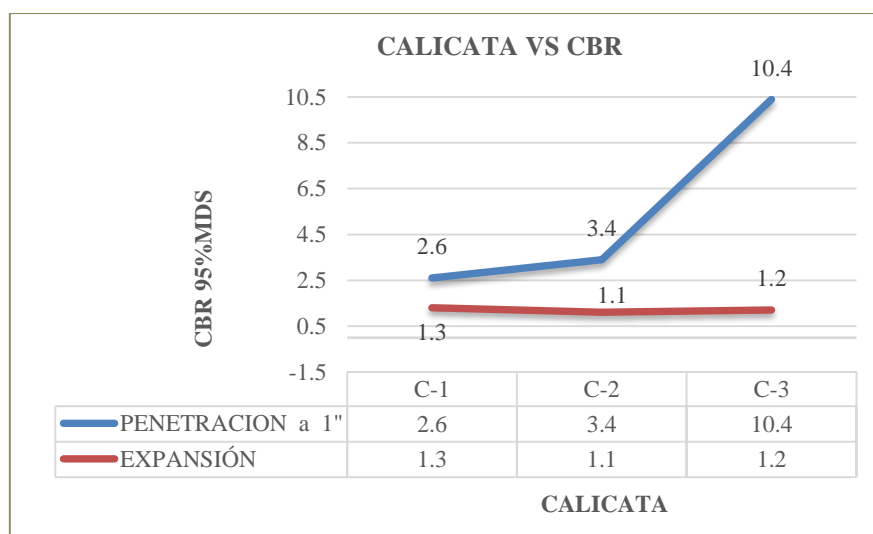


Ilustración 2: Calicata Vs CBR Y expansión.

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 35

Datos de CBR suelo natural en C-02.

MDS	COH	CBR%		Expansión.
		100%MDS	95%MDS	
1.929	14.2	5.2	3.4	1.1

Fuente. Elaboración propia.



La Tabla 35, muestra el resumen de los datos correspondiente a la calicata 02, el cual sirvió como valor de partida para determinar el porcentaje de incremento con la incorporación de plástico.

#### 4.1.1.1.3 Propiedades químicas.

Para realizar este ensayo, se toma el suelo que se obtiene de la calicata 02, el ensayo fue realizado en el laboratorio de análisis químico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco según la NTP 400.042 o ASTM C114 que determina el contenido de sales solubles totales en un suelo, del ensayo se tiene lo siguiente:

Tabla 36

*Datos de análisis físico químico C-02 suelo natural.*

Resultado análisis, físico químico	
Ph	8.30
Cloruros %	0.0071
Sulfatos %	0.0388
Materia orgánica %	0.20
Sales solubles totales %	0.1194

*Fuente. Elaboración propia.*

De la Tabla 36, se deduce que el contenido de materia orgánica y sales solubles en el suelo son bajos y no resultan perjudiciales para la sub rasante.

Tabla 37

*Datos técnicos del PET*

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,34 – 1,39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0,01 – 0,04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10-4 / °C	15,2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3,65
Absorción de agua (24 h)	%	0,02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

*Fuente: Industria del plástico. plástico industrial. Richardson y Lokensgard.*

De la Tabla 37, se tiene los valores y unidades proporcionados por la industria del plástico Richardson y Lokensgard que nos permiten tener rangos de estudio del polietileno teleftalato.

#### 4.1.2 A nivel de la variable Y / D.

##### 4.1.2.1 Obtención de las propiedades mecánicas con incorporación de PRT-PET.

Determinación de la granulometría, textura y dosificación.

##### 4.1.2.1.1 Ensayo CBR para determinación de granulometría ideal de PRT-PET.

Se realizaron 03 ensayos de CBR al 2% de incorporación de PRT-PET, con las tres granulometrías de PRT-PET: Pasante la malla 1/2" y retenida en el tamiz de 3/8", PRT-PET pasante la malla 3/8" y retenida en el tamiz N° 4 Y PRT-PET pasante tamiz de 3/8" y retenida en la malla N° 200.



Figura 49: Muestra para la selección de PRT-PET

Tabla 38

Resumen de tamaño de PRT-PET

	Pasante		Retenido	
	Tamiz	mm	Tamiz	mm
Ensayo 1	1/2"	12.50	3/8"	9.50
Ensayo 2	3/8"	9.50	4	4.75
Ensayo 3	3/8"	9.50	200	0.075

Fuente. Elaboración propia

En la Tabla 38, se observa las tres granulometrías con las cuales se realizó los ensayos de CBR respectivos.

Tabla 39

Relación de ensayos de CBR con incorporación de PRT-PET al 2%.

Ensayos de CBR al 2%						
N°	Ensayo	Granulometría		PRT - PET liso		Expansión
		Pasante	Retenido	Penetración 1"		
				100% MDS	95% mds	
1				2.40	1.92	1.39
2	1	1/2"	3/8"	2.43	1.88	1.41
3				2.37	1.90	1.40
4				4.90	3.81	1.08
5	2	3/8"	4	4.87	3.80	1.12
6				4.93	3.79	1.10
7				5.90	4.18	1.02
8	3	3/8"	200	5.91	4.20	1.00
9				5.89	4.22	0.98

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 40

Resumen de CBR con incorporación de PRT-PET al 2%.

Ensayo 1			Ensayo 2			Ensayo 3		
CBR a 1"		Exp.	CBR a 1"		Exp.	CBR a 1"		Exp.
100%MDS	95%MDS		100%MDS	95%MDS		100%MDS	95%MDS	
2.4	1.9	1.4	4.9	3.8	1.1	5.9	4.2	1.00
Incr. %	---	27	Incr. %	12	---	Incr. %	24	---
Red. %	56	---	Red. %	---	---	Red. %	---	9.09

Fuente. Elaboración propia.

De la Tabla 40, se deduce que en el ensayo 1 la incorporación de PRT-PET en granulometría homogénea y en dimensiones de partículas mayores a 9.50mm no contribuyen a incrementar el valor de CBR de la muestra natural; más por el contrario, crean en la muestra porosidades al interior de ella, los cuales lo hacen más expansivo y menos resistente a la penetración; mientras, que en el ensayo 2 se observa que a medida que se reduce la dimensión de las partículas, el valor de CBR incrementa al 12% y la expansión se mantiene; quedando el ensayo 3 como la mejor opción de incorporación granulométrica de PRT-PET debido a que presenta una granulometría heterogénea y de menor tamaño con partículas que varía entre 9.50 mm y 0.075mm. Mejorando el valor de CBR del suelo natural al 95% de la MDS de 3.4 a 4.2%, incrementándose aproximadamente en un 24% a la vez que la expansión reduce en un 9.09%. Con el que quedó definida la granulometría a utilizar para los ensayos posteriores.



Figura 50: Muestra 03 - plástico reciclado triturado -PET.

#### 4.1.2.1.2 Ensayo CBR para determinación de textura ideal de PRT-PET.

De igual manera, se realizaron 2 ensayos de CBR al 2% de incorporación de PRT-PET, con dos tipos de texturas de PRT-PET liso y PRT-PET ondulado, obteniéndose:

Tabla 41

*Resumen de textura seleccionada de PRT-PET*

	Pasante		Retenido		Textura
	Tamiz	mm	Tamiz	mm	
Ensayo 1	3/8"	9.50	200	0.075	Liso
Ensayo 2	3/8"	9.50	200	0.075	ondulado

Fuente. Elaboración propia

En la Tabla 41, se observa los dos tipos de textura con las que se realizaron los ensayos de CBR.

Tabla 42

*Relación de ensayos de CBR con incorporación al 2% de PRT-PET según texturas.*

Porcentaje	Ensayos de CBR para la obtención de textura de PRT - PET					
	PRT - PET liso			PRT - PET ondulado		
	Penetración 1"		Expansión	Penetración 1"		Expansión
	100% MDS	95%MDS		100% MDS	95%MDS	
2%	5.90	4.20	0.99	6.00	4.45	0.90
	5.85	4.18	1.05	5.97	4.50	0.89
	5.95	4.21	0.95	6.03	4.55	0.90

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 43

*Resumen de CBR con incorporación al 2% de PRT-PET según texturas utilizadas.*

Ensayo 1: Liso			Ensayo 2: Ondulado		
CBR a 1''		Expans.	CBR a 1''		Expans.
100%MDS	95 %MDS		100%MDS	95%MDS	
5.9	4.2	1.0	6.0	4.5	0.90
Incr. %	24	---	Incr. %	32	---
Red. %	---	9.09	Red. %	---	18

*Fuente. Elaboración propia*

Según la Tabla 43, se aprecia que el valor de CBR en los dos ensayos incrementa similarmente respecto al valor inicial de CBR del suelo, aclarando que el ensayo 2 realizado con textura de PRT-PET ondulado presenta mejores resultados. Con lo que pasamos a determinar la dosificación ideal de contenido de PRT-PET para el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

#### *4.1.2.1.3 Ensayo CBR para determinación de la dosificación óptima de PRT-PET.*

##### ➤ Incorporación de PRT-PET liso

Para determinar el porcentaje al cual se consigue un mayor valor de CBR, se realizaron 5 ensayos en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4% y 5% como se observa:

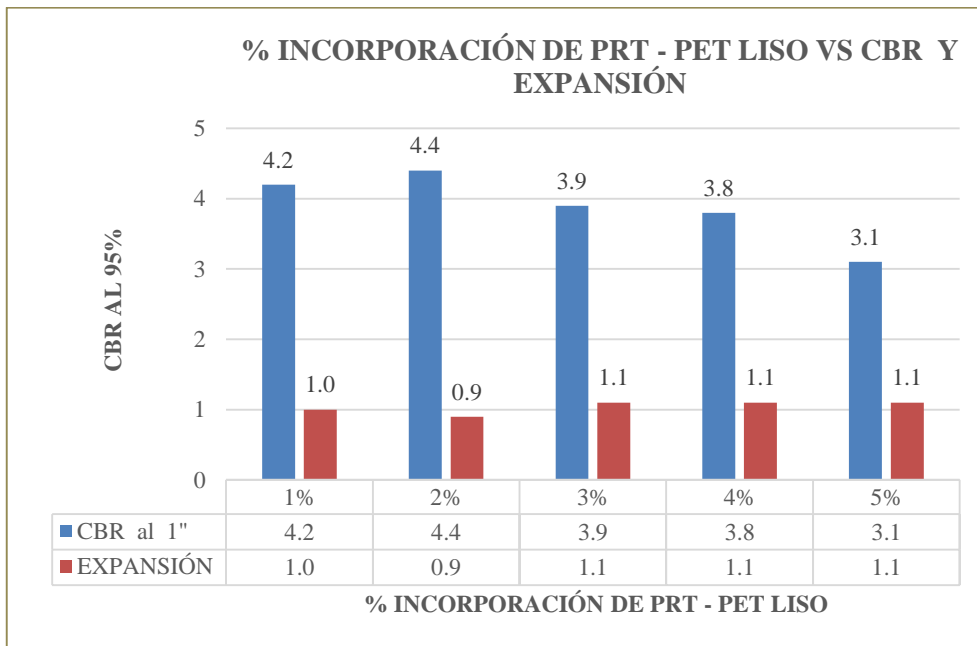
Tabla 44

*Relación de ensayos de CBR según incorporación de PRT-PET liso.*

Ensayos de CBR textura lisa				
Incorporación	Penetración 1"		Expansión	
	100% MDS	95%MDS		
1		5.79	4.19	0.98
2	1%	5.82	4.21	1.01
3		5.80	4.20	1.00
4		5.90	4.40	0.90
5	2%	5.91	4.41	0.89
6		5.89	4.39	0.91
7		5.61	3.9	1.10
8	3%	5.60	3.95	1.00
9		5.59	3.85	1.20
10		5.10	3.79	1.07
11	4%	5.05	3.80	1.10
12		5.15	3.81	1.13
13		4.17	3.10	1.11
14	5%	4.03	3.13	1.09
15		4.10	3.07	1.10

*Fuente. Elaboración propia.*

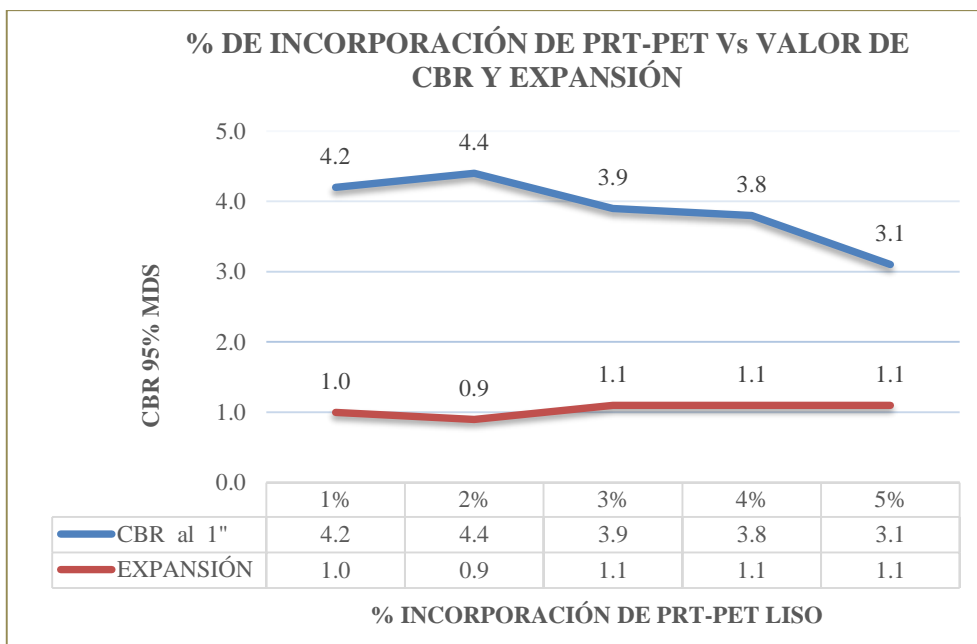
La Tabla 44, muestra, la relación de ensayos de CBR y expansión practicados según incorporación de PRT-PET en un número de tres repeticiones por ensayo.



*Ilustración 3: Incorporación de PRT-PET liso Vs CBR y expansión*

*Fuente. Elaboración propia*

En la Ilustración 3, se observa el crecimiento en CBR y la reducción de la expansión según los porcentajes de incorporación de PRT-PET liso al 1%,2% 3%,4% y 5% teniendo como referencia el valor de CBR y expansión inicial.



*Ilustración 4: Incorporación de PRT-PET liso Vs valor de CBR y expansión.*

*Fuente. Elaboración propia.*

En la Ilustración 4, se observa que respecto al valor inicial del suelo natural tanto en CBR de 3.4% como en expansión de 1.1%; incorporando al suelo natural PRT-PET liso al 2%, se obtuvo; un máximo valor de CBR de 4.4% y una expansión de 0.9%, valores que representan el mejoramiento del suelo tanto en incremento y reducción respectivamente.

Tabla 45

Resumen de ensayos de CBR con incorporación de PRT-PET liso.

Ensayo CBR con incorporación % PRT-PET Liso														
Pasante 3/8" (9.50mm) – retenido 200 (0.05mm).														
Ensayo 1			Ensayo 2			Ensayo 3			Ensayo 4			Ensayo 5		
1%			2%			3%			4%			5%		
CBR a 1"			CBR a 1"			CBR a 1"			CBR a 1"			CBR a 1"		
100	95	Ex.	100	95	Ex.	100	95	Ex.	100	95	Ex.	100	95	Ex.
5.8	4.2	1.0	5.9	4.4	0.9	5.6	3.9	1.1	5.1	3.8	1.1	4.1	3.1	1.1
Inc.	24	---	Inc.	29	---	Inc.	15	---	Inc.	12	12	Inc.	---	---
Red.	---	---	Red.	---	18	Red.	--	---	Red.	---	9	Red.	9	---

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 45, se muestra los valores del CBR y expansión expresados en incremento y reducción, respectivamente, obtenidos con la incorporación de PRT-PET liso al 1%, 2%, 3%, 4% y 5%, así tenemos que los valores máximos alcanzados fueron al 2% de incorporación de PRT-PET liso, incrementándose el CBR a 29% y una reducción de la expansión a 18% respecto al suelo natural.

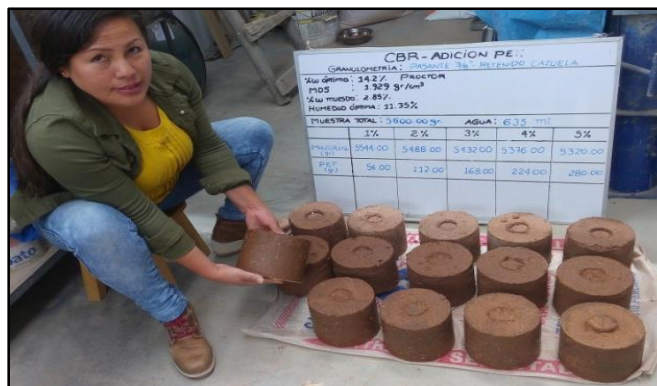


Figura 51: Muestra 03 con PRT – PET.

➤ Incorporación de PRT-PET ondulado.

Según los resultados que se obtuvieron del ensayo de CBR con la incorporación de PRT-PET de textura lisa, deducimos que la muestra natural mejora, si el

plástico adquiere mayor rugosidad, con lo que se procedió a exponer el PRT-PET liso a una temperatura de 100°C por un periodo de 10 minutos, obteniendo partículas de PRT-PET con textura ondulada. Sabemos que las arcillas se caracterizan por tener granulometría uniforme o mal graduada carente de fricción entre sus partículas, la incorporación del PRT-PET ondulado contribuirá a crear fricción o rozamiento entre sus partículas, por tanto, mejorará su resistencia. Repetimos el ensayo en 6 porcentajes de incorporación.



Figura 52: Temperatura de ondulado de material -PRT-PET liso.

La Figura 53, muestra el proceso de transformación del PRT-PET de textura lisa a partículas de PRT-PET de textura ondulada, teniendo en cuenta la temperatura de 100°C y el tiempo de exposición de 12 minutos.

Tabla 46

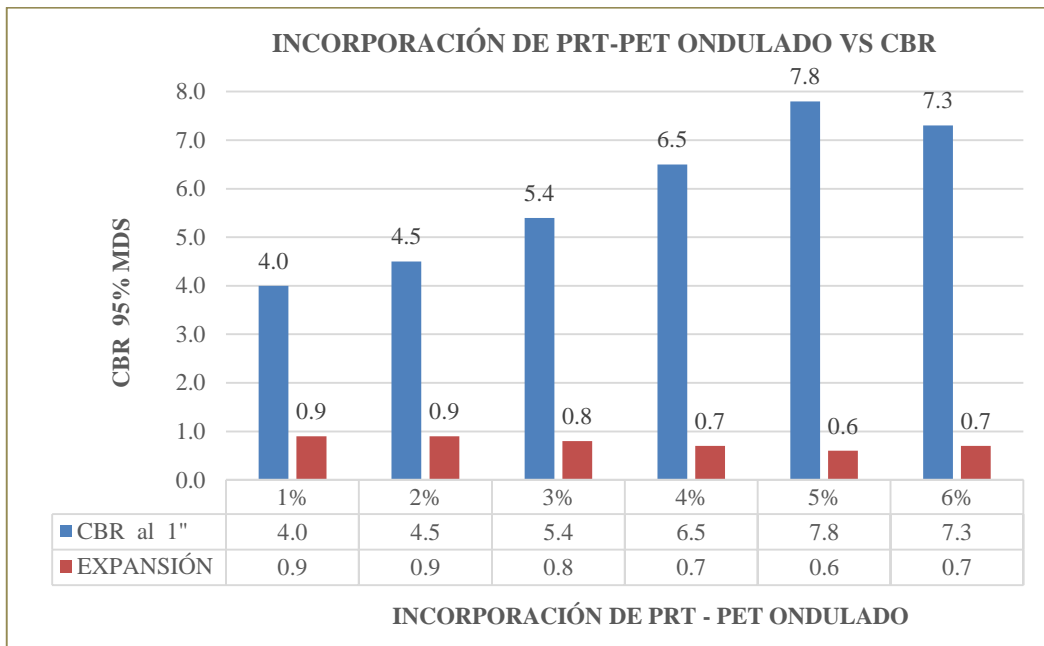
*Relación de ensayos de CBR según incorporación de PRT-PET ondulado.*

Ensayos de CBR textura ondulada				
N°	Incorporación	Penetración 1"		Expansión
		100% MDS	95% MDS	
1		5.60	4.00	0.89
2	1%	5.62	4.05	0.90
3		5.58	3.95	0.91
4		6.00	4.45	0.90
5	2%	5.97	4.50	0.89
6		6.03	4.55	0.90
7		6.67	5.38	0.80
8	3%	6.70	5.42	0.81
9		6.73	5.40	0.79
10		7.30	6.50	0.70
11	4%	7.40	6.48	0.72
12		7.50	6.52	0.68
13		8.49	7.80	0.61
14	5%	8.50	7.77	0.60
15		8.51	7.83	0.59
16		7.68	7.30	0.68
17	6%	7.72	7.31	0.70
18		7.70	7.29	0.72

Fuente: Elaboración propia.

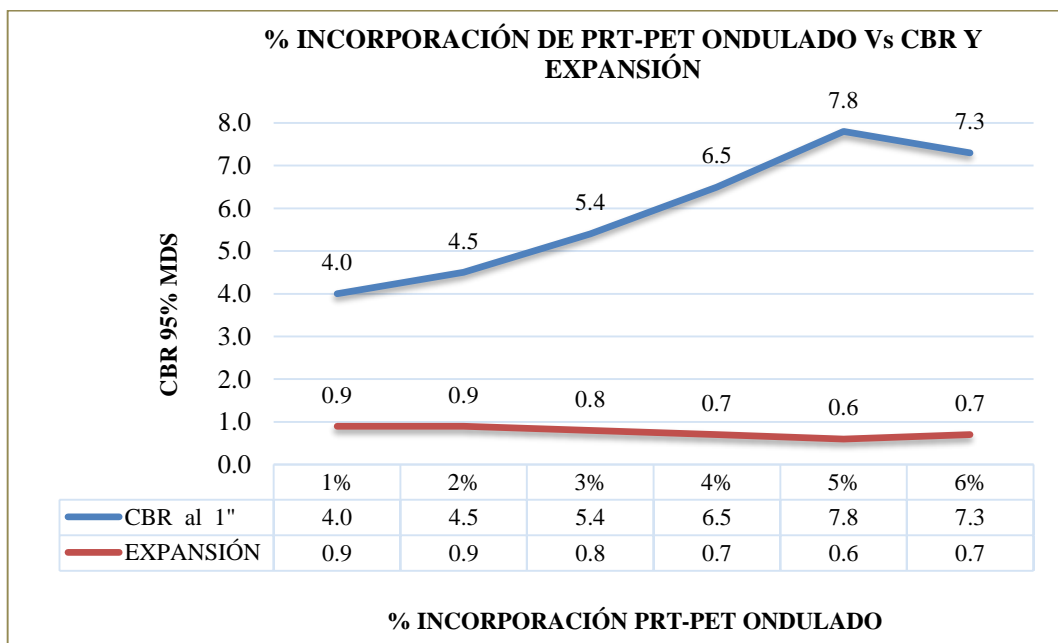


En la Tabla 46, se muestra la relación de ensayos de CBR y expansión practicados según incorporación de PRT-PET en un número de tres repeticiones por ensayo.



*Ilustración 5: Incorporación de PRT-PET ondulado Vs CBR y expansión.  
Fuente: Elaboración propia.*

En la Ilustración 5, se observa el crecimiento en CBR y la reducción de la expansión según los porcentajes de incorporación de PRT-PET ondulado al 1%,2% 3%,4%5% y 6% teniendo como referencia el valor de CBR y expansión inicial.



*Ilustración 6: Incorporación de PRT-PET ondulado vs CBR.  
Fuente: Elaboración propia.*

En la Ilustración 6, se aprecia que, respecto al valor inicial del suelo natural tanto en CBR de 3.4% como en expansión de 1.1%; incorporando al suelo natural PRT-PET ondulado al 5%, se obtuvo; un máximo valor de CBR de 7.8% y una expansión de 0.6%, valores que representan el mejoramiento del suelo tanto en incremento y reducción respectivamente.

Tabla 47

*Resumen de CBR con incorporación PRT-PET ondulado.*

CBR con incorporación % PRT-PET ondulado.																		
Pasante 3/8" (9.50mm) – retenido 200 (0.05mm).																		
Ensayo 1			Ensayo 2			Ensayo 3			Ensayo 4			Ensayo 5			Ensayo 6			
1%			2%			3%			4%			5%			6%			
CBR a 1"			CBR a 1"			CBR a 1"			CBR a 1"			CBR a 1"			CBR a 1"			
100	95	Exp.	100	95	Exp.	100	95	Exp.	100	95	Exp.	100	95	Exp.	100	95	Exp.	
5.6	4.0	0.9	6.0	4.5	0.9	6.7	5.4	0.8	7.4	6.5	0.7	8.5	7.8	0.6	7.7	7.3	0.7	
In.	18	---	In.	32	---	In.	59	---	In.	91	---	In.	129	---	In.	115	---	
Re.	---	18	Re.	---	18	Re.	--	27	Re.	---	36	Re.	---	45	Re.	---	36	

*Fuente. Elaboración propia*

En la Tabla 47, se muestra los valores del CBR y expansión expresados en incremento y reducción, respectivamente, obtenidos con la incorporación de PRT-PET ondulado en diferentes porcentajes, así tenemos que los valores máximos alcanzados fueron al 5% de incorporación de PRT-PET liso, incrementándose el CBR a 129% y una reducción de la expansión a 45% respecto al suelo natural.

## 4.2 Prueba de Hipótesis

### 4.2.1 Teoría de las muestras pequeñas o distribución t de STUDENT.

La distribución se expresa en forma de campana y simétrica, pero más achatada y con más área en los extremos, es decir, las áreas que corresponden a las regiones críticas o de rechazo. Se puede considerar que no hay una distribución "t", sino más bien una familia de distribuciones "t", dado que las desviaciones estándar se modifican a medida que se va aumentando el tamaño de la muestra, acercándose a la normal; Para muestras de tamaño  $N < 30$ , llamadas pequeñas muestras. Sin embargo, un nombre más adecuado sería teoría exacta de muestreo, puesto que los resultados obtenidos son válidos, tanto para grandes como para pequeñas muestras. (Martínez B. C., 2012, pág. 352)

**Prueba de hipótesis específica a.**

**Ho:** ( $\mu_x = \mu_y$ ) La granulometría óptima de plástico reciclado triturado – PET **no influye** en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

**Ha:** ( $\mu_x > \mu_y$ ) La granulometría óptima de plástico reciclado triturado – PET **influye** en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

Tabla 48

*Resultados de laboratorio para la obtención de granulometría óptima de PRT-PET*

ENSAYOS DE CBR PARA LA OBTENCIÓN DE GRANULOMETRÍA DE PRT - PET							
INCORPORACIÓN	GRANULOMETRÍA		PENETRACIÓN 1"		EXPANSIÓN		
	PASANTE	RETENIDO	100% MDS	95% MDS			
2%	1/2"	3/8"	2.40	1.92	1.39		
			2.43	1.88	1.41		
			2.37	1.90	1.40		
			4.90	3.81	1.08		
	3/8"	4	4.87	3.80	1.12		
			4.93	3.79	1.10		
			5.90	4.18	1.02		
			3/8"	200	5.91	4.20	1.00
					5.89	4.22	0.98

Fuente: Datos extraídos de la Tabla 40. Elaboración propia.

En la Tabla 48, se muestra los resultados representativos de los ensayos realizados para la obtención de la granulometría óptima de plástico reciclado triturado PET, para realizar la prueba de hipótesis se tomó los valores del CBR al 95% como valores máximos.

**Nivel de significancia** (alfa)  $\alpha = 5 \% = 0.05$

**Estadístico de prueba:** Se aplicó la distribución “t” de Student para diferencia entre dos medias muestrales.

Cálculo del estadístico

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}} \quad (Ec \dots 5)$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (Ec \dots 6)$$

Donde:

$\bar{x}$  : Media de la muestra x

$\bar{y}$  : Media de la muestra y

$n_1$  : Muestra x

$n_2$  : Muestra y

$s^2$  : Varianza muestral

$S_{x-y}$ : Desviación estándar

Tabla 49

*Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales en granulometría de PRT-PET*

CBR al 95% CON INCORPORACIÓN AL 2% DE PRT-PET EN GRANULOMETRÍA						
Nº MUESTRA	C/ PRT-PET (x)	$x - \bar{X}$	$(x - \bar{X})^2$	NATURAL (y)	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$
1	4.18	-0.02	0.0004	3.41	0.01	0.0001
2	4.2	0	0	3.40	0	0
3	4.22	0.02	0.0004	3.39	-0.01	0.0001
$\Sigma$	12.6	$\Sigma$	0.0008	$\Sigma$ 10.2	$\Sigma$	0.0002

Fuente Datos extraídos de la Tabla 49. Elaboración propia

Media de  $\bar{X} = 4.20$

Media de  $\bar{y} = 3.40$

Varianza muestral  $s^2 = 0.00025$

Desviación estándar  $S_{x-y} = 0.0129$

Grados de libertad = 4

Prueba distribución **t** calculado **tc** = 61.97

Valor de región crítica **tt** = 2.123 (según tabla de “t” de Student).

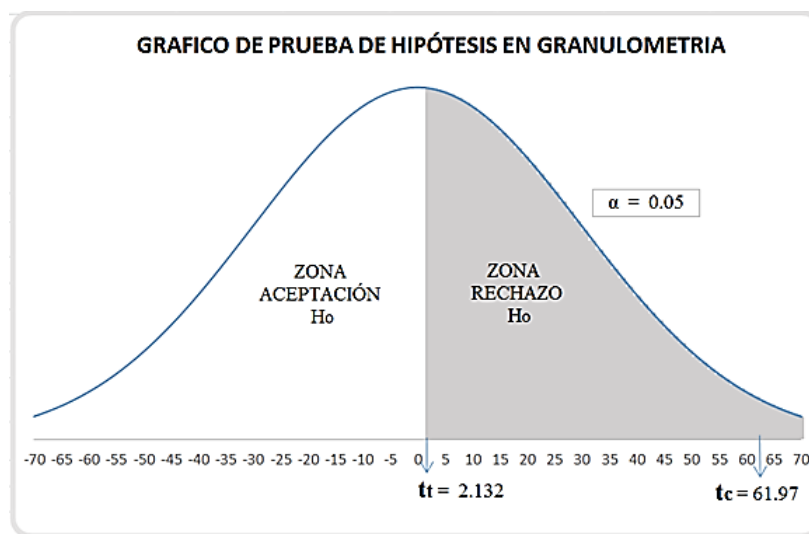


Figura 53: Verificación de los valores de **tt** y **tc** en la región crítica para granulometría Ideal.

Como el valor de **tc**  $\epsilon$  a la Región Crítica sombreada se rechaza el **Ho** y se acepta **Ha**

Tabla 50

*Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales de expansión en granulometría*

CBR AL 95% CON LA INCORPORACIÓN DE PET AL 2% - EXPANSION						
Nº MUESTRA	C/ PRT-PET (x)	$x - \bar{X}$	$(x - \bar{X})^2$	NATURAL (y)	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$
1	1.02	0.02	0.0004	1.08	-0.02	0.0004
2	1.00	0	0	1.12	0.02	0.0004
3	0.98	-0.02	0.0004	1.10	0	0
$\Sigma$	3.00	$\Sigma$	0.0008	3.30	$\Sigma$	0.0008

Fuente: Datos extraídos de la Tabla 49. Elaboración propia

Seguidamente realizamos la prueba de hipótesis según datos presentados en la tabla 49 para la expansión, así tenemos:

Media de  $\bar{X} = 1.00$

Media de  $\bar{y} = 1.10$

Varianza muestral  $s^2 = 0.0004$

Desviación estándar  $S_{x-y} = 0.0163$

Grados de libertad = 4

Prueba distribución  $t$  calculado ( $t_c$ ) = - 6.12

Valor de región crítica  $t_t = - 2.132$  (según tabla de “ $t$ ” de Student).

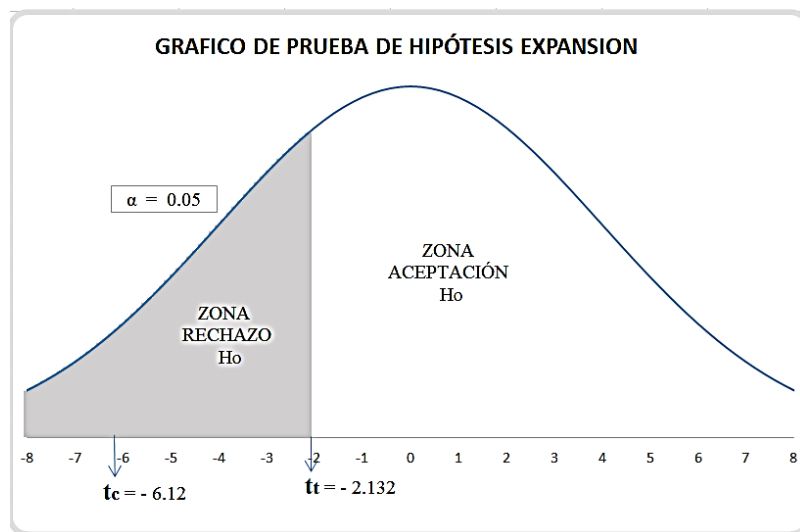


Figura 54: Verificación de  $t_t$  y  $t_c$  en la región crítica para la expansión en granulometría ideal.

Como valor de  $t_c \in$  a la Región Crítica sombreada se rechaza el  $H_0$  y se acepta  $H_a$

**$H_a$ :** (4.20 > 3.40) La granulometría óptima de plástico reciclado triturado – PET **influye** en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

Con la probabilidad de error del 0.0 % y Según prueba de hipótesis para la determinación de la granulometría óptima. Las partículas de PRT–PET con dimensiones entre 9.50 mm y 0.075 mm al 2% de incorporación, influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante incrementando 24% el valor del CBR y su expansión disminuye un 9.09%.

**Prueba de hipótesis específica b.**

**Ho:** ( $\mu_x = \mu_y$ ) La textura ideal de plástico reciclado triturado – PET **no influye** en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

**Ha:** ( $\mu_x > \mu_y$ ) La textura ideal de plástico reciclado triturado – PET **influye** en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

Tabla 51

*Resultados de CBR en laboratorio para la obtención de la textura de PRT-PET.*

PORCENTAJE	ENSAYOS DE CBR PARA LA OBTENCIÓN DE TEXTURA DE PRT – PET.					
	PRT - PET LISO			PRT - PET ONDULADO		
	PENETRACIÓN 1"		EXPANSIÓN	PENETRACIÓN 1"		EXPANSIÓN
100% MDS	95%MDS	100% MDS		95%MDS		
2%	5.90	4.20	0.99	6.00	4.45	0.90
	5.85	4.18	1.05	5.97	4.50	0.89
	5.95	4.21	0.95	6.03	4.55	0.90

*Fuente: Datos extraídos de la Tabla 43. Elaboración propia.*

En la Tabla 51, se muestra los resultados de los ensayos realizados para la obtención de la textura ideal de plástico reciclado triturado PET, para realizar la prueba de hipótesis se tomó los valores del CBR al 95% como valores máximos.

**Nivel de significancia** (alfa)  $\alpha = 5 \% = 0.05$

**Seleccionar estadístico de Prueba:** Se aplicó la distribución “t” de Student para diferencia entre dos medias muestrales.

Cálculo del estadístico:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}} \quad (Ec \dots 5)$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad Ec \dots 6)$$

Donde:

$\bar{x}$  : Media de la muestra x

$\bar{y}$  : Media de la muestra y

$n_1$  : Muestra x

$n_2$  : Muestra y

$s^2$  : Varianza muestral

$S_{x-y}$ : Desviación estándar

Tabla 52

*Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales para la textura ondulada de PRT-PET*

CBR al 95% CON LA INCORPORACIÓN AL 2% DE PRT-PET EN TEXTURA.							
Nº MUESTRA	C/ PRT-PET (x)	$x - \bar{X}$	$(x - \bar{X})^2$	NATURAL (y)	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$	
1	4.45	-0.05	0.0025	3.41	0.01	0.0001	
2	4.5	0	0	3.40	0	0	
3	4.55	0.05	0.0025	3.39	-0.01	0.0001	
$\Sigma$	13.5	$\Sigma$	0.005	$\Sigma$	10.2	$\Sigma$	0.0002

Fuente: Datos extraídos de la Tabla 52. Elaboración propia.

En la Tabla 52, se muestra el valor máximo de CBR al 95% en textura ondulada, según estos datos se realizar la prueba de hipótesis para la textura.

Media de  $\bar{X} = 4.50$

Media de  $\bar{y} = 3.40$

Varianza muestral  $s^2 = 0.0013$

Desviación estándar  $S_{x-y} = 0.0294$

Grados de libertad = 4

Prueba distribución t calculado ( $t_c$ ) = 37.37

Valor de región crítica  $t_t = 2.132$  (según tabla de “t” de Student).

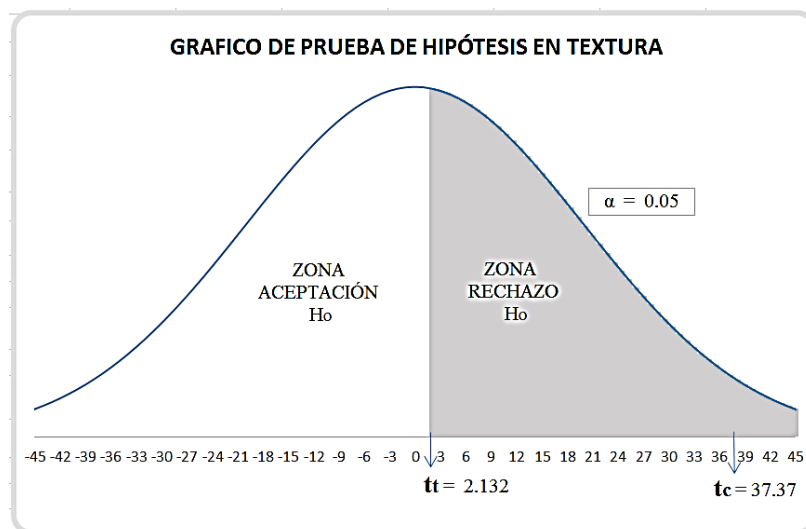


Figura 55: Verificación de  $t_t$  y  $t_c$  en la región crítica para la textura ideal.

Como el valor de  $t_c \in$  a la región crítica sombreada se rechaza el  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Tabla 53

*Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales para la expansión en textura.*

CBR AL 95% CON LA INCORPORACIÓN DE PRT-PET AL 2% - EXPANSIÓN						
Nº MUESTRA	C/ PRT-PET (x)	$x - \bar{X}$	$(x - \bar{X})^2$	NATURAL (y)	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$
1	0.90	0.0033	0.000011	1.08	-0.02	0.0004
2	0.89	-0.0067	0.000044	1.12	0.02	0.0004
3	0.90	0.0033	0.000011	1.10	0	0
$\Sigma$	2.69	$\Sigma$	0.000067	3.30	$\Sigma$	0.0008

Fuente: Datos extraídos de la Tabla 52. Elaboración propia.

Seguidamente según la Tabla 53, realizamos la prueba de hipótesis para la expansión en textura ideal.

Media de  $\bar{X} = 0.90$

Media de  $\bar{y} = 1.10$

Varianza muestral  $s^2 = 0.00022$

Desviación estándar  $S_{x-y} = 0.01202$

Grados de libertad = 4

Prueba distribución **t** calculado (**tc**) = - 16.92

Valor de región crítica **tt** = - 2.132 (según tabla de “t” de Student).

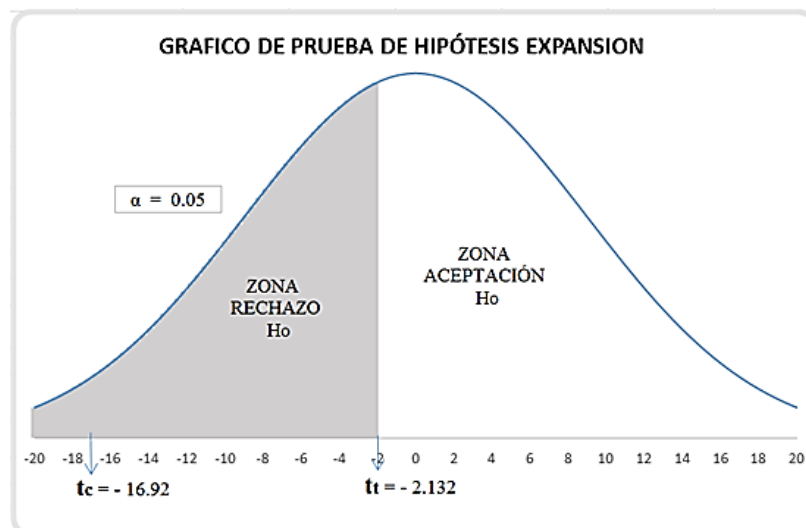


Figura 56: Verificación de **tt** y **tc** en la región crítica para la expansión en textura ideal.

Como el valor de **tc**  $\in$  a la región crítica sombreada se rechaza el **Ho** y se acepta **Ha**



**Ha:** (4.5 > 3.4) La textura ideal de plástico reciclado triturado – PET **influye** en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

Con la probabilidad de error del 0.0 % y realizando ensayos preliminares para la determinación de la textura ideal. Las partículas de PRT – PET de textura ondulada al 2% de incorporación, influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante incrementando el valor del CBR en 32%, y la expansión reduce en 18%.

**Prueba de hipótesis específica c**

**Ho:** ( $\mu_x = \mu_y$ ) La dosificación óptima de plástico reciclado triturado – PET **no influye** en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

**Ha:** ( $\mu_x > \mu_y$ ) La dosificación óptima de plástico reciclado triturado – PET **influye** en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

Tabla 54

*Resumen de resultados de laboratorio para la obtención de la dosificación.*

ENSAYOS DE CBR PARA LA OBTENCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE PRT - PET				
Nº	INCORPORACIÓN	PRT - PET ONDULADO		
		PENETRACIÓN 1"		EXPANSIÓN
		100% MDS	95%MDS	
1		5.60	4.00	0.89
2	1%	5.62	4.05	0.90
3		5.58	3.95	0.91
4		6.00	4.45	0.90
5	2%	5.97	4.50	0.89
6		6.03	4.55	0.90
7		6.67	5.38	0.80
8	3%	6.70	5.42	0.81
9		6.73	5.40	0.79
10		7.30	6.50	0.70
11	4%	7.40	6.48	0.72
12		7.50	6.52	0.68
13		8.49	7.80	0.61
14	5%	8.50	7.77	0.60
15		8.51	7.83	0.59
16		7.68	7.30	0.68
17	6%	7.72	7.31	0.70
18		7.70	7.29	0.72

*Fuente: Datos extraídos de la Tabla 47. Elaboración propia.*

En la Tabla 54, se muestra los resultados de los ensayos realizados para la obtención de la dosificación óptima de incorporación de PRT-PET, para realizar la prueba de hipótesis se tomó los valores de CBR al 95% con la incorporación del 5% de PRT-PET como valor máximo.

**Nivel de significancia (alfa)  $\alpha = 5 \% = 0.05$**

**Seleccionar estadístico de prueba:** Se aplicó la distribución “t” de Student para diferencia entre dos medias muestrales.

Cálculo del estadístico:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}} \quad (Ec \dots 5) \quad s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (Ec \dots 6)$$

Donde:

$\bar{x}$  : Media de la muestra x

$\bar{y}$  : Media de la muestra y

$n_1$  : Muestra x

$n_2$  : Muestra y

$s^2$  : Varianza muestral

$S_{x-y}$ : Desviación estándar

Tabla 55

*Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales para la dosificación de PRT- PET.*

CBR al 95% CON INCORPORACIÓN DE PRT-PET AL 5% EN DOSIFICACIÓN						
Nº	C/ PRT-PET			NATURAL		
MUESTRA	(x)	$x - \bar{X}$	$(x - \bar{X})^2$	(y)	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$
1	7.80	0	0	3.41	0.01	0.0001
2	7.77	-0.03	0.0009	3.40	0	0
3	7.83	0.03	0.0009	3.39	-0.01	0.0001
	$\Sigma$ 23.4	$\Sigma$	0.0018	$\Sigma$ 10.2	$\Sigma$	0.0002

*Fuente: Datos extraídos de la Tabla 55. Elaboración propia.*

En la Tabla 55, se muestra el valor de CBR al 95% con una dosificación del 5% de PRT-PET con estos valores se realiza la prueba de hipótesis para la dosificación óptima.

Media de  $\bar{X} = 7.80$

Media de  $\bar{y} = 3.40$

Varianza muestral  $s^2 = 0.0005$

Desviación estándar  $S_{x-y} = 0.0183$

Grados de libertad = 4

Prueba distribución  $t$  calculado ( $t_c$ ) = 241

Valor de región crítica  $tt = 2.132$  (según tabla de “ $t$ ” de Student).

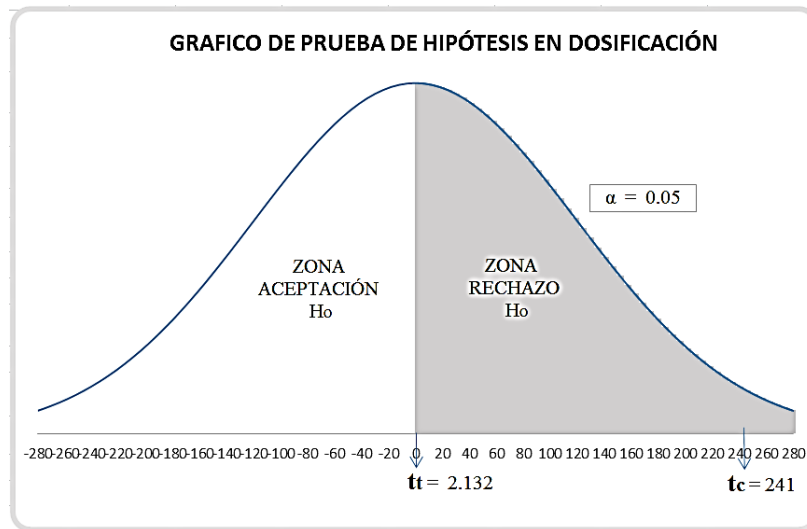


Figura 57: Verificación de  $tt$  y  $tc$  en la región crítica para la dosificación óptima.

Como el valor de  $tc$   $\epsilon$  a la región crítica sombreada se rechaza el  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Tabla 56

Estadística de la diferencia entre dos medias muestrales para la expansión en dosificación.

CBR al 95% CON LA INCORPORACIÓN DE PRT-PET AL 5% EN EXPANSIÓN						
Nº MUESTRA	C/ PRT-PET (x)	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	NATURAL (y)	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$
1	0.61	0.01	0.0001	1.08	-0.02	0.0004
2	0.60	0	0	1.12	0.02	0.0004
3	0.59	-0.01	0.0001	1.10	0	0
$\Sigma$	1.80	$\Sigma$	0.0002	3.30	$\Sigma$	0.0008

Fuente: Datos extraídos de la Tabla 55. Elaboración propia.

En la Tabla 56, se muestra el valor de CBR al 95% con una dosificación del 5% de PRT-PET con estos valores se realiza la prueba de hipótesis para la expansión en la dosificación óptima.

Media de  $x = 0.60$

Media de  $\bar{y} = 1.10$

Varianza muestral  $s^2 = 0.00025$

Desviación estándar  $S_{x-y} = 0.0129$

Grados de libertad = 4

Prueba distribución  $t$  calculado ( $t_c$ ) = - 38.73

Valor de región crítica  $t_t = - 2.132$  (según tabla de “ $t$ ” de Student).

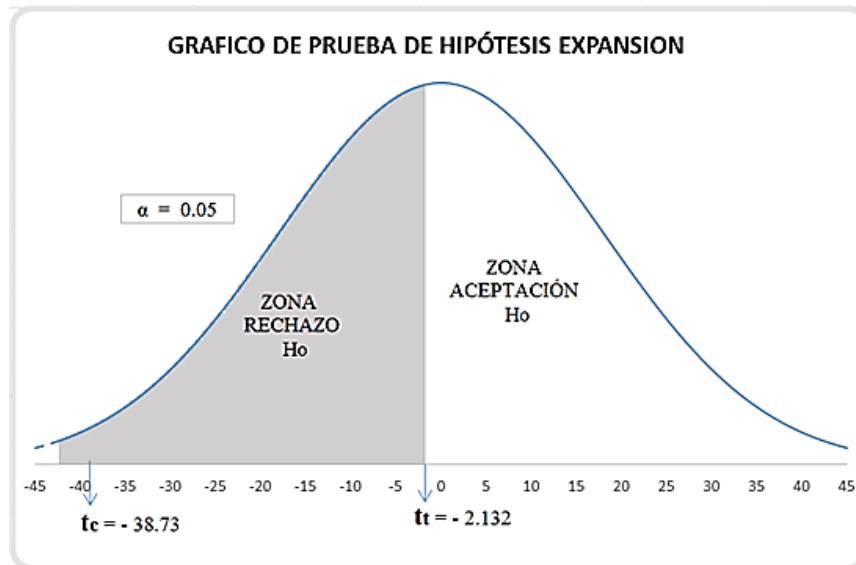


Figura 58: Verificación de  $t_t$  y  $t_c$  en la región crítica para expansión en dosificación óptima.

Como el valor de  $t_c \in$  a la región crítica sombreada se rechaza el  $H_0$  y se acepta  $H_a$

**$H_a$ :** ( $7.80 > 3.40$ ) La dosificación óptima de plástico reciclado triturado – PET **influye** en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

Con la probabilidad de error del 0.0 % y realizando los ensayos la dosificación óptima al 5% de incorporación de PRT-PET de textura ondulada, influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante incrementando el valor de CBR a 129% y la expansión reduce a 45%, respecto al valor inicial.

#### **Prueba de hipótesis específica d.**

**$H_0$ :** ( $\mu_x = 3.4$ ) La capacidad de soporte (CBR) del suelo a nivel de sub rasante **no mejora** con la incorporación de plástico reciclado triturado - PET.

**$H_a$ :** ( $\mu_x > 3.4$ ) La capacidad de soporte (CBR) del suelo a nivel de sub rasante **mejora** con la incorporación de plástico reciclado triturado - PET.

Tabla 57

*Datos de CBR con la incorporación de PRT- PET en relación a la estadística de prueba.*

DATOS DE CBR AL 95% MDS CON LA DOSIFICACIÓN DE PRT - PET					
N°	INCORPORACIÓN %	PLÁSTICO RECICLADO TRITURADO - PET ONDULADO		EXPANSIÓN	Media estadística
		CBR 95% MDS	Media Estadística		
1		4.00		0.89	
2	1%	4.05	4.00	0.90	0.90
3		3.95		0.91	
4		4.45		0.90	
5	2%	4.50	4.50	0.89	0.90
6		4.55		0.90	
7		5.38		0.80	
8	3%	5.42	5.40	0.81	0.80
9		5.40		0.79	
10		6.50		0.70	
11	4%	6.48	6.50	0.72	0.70
12		6.52		0.68	
13		7.80		0.68	
14	5%	7.77	7.80	0.70	0.70
15		7.83		0.72	
Promedio General $\bar{X}$			5.64		0.80

*Fuente: Datos extraídos de la Tabla 47. Elaboración propia.*

En la Tabla 57, se muestra datos de CBR al 95% con las diferentes adiciones en porcentaje de PRT-PET, estos resultados son procesados mediante la estadística y así se obtuvieron datos que serán usados para la prueba de hipótesis.

Tabla 58

*Resultados de suelo natural en relación a la estadística de prueba para CBR con PRT-PET*

DATOS DE CBR AL 95% MDS DEL SUELO NATURAL					
N°	SUELO NATURAL	SUELO NATURAL		EXPANSIÓN	Media estadística
		CBR 95% MDS	Media estadística		
1		3.41		1.08	
2	NATURAL	3.40	3.40	1.12	1.10
3		3.39		1.10	

*Fuente: Datos extraídos de la Tabla 35. Elaboración propia.*

En la Tabla 58, se muestra los datos obtenidos mediante laboratorio de suelo natural, los que utilizaremos para la prueba de hipótesis.

**Nivel de significancia** (alfa)  $\alpha = 5 \% = 0.05$

**Seleccionar estadístico de Prueba:** Se aplicó la distribución “t” de Student para diferencia entre dos medias muestrales.

Cálculo del estadístico:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}} \quad (\text{Ec ... 5})$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (\text{Ec ... 6})$$

Donde:

$\bar{x}$  : Media de la muestra x

$\bar{y}$  : Media de la muestra y

$n_1$  : Muestra x

$n_2$  : Muestra y

$s^2$  : Varianza muestral

$S_{x-y}$ : Desviación estándar

Tabla 59

*Resultados de CBR con la incorporación de PRT- PET en relación a la estadística de prueba.*

DATOS DE CBR al 95% MDS CON LA DOSIFICACIÓN DE PRT- PET ONDULADO						
Nº MUESTRA	C/ PRT-PET (x)	X - $\bar{X}$	(X - $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>	NATURAL (y)	y - $\bar{y}$	(y - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup>
1	4.00	-1.64	2.6896	3.41	0.01	0.0001
2	4.50	-1.14	1.2996	3.40	0.00	0
3	5.40	-0.24	0.0576	3.39	-0.01	0.0001
4	6.50	0.86	0.7396			
5	7.80	2.16	4.6656			
$\Sigma$	28.20	$\Sigma$	9.452	$\Sigma$ 10.20	$\Sigma$	0.0002

*Fuente: Datos extraídos de la Tabla 59. Elaboración propia.*

En la Tabla 59, se muestra los datos de CBR al 95% en expansión, obtenidos mediante laboratorio, como la expansión es parte de la prueba de capacidad de soporte se realiza la prueba de hipótesis.

Media de  $\bar{X} = 5.64$

Media de  $\bar{y} = 3.40$

Varianza muestral  $s^2 = 1.5753$

Desviación estándar  $S_{x-y} = 0.9166$

Grados de libertad = 6

Prueba distribución **t** calculado (**tc**) = 2.44

Valor de región crítica **tt** = 1.943 (según tabla de “t” de Student).

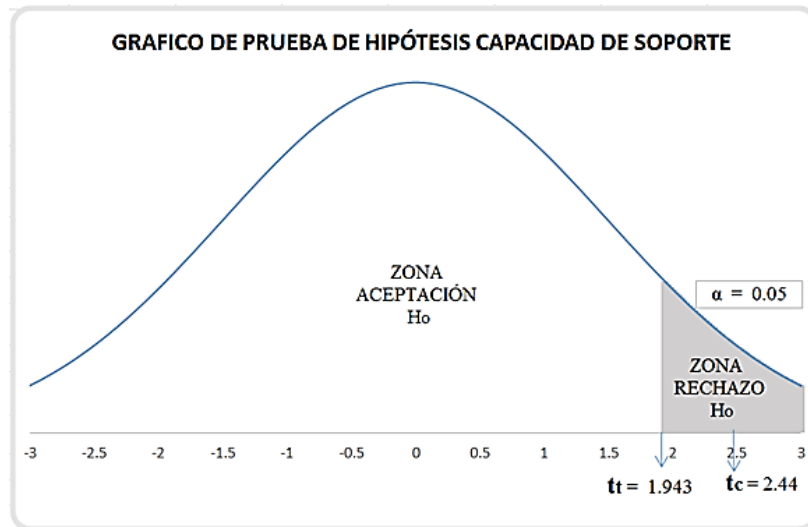


Figura 59: Verificación de  $t_t$  y  $t_c$  en la región crítica para capacidad de soporte.

Como el valor de  $t_c$   $\epsilon$  a la región crítica sombreada se rechaza el  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Tabla 60

Resultados de suelo natural en relación a la estadística de prueba para expansión en CBR.

DATOS DE CBR al 95% MDS CON 5% DE PRT- PET ONDULADO PARA CAPACIDAD DE SOPORTE						
Nº MUESTRA	C/ PRT-PET (x)	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$	NATURAL (y)	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$
1	0.90	0.10	0.010	1.08	-0.02	0.0004
2	0.90	0.10	0.010	1.12	0.02	0.0004
3	0.80	0.00	0	1.10	0.00	0
4	0.70	-0.10	0.010			
5	0.70	-0.10	0.010			
$\Sigma$	4.00	$\Sigma$	0.040	$\Sigma$ 3.30	$\Sigma$	0.0008

Fuente: Datos extraídos de la Tabla 46. Elaboración propia.

En la Tabla 60, se muestra los resultados definitivos de los ensayos realizados y la comparación de los mismos mediante la estadística de las medidas de tendencia central y dispersión, se realizó los cálculos requeridos hallando los datos mostrados.

**Nivel de significancia** (alfa)  $\alpha = 5 \% = 0.05$

**Seleccionar estadístico de prueba:** Se aplicó la distribución “t” de Student para diferencia entre dos medias muestrales.

Media de  $\bar{X} = 0.80$

Media de  $\bar{y} = 1.10$

Varianza muestral  $s^2 = 0.00653$

Desviación estándar  $S_{x-y} = 0.0590$

Grados de libertad = 6

Prueba distribución **t** calculado (**tc**) = - 5.08

Valor de región crítica **tt** = - 1.943 (según tabla de “t” de Student).

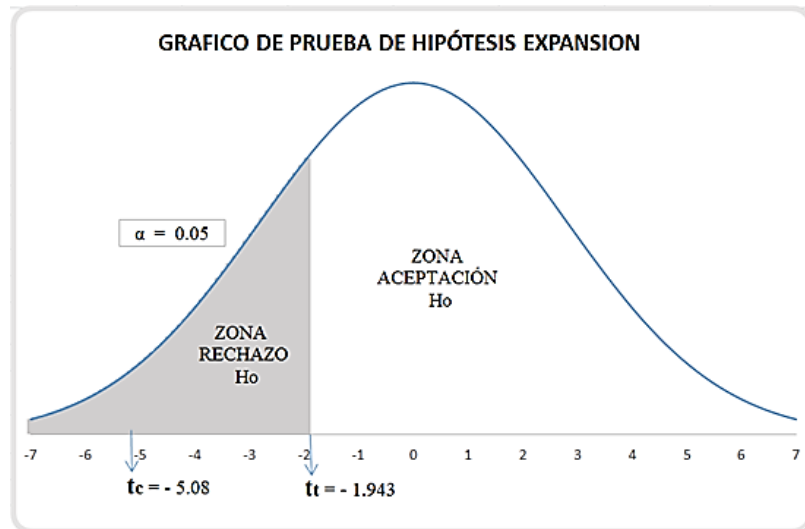


Figura 60: Verificación de **tt** y **tc** en la región crítica para expansión en capacidad de soporte.

Como el valor de **tc**  $\in$  a la región crítica sombreada se rechaza el  $H_0$  y se acepta  **$H_a$**

**$H_a$** : (5.64 > 3.4) La capacidad de soporte (CBR) del suelo a nivel de sub rasante **mejora** con la incorporación de plástico reciclado triturado - PET.

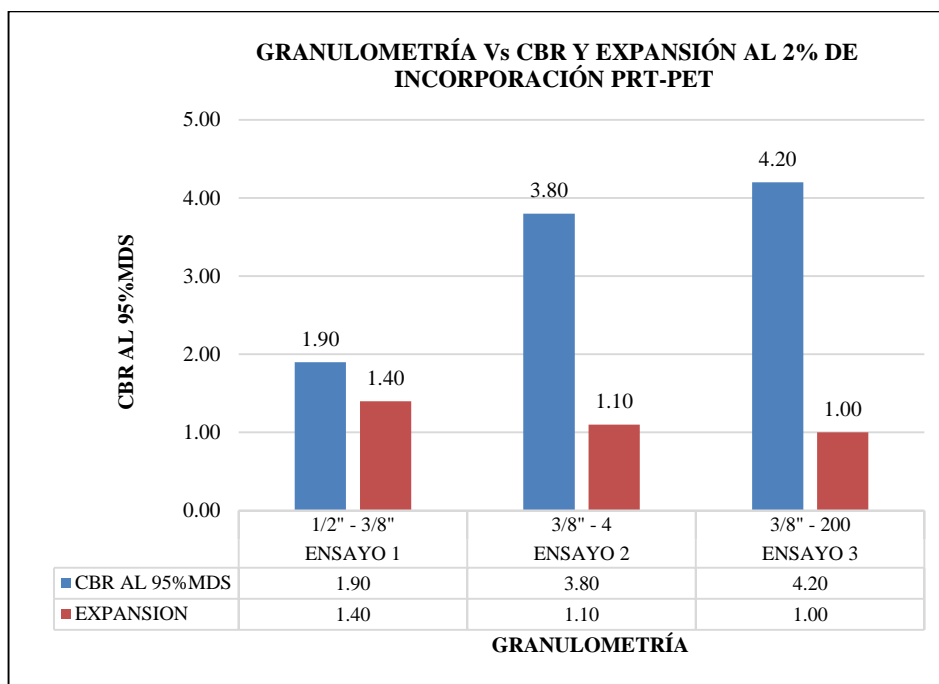
Con la probabilidad de error del 0.0 % y según ensayos obtenidos, la capacidad de soporte (CBR) natural es de 3.4 % y con la incorporación de PRT – PET con una granulometría de dimensiones entre 9.50 mm y 0.075 mm, textura ondulada y una dosificación optima al 5%, la capacidad de soporte (CBR) alcanza un valor de 5.64% mejorando significativamente el suelo a nivel de sub rasante, esto representa un incremento de 65%, con una reducción de la expansión de 1.1% a 0.78%, que representa una reducción de 29%.



## 4.3 Discusión

### 4.3.1 Discusión de resultados.

a) Para determinar la granulometría ideal de PRT-PET que mejoró el suelo a nivel de sub rasante, se realizaron ensayos previos de CBR con una dosificación de prueba al 2% de incorporación de PRT-PET con los tres tipos de granulometría propuesta, se tiene:



*Ilustración 7: Granulometría Vs CBR y expansión al 2% de incorporación de PRT-PET*  
Fuente. *Elaboración propia*

La Ilustración 7, muestra que incorporando al suelo natural PRT-PET al 2% del peso seco del suelo, se determinó que la granulometría ideal de PRT-PET que influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante es la granulometría variada de PRT-PET, con partículas de dimensiones entre 9.50mm a 0.075mm correspondiente al ensayo 3, incrementando el valor de CBR de 3.4 a 4.20% y reduciendo la expansión de 1.1% a 1.0%. Hay que aclarar que la granulometría uniforme del ensayo 2 también influye en el mejoramiento, pero en menor porcentaje y finalmente la granulometría uniforme con partículas de mayor tamaño que corresponde al ensayo 1, no influye en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante.

b) De la misma manera, para determinar la textura ideal se realiza ensayos de CBR previos al 2% de incorporación de PRT-PET con los dos tipos de textura propuesto. Así tenemos:

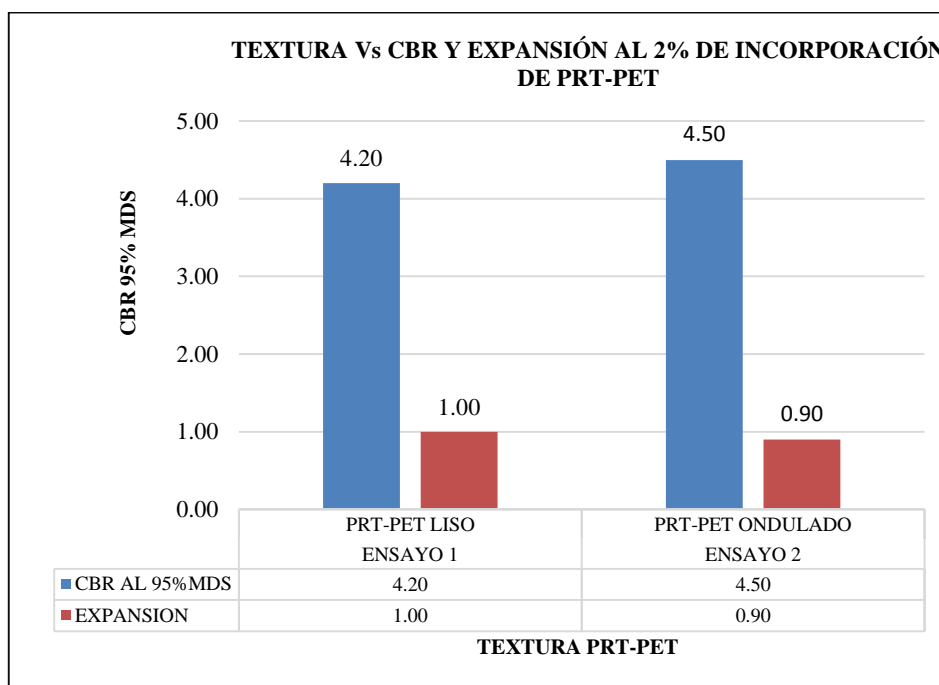
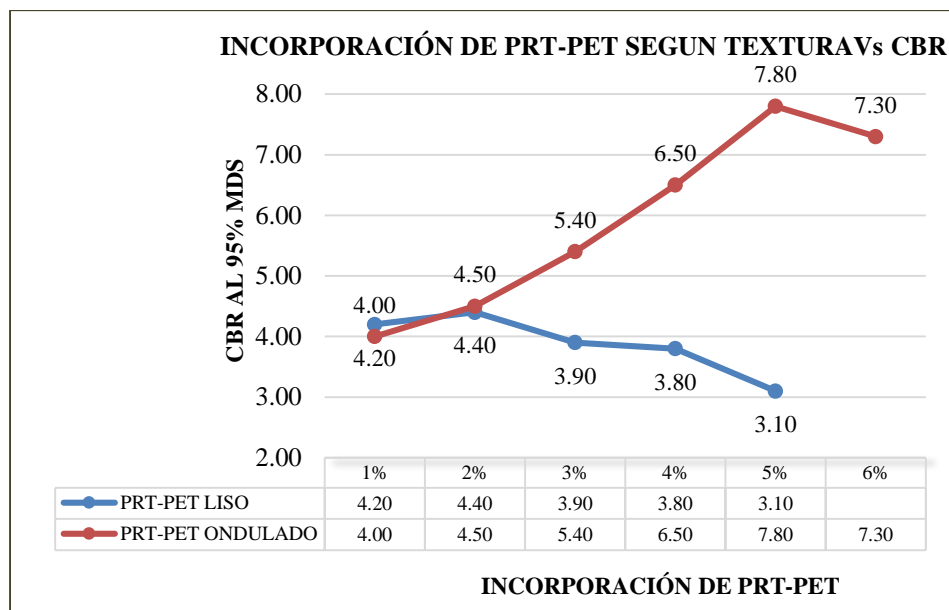


Ilustración 8: Textura Vs CBR y expansión al 2% de incorporación PRT-PET.

Fuente: Elaboración propia.

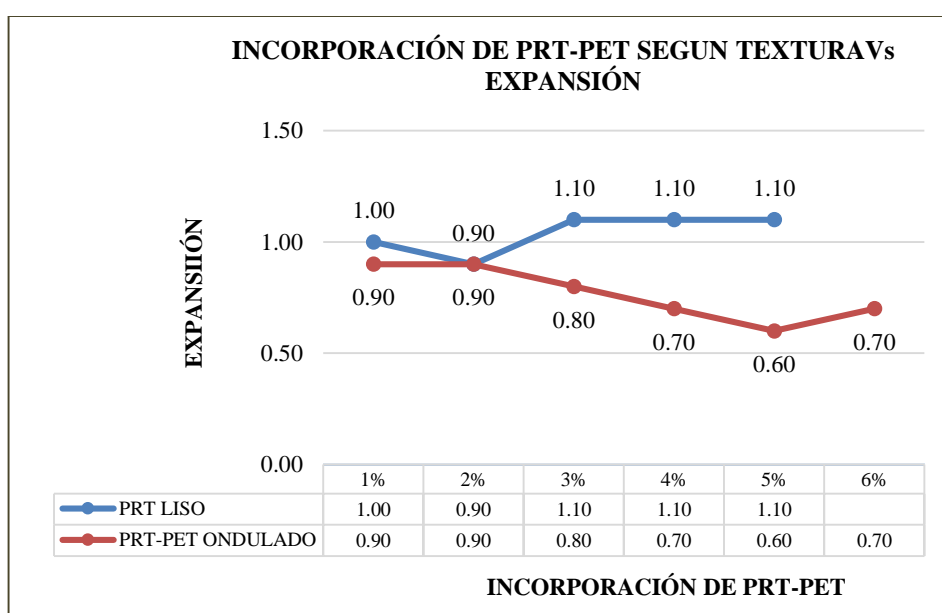
En la Ilustración 8, se observa que los ensayos de CBR practicados con incorporación de PRT-PET de granulometría variada con partículas de dimensiones entre 9.50mm a 0.075mm de textura lisa mejora el CBR del suelo natural a nivel de sub rasante de 3.4% a 4.2% que representa un incremento de 24% y la expansión de 1.1% a 1.0% que representa una reducción en 9.09%; mientras que el ensayo de CBR de textura ondulada correspondiente al ensayo 2, mejora el CBR del suelo natural a nivel de sub rasante de 3.4% a 4.5% que representa un incremento de 32% y la expansión de 1.1% a 0.9% que representa una reducción en 18%, resultando ser la textura ondulada la ideal que influye en el mejoramiento.

c) Para determinar la dosificación óptima de incorporación de PRT-PET, se realizaron ensayos en diferentes porcentajes de incorporación de PRT-PET, con la textura de PRT-PET liso se realizaron ensayos del 1% al 5% y con la textura de PRT-PET ondulado se realizaron ensayos del 1% al 6%, así tenemos como resultados:



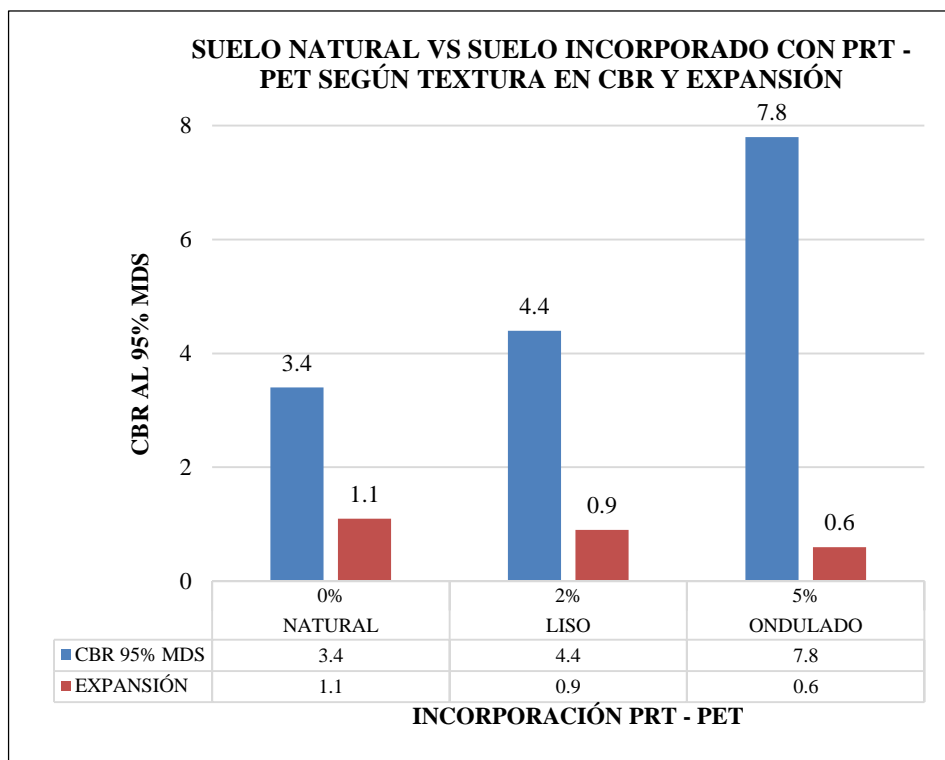
*Ilustración 9:* Incorporación de PRT-PET según textura Vs CBR.  
*Fuente. Elaboración propia.*

En la Ilustración 9, se observa que con la incorporación de PRT-PET de textura lisa al 2% se da el máximo crecimiento del CBR de 3.4% a 4.4% que representa un incremento de 29% y con la incorporación de PRT-PET de textura ondulada al 5% se da el máximo crecimiento del CBR de 3.4% a 7.8% que representa un incremento de 129%. Determinándose, así, que en cuanto a CBR, con la granulometría variada de dimensiones entre 9.50mm a 0.075mm de textura ondulada al 5% de incorporación se tiene mejores resultados en cuanto al mejoramiento del suelo natural a nivel de sub rasante.



*Ilustración 10:* Incorporación de PRT-PET según textura Vs expansión.  
*Fuente. Elaboración propia.*

En la Ilustración 10, se observa que con la incorporación de PRT-PET de textura lisa al 2% se da la máxima reducción de la expansión en 18% pasando de 1.1% a 0.90% y con la incorporación de PRT-PET de textura ondulada al 5% se da la máxima reducción de la expansión en 45% pasando de 1.1% a 0.60%, determinándose, así, que en cuanto a expansión, con la granulometría variada de dimensiones entre 9.50mm a 0.075mm de textura ondulada al 5% de incorporación se tiene mejores resultados en cuanto al mejoramiento del suelo natural a nivel de sub rasante.

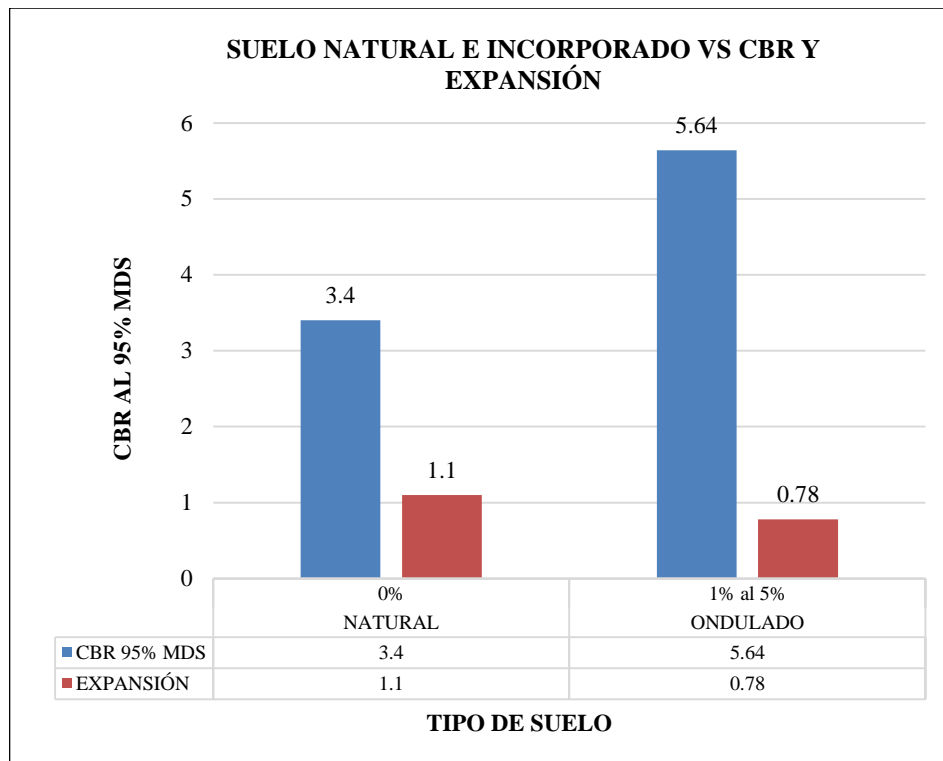


*Ilustración 11:* Suelo natural vs suelo incorporado con PRT-PET según textura en CBR y expansión.

*Fuente:* Elaboración propia.

En la Ilustración 11, se muestra los valores de CBR y expansión del suelo natural comparadas con los máximos valores alcanzados con la incorporación de PRT-PET en sus diferentes texturas. Determinándose que el suelo incorporado con PRT-PET de granulometría variada con partículas de dimensiones entre 9.50mm a 0.075mm, de textura ondulada y con una dosificación óptima del 5% de incorporación de PRT-PET respecto al peso del suelo seco, mejora el CBR del suelo natural de 3.4% a 7.8% y reduce la expansión de 1.1% a 0.6%, logrando pasar de un suelo caracterizado como S1 (sub rasante insuficiente o pobre) a un suelo caracterizado como S2 (sub rasante regular).

d) Para determinar el incremento del CBR considerando la granulometría ideal y textura ondulada, de los 6 porcentajes ensayados solo consideramos los valores que se encuentran dentro del máximo valor de CBR alcanzado que es con el 5% de incorporación; es decir, el valor promedio de CBR en las dosificaciones del 1% al 5%.



*Ilustración 12:* Suelo natural e incorporado Vs CBR y expansión.  
Fuente: *Elaboración propia.*

En la Ilustración 12, se observa que con la incorporación de PRT-PET en la granulometría y textura ideal, en los porcentajes entre 1% al 5% que es la dosificación óptima, la capacidad de soporte del suelo natural incrementa de 3.4% a 5.64% y la expansión reduce de 1.1% a 0.78%.

## **Capítulo 5**

### **Conclusiones y Recomendaciones**

#### **5.1 Conclusiones**

- 1) La incorporación de PRT-PET influye significativamente en el mejoramiento de suelo a nivel de sub rasante dependiendo del tipo de granulometría, textura y dosificación con el que es incorporado al suelo, incrementando el valor de CBR y reduciendo la expansión del suelo natural, logrando pasar de ser una sub rasante insuficiente o pobre con un valor de CBR de 3.4% y 1.1% de expansión a una sub rasante regular de 7.8% y 0.60 de expansión apta para soportar la estructura del pavimento.
  
- 2) Para determinar la granulometría ideal que mejore el suelo a nivel de sub rasante, asumimos un valor promedio previo del 2% de incorporación de PRT-PET liso al suelo natural, realizando ensayos de CBR resulta de las tres granulometrías propuestas, la granulometría de PRT-PET variada con dimensiones entre 9.50mm a 0.075mm que mejora el suelo a nivel de sub rasante, obteniéndose un crecimiento en el valor de CBR de 3.4% a 4.20% que representa un incremento de 24% y en expansión de 1.1% a 10% que representa la reducción en 9.09%; mientras que la granulometría uniforme con dimensiones entre 9.50mm a 4.75mm si bien mejora el suelo pero en menor porcentaje que la anterior y finalmente la granulometría uniforme con dimensiones 12.50mm a 9.50mm no mejora el suelo a nivel de sub rasante.

- 3) determinar la textura ideal, también asumimos un valor promedio previo del 2% de incorporación de PRT-PET en sus dos texturas, se realiza ensayos de CBR con el propósito de mejorar el suelo a nivel de sub rasante, resultando de las dos texturas propuestas, las partículas de PRT-PET de granulometría variada con dimensiones entre 0.95mm a 0.075mm de textura ondulada se comporta mejor frente a la textura lisa, obteniendo un crecimiento en el valor de CBR de 3.4% a 4.5% que representa un incremento de 32% y en expansión de 1.1% a 0.90% que representa una reducción en 18%.
- 4) Para la determinación de la dosificación óptima, se realiza ensayos de CBR con la determinación de la granulometría ideal y con las dos texturas, en una dosificación del 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6%, obteniendo como resultado, que la textura ondulada, resulta siendo la ideal en una dosificación óptima del 5% de incorporación de PRT-PET respecto al peso seco del suelo seco y es la que mejora significativamente el suelo a nivel de sub rasante, logrando alcanzar un crecimiento en el valor de CBR de 3.4% a 7.8% que representa un incremento de 129% y en expansión de 1.1% a 0.6% que representa la reducción de 45%, pasando el suelo natural de ser una sub rasante insuficiente o pobre a una sub rasante regular; mientras, que el valor máximo obtenido en el ensayo de CBR practicado con la incorporación de PRT-PET de textura lisa al 2%, si bien mejora el suelo, no alcanza a pasar de una subrasante pobre a una subrasante regular.
- 5) La capacidad de soporte del suelo natural con la incorporación de PRT-PET en la granulometría y textura ideal, con una dosificación entre 1% al 5% que es la dosificación óptima, incrementa, de 3.4% a 5.64% que representa un incremento de 65% y reduce la expansión de 1.1% a 0.78% que representa una reducción de 29%. Con lo que se afirma que la incorporación de PRT-PET de textura ondulada, mejora el suelo a nivel de subrasante.
- 6) La calicata 02 extraída de la progresiva KM 0+200, cuyo suelo es tomado como muestra representativa para nuestra investigación, después de realizar los respectivos ensayos arroja un CBR al 95% MDS y 1" de penetración de 3.4% y 1.1% de expansión categorizada como S1 sub rasante insuficiente o pobre, según el manual de carreteras.

- 7) Nuestra muestra de suelo sobre la cual se hicieron los diferentes ensayos es un suelo clasificado según SUCS como un CL - arcilla de mediana a baja plasticidad y según la clasificación ASSHTO es A-4(6). Caracterizada por presentar baja a mediana plasticidad.
- 8) Al tratarse la muestra de un suelo arcilloso con características particulares: suelo de mediana a baja plasticidad, mala granulometría e inestabilidad volumétrica, nuestra filosofía de usar PRT-PET de granulometría variada y textura ondulada, es que con la sustitución del 5% del suelo fino por PRT-PET (respecto al peso seco del suelo) de granulometría variada con partículas de dimensiones 9.50 mm a 0.075mm, logramos que en el interior de sus partículas haya fricción y, como consecuencia, se incrementa el valor de CBR y reduce la expansión inicial del suelo.
- 9) Esta investigación aporta proponiendo una nueva alternativa de solución para el mejoramiento de un suelo a nivel de sub rasante, como es el caso de la incorporación de plástico reciclado triturado, obtenido de las botellas de PET, de fácil obtención en el medio y que abundan como material de desecho, su uso reduce la contaminación ambiental y resulta siendo una alternativa efectiva de mejoramiento a bajo costo.
- 10) Esta investigación aporta proponiendo una nueva alternativa de solución para el mejoramiento de un suelo a nivel de sub rasante, como es el caso de la incorporación de plástico reciclado triturado, obtenido de las botellas de PET, de fácil obtención en el medio y que abundan como material de desecho, su uso reduce la contaminación ambiental y resulta siendo una alternativa efectiva de mejoramiento a bajo costo.



## 5.2 Recomendaciones

- 1) Se recomienda usar como agente estabilizante para el mejoramiento de suelo a nivel de sub rasante partículas de PRT-PET de granulometría variada, textura rugosa y dosificaciones que varían entre 4% y 6%
- 2) Se recomienda usar como agente estabilizante para el mejoramiento de suelo a nivel de sub rasante partículas de PRT-PET de granulometría variada con dimensiones que varían entre 19 mm a 0.075 mm.
- 3) Se recomienda usar como agente estabilizante para el mejoramiento de suelo a nivel de sub rasante partículas amorfas de PRT-PET de textura ondulada o rugosa.
- 4) Se recomienda realizar ensayos de CBR utilizando dosificación en porcentajes que varían entre 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7% para tener mayor precisión del porcentaje óptimo de incorporación de PRT-PET.
- 5) Se recomienda localizar y sectorizar a nivel local y regional mediante mapeos zonas con suelos de tipo CL o A-4, A-5, A-6 (suelos de mediana a baja plasticidad) para mejorar el valor de CBR y expansión mediante la incorporación de PRT-PET de granulometría y textura ideal y en la dosificación óptima,
- 6) Se recomienda realizar investigaciones con la incorporación de PRT-PET con las características recomendadas con la finalidad de estabilizar taludes.
- 7) Realizar investigaciones de mejoramiento de suelos a nivel de sub rasante incorporando partículas de PRT-PET ondulado adicionado con cal y/o cemento.
- 8) Se recomienda realizar investigaciones con incorporación de PRT-PVC, PRT-LDPE, PRT-HDPE, entre otros.
- 9) Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Abancay y otras empresas particulares que realicen trabajos de asfaltados o pavimentaciones, en caso de encontrar suelos de sub rasante insuficiente, optar por su mejoramiento, evitando la sustitución de suelo y el incremento de costos originados al realizar movimiento de tierras, considerando como opción la incorporación de PRT-PET al suelo y contribuyan a disminuir la contaminación ambiental y evitar destruir ecosistemas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bañón, L. B. (2010). *Manual de Carreteras Construcción y Mantenimiento*. (Vol. (vol.2)). Alicante: Contrastista de obras, S.A.
- Beltrán, R. M., & Marcilla, G. A. (2012). *Tecnología de polímeros procesado y propiedades*. España: Publicaciones Universidad de Alicante.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación*. Pearson.
- Bowles E., J. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil*. México: McGraw Hill Interamericana.
- Braja M, D. (1985). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. California, Sacramento: Cuarta Edición.
- Braja M, D. (1985). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. California, Sacramento: Cuarta Edición.
- Braja, M. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México, D.F.: Ediciones OVA.
- Buendía, L., Colás, P., & Hernández, F. (2006). *Métodos de investigación en psicopedagogía*. Madrid: Edígrafos,S.A.
- Chuta, R. M. (2014). *Estudio de la fluencia térmica del PET en el proceso de termoformado*. Recuperado el 24 de agosto de 2018, de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2906/MTchharm031.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Condori, V. ., (2018). *Aplicación del estabilizador Z con polímero en el incremento de valor del CBR del material utilizado como afirmado en la carretera departamental Ap-103, Tramo Puente Ullpuhuaycco – Karkatera (L= 14.050 Kms) Abancay-Apurímac 2018*. Abancay.
- Crawford, R., Webb, H., Amott, J., & Ivanova, E. (2013). *Plastic degradation and its environmental implications with special reference*.
- D´Ancona, C. (1998). *Metodología cuantitativa. Estrategia y técnicas de investigación social*. Madrid.

- Gasset, O. &. (05 de 06 de 2017). *En 2050, habrá más plásticos que peces en los océanos, advierte la ONU*. Obtenido de En 2050 habrá más plásticos que peces en los océanos, advierte la ONU: [https://www.tendencias21.net/En-2050-habra-mas-plasticos-que-peces-en-los-oceanos-advierte-la-ONU\\_a43992.html](https://www.tendencias21.net/En-2050-habra-mas-plasticos-que-peces-en-los-oceanos-advierte-la-ONU_a43992.html)
- Hernández, S. R. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- Hernández, S. R., Collado, F. C., & Baptista, L. P. (2006). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Kraemer, C., Pardillo, J., Rocci, S., Romana, M., Sánchez, V., & Del Val, M. (2004). *Ingeniería de Carreteras*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Leiva, R. R. (2016). Utilización de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa, Progresiva Km 0+000 - Km 0+100, distrito de Orcotuna, Concepción. *Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú*. Concepción, Huancayo, Perú.
- Livia Albeck, R. (27 de marzo de 2018). En el Océano Pacífico hay unas 87.000 toneladas de basura... y contando. *THE NEW YORK TIME*.
- López, J. (2013). Suelos arcillosos reforzados con material de plástico reciclado realizado. *Tesis de pregrado Escuela de Ingeniería de Antioquia*. Antioquia, Antioquia, Colombia.
- López, T. L., Hernández, J. B., Horta, J. R., Coronado, A. M., & Castaño, V. M. (Mayo de 2010). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. (U. A. Querétaro, Ed.) *Revista Iberoamericana de Polímeros, Vol.11 (3)*, 118.
- Mamani, D. H. (2013). *Estabilización de suelos con fines de pavimentación, mediante el uso de polímeros reciclados*.
- Martínez, B. C. (2012). *Estadística y muestreo/ ECOE Ediciones Ltda. 13a. ed.* Bogotá.
- Martínez, L. A. (s.f.). *Niveles de investigación*. Recuperado el 20 de julio de 2015
- Meléndez, J. A. (2013). *Ingeniería de pavimentos: materiales y variables de diseño (4ta ed.)*. Lima, Lima, Perú: Imprenta ICG.

- Merino, M. A. (2010). *Pruebas con un Producto Enzimatico como Agente Estabilizador de Suelos para Carreteras*. PIURA.
- Ministerio del Ambiente Perú. Lucía Ruiz, O. (Mayo de 2019). Medio Ambiente y Contaminación. (T. Peru, Entrevistador)
- Montejo, A. F. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- MTC. (2013). *Glosario de términos de uso frecuente en proyecto de infraestructura vial*. Lima.
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras , Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección, Suelos y Pavimentos*. Lima, Perú.
- MTC. (Febrero de 2014). *Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos*. Lima, Lima, Perú.
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección : Suelos y Pavimentos*. Lima.
- MTC. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Infraestructura vial del MTC.
- Muñoz, C. (1998). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. México : Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- Muñoz, L. P. (Noviembre de 2012). Estudio del uso del polietileno tereftalato (PET) como material de restitucion en suelos de baja capacidad de carga. *Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México*. México D.F., México, México.
- Palomino, R. M., Tupia Córdova, C., & Alva Hurtado, J. (2000). Ensayos de estabilización de suelos con el aditivo RBI-81 -Puno. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Paula., P. (26 de 03 de 2018). *Nautical News Today*. Obtenido de Nautical News Today: <https://www.nauticalnewstoday.com/contaminacion-del-mar/>
- Ramón, B. (2013). Mejoramiento de subrasante de baja capacidad portante por medio de la aplicación de correlación deflectométrica. *Artículo de investigacion*.

- Ramos, G. P. (2014). Mejoramiento de subrasantes de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, Paucará Huancavelica 2014. *Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú*. Huancayo, Perú.
- Ravines Merino, M. A. (2010). Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras - Piura. Universidad de Piura.
- Sherwell, G. F. (Febrero de 2014). Estudio del uso de polietileno tereftalato como material de refuerzo de estructuras térreas conformadas por suelo fino. *Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México*. México D.F., México, México.
- Valle, W. A. (2010). Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos. *Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid*. Madrid, Madrid, España.
- Villalaz, C. C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa.
- Ugaz, R. (2006). *Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de la subrasante*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima – Perú.

