

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**EFFECTIVIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DE POLÍMEROS
RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE DE
LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN
VENTANILLA – CALLAO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA CIVIL**

Autor: Bach. Perez Quintano, Milena Esther

Asesor Metodológico: Mg. Reynoso Oscanoa, Javier

Asesor Temático: Mg. Cárdenas Capcha, Jesús Idén

Línea de Investigación Institucional:

Transporte y urbanismo

Huancayo – Perú

2024

HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

Dr. Rubén Darío Tapia, Silguera.

PRESIDENTE

Mg. Fabian Brañez, Alcides Luis.

JURADO

Mg. Pautrat Egoavil, Henry Gustavo.

JURADO

Mg. Córdoba Zorrilla Nataly Lucia.

JURADO

Ing. Untiveros Peñaloza, Leonel.

SECRETARIO DOCENTE

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar hasta esta etapa de mi vida con salud y darme como inspiración a mis seres más preciados, A mi padre Samuel por darme aliento todos los días y darme los abrazos cuando quería rendirme en cada proceso de mi vida y mi crecimiento profesional, a mi madre Carmen por ser mi bastón de apoyo con sus enseñanzas, por ella soy la persona que soy, a mi hermano Hanz por ser mi ejemplo, por inculcarme lo interesante y lo que podemos lograr con esta carrera soñada que es la ingeniería civil, por estar conmigo siempre, con sus consejos y experiencias, a mi primo Juan Diego por ser el niño que siempre me saca una sonrisa en mis días tristes , A todas las personas que apostaron por mí, docentes, familiares, amigos, el coro Fe y Esperanza, por apoyarme con sus palabras de aliento, les dedico mi tesis.

Bach. Perez Quintano, Milena Esther.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a la UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES, por haberme permitido ser parte de ella y culminar mi estudio universitario, de igual manera a mis docentes que nos dieron los conocimientos previos para poder llevar a cabo la carrera de ingeniería civil en su esplendor, agradezco también a mis asesores de tesis el Mg. Reynoso Oscanoa, Javier y el Mg. Cárdenas Capcha, Jesús Idén por haberme brindado su tiempo, capacidades y conocimiento científico, por ultimo al Gerente Adanaque Villacorta, Juan Carlos de laboratorio TECNILAB por abrirme las puertas del laboratorio y haberme brindado las facilidades para poder llevar a cabo mis ensayos de laboratorio mostradas en esta tesis.

Bach. Perez Quintano, Milena Esther.

CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0075 - FI -2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la **TESIS**; Titulado:

EFFECTIVIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA – CALLAO

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : **BACH. PEREZ QUINTANO MILENA ESTHER**

Facultad : **INGENIERÍA**

Escuela Académica : **INGENIERÍA CIVIL**

Asesor(a) Metodología : **MG. REYNOSO OSCANO JAVIER**

Asesor(a) Tematico : **MG. CARDENAS CAPCHA JESUS IDEN**

Fue analizado con fecha **14/02/2024**; con **133 págs.**; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

Excluye Bibliografía.

X

Excluye citas.

X

Excluye Cadenas hasta 20 palabras.

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de **18 %**.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: ***Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.***

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.

Huancayo, 19 de febrero de 2024.



DR. HILARIO ROMERO GIRON
JEFE (e)

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

CONTENIDO

HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
CONTENIDO DE TABLAS	xi
CONTENIDO DE FIGURAS	xii
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I: PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	17
1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2.1. Delimitación espacial.	20
1.2.2. Delimitación temporal.	20
1.2.3. Delimitación económica.	20
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	20
1.3.1. Problema General.	20
1.3.2. Problemas Específicos.	20
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	21
1.4.1. Justificación social.....	21
1.4.2. Justificación teórica.	21
1.4.3. Justificación metodológica.	21

1.5.	OBJETIVOS.....	22
1.5.1.	Objetivo General.	22
1.5.2.	Objetivos Específicos.	22
1.6.	LIMITACIONES.....	22
1.6.1.	Económica.	22
1.6.2.	Tecnológica.	22
	CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	23
2.1.	ANTECEDENTES.....	23
2.1.1.	Antecedentes internacionales.	23
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	24
2.2.	BASES TEÓRICAS O CIENTIFICAS.....	26
2.2.1.	Comportamiento del polímero.....	26
2.2.2.	Producción de polímeros.	26
2.2.3.	Producción de polímeros.	27
2.2.4.	Clasificación.....	28
2.2.5.	Módulo de soporte de subrasante.	31
2.3.	MARCO CONCEPTUAL.....	35
2.3.1.	Análisis químico.....	35
2.3.2.	Análisis Granulométrico.....	36
2.3.3.	CBR.....	36
2.3.4.	Capacidad de soporte.....	37

2.3.5. Densidad	37
2.3.6. Eficiencia económica.....	38
2.3.7. Eficiencia técnica.....	38
2.3.8. Gravedad Específica	38
2.3.9. Índice de plasticidad	38
2.3.10. Límite líquido	39
2.3.11. Límite plástico	39
2.3.12. Máxima densidad seca.....	40
2.3.13. Módulo de soporte del suelo.....	40
2.3.14. Optimo contenido de humedad.....	41
2.3.15. Plasticidad.....	41
2.3.16. Resistencia del suelo.....	42
CAPITULO III: HIPÓTESIS	43
3.1. HIPÓTESIS GENERAL.	43
3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS.	43
3.3. VARIABLES.....	43
3.3.1. Definición conceptual de las variables.	43
3.3.2. Definición operacional de la variable.	44
3.3.3. Operacionalización de las variables.	44
CAPITULO IV: METODOLOGÍA	46
4.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	46

4.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	46
4.3.	NIVEL DE INVESTIGACION.....	47
4.4.	DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	47
4.5.	POBLACIÓN Y MUESTRA.	48
4.5.1.	Población.	48
4.5.2.	Muestra.	48
4.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	49
4.6.1.	Técnicas de recolección de datos.....	49
4.6.2.	Validez.....	49
4.7.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	49
4.8.	ASPECTOS ÉTICOS DE LA INVESTIGACIÓN.	61
	CAPITULO V: RESULTADOS	62
5.1.	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.....	62
5.2.	CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS	82
5.2.1.	Prueba de hipótesis general	82
5.2.2.	Prueba de hipótesis específico 1	83
5.2.3.	Prueba de hipótesis específico 2	88
	CAPITULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	92
	ANALIZAR EL EFECTO QUE PRODUCE EL POLÍMERO RECICLADO(PET).....	92
	DETERMINAR LA VARIACIÓN QUE PRODUCE EL POLÍMERO RECICLADO.	93
	CONCLUSIONES.....	96

RECOMENDACIONES	97
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	98
ANEXOS	101

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2. 1 Datos técnicos del PET.....	29
Tabla 2. 2 Número de calicatas para Exploración de suelos..	33
Tabla 2. 3 Categorías de Sub rasante.....	34
Tabla 3. 1 Matriz de operacionalización.	45
Tabla 4. 1 Técnicas de investigación de campo.	48
Tabla 4. 2 Tablas con la descripción de las 3 calicatas	54
Tabla 5. 1 Análisis del PET en base al CBR.	63
Tabla 5. 2 Análisis económico con material de préstamo.	64
Tabla 5. 3 Límites de consistencia de Calicata N°1.	65
Tabla 5. 4 Límites de consistencia de Calicata N°1.	66
Tabla 5. 5 Límites de consistencia de Calicata N°2.	67
Tabla 5. 6 Límites de consistencia de Calicata N°3.	68
Tabla 5. 7 Óptimo contenido de humedad de las 3 calicatas.....	70
Tabla 5. 8 Densidad máxima seca (DMS) de las 3 calicatas.....	71
Tabla 5. 9 California Bearing Ratio (CBR) de las 3 calicatas.....	72
Tabla 5. 10 Módulo resiliente sin adición(Patrón).	75
Tabla 5. 11 Módulo resiliente con adición (6%).	75
Tabla 5. 12 Módulo resiliente con adición (9%).	76
Tabla 5. 13 Análisis económico con material de préstamo.	77
Tabla 5. 14 Análisis económico con polímero reciclado (PET) al 6%.	79
Tabla 5. 15 Análisis económico con material de préstamo.	80
Tabla 5. 16 Resumen de las pruebas de hipótesis específicas 1 y 2.....	83
Tabla 5. 17 Estadísticas de grupo entre el CBR del suelo patrón.....	84
Tabla 5. 18 Prueba de muestras independientes entre el CBR + 6%	85
Tabla 5. 19 Estadísticas de grupo entre el CBR del suelo patrón.....	86
Tabla 5. 20 Prueba de muestras independientes entre el CBR del suelo patrón+9%	87
Tabla 5. 21 Estadísticas de grupo entre el CBR del suelo patrón y el 6%	88
Tabla 5. 22 Prueba de muestras independientes entre el CBR del suelo patrón+6%.....	89
Tabla 5. 23 Estadísticas de grupo entre el CBR del suelo patrón y el 9%	90
Tabla 5. 24 Estadísticas de grupo entre el CBR del suelo patrón y la adición del 9%	91

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de suelos en Lima Metropolitana. Tomada por.....	19
Figura 1. 2 Calicata en el distrito de Ventanilla.	19
Figura 2.1 Código de Identificación de plásticos.	29
Figura 2. 2 Esquema de la estructura de un pavimento flexible. Por Quezada 2017.	35
Figura 4. 1 Av. Los Ecólogos Poncianas Distrito de Ventanilla.	50
Figura 4. 2 Av. Los Ecólogos Poncianas Distrito de Ventanilla.	51
Figura 4. 3 Polímero reciclado(PET). Elaboración propia.	51
Figura 4. 4 Ubicación de la zona, google Maps.	52
Figura 4. 4 Fotografía del cuarteo. Elaboración propia.	55
Figura 4. 5 Fotografía de la granulometría. Elaboración propia.	56
Figura 4. 6 Fotografía del contenido de humedad.	57
Figura 4. 7 Fotografía del ensayo del límite plástico.	58
Figura 4. 8 Fotografía del polímero reciclado (PET) – 6%.	59
Figura 4. 9 Fotografía realizando el ensayo CBR al 6%.	60
Figura 4. 10 Fotografía realizando el ensayo CBR al 9%.	60
Gráfico 5. 1 Optimización del polímero reciclado (PET) – CBR	63
Gráfico 5. 2. Optimización del polímero reciclado (PET) - COSTO	64
Grafico 5. 3 Límite líquido de las 3 calicatas	68
Grafico 5. 4 Limite plástico de las 3 calicatas.	69
Gráfico 5. 5 Índice plasticidad de las 3 calicatas.....	70
Gráfico 5. 6 Contenido de humedad de las 3 calicatas.	71
Gráfico 5. 7 Densidad máxima seca (DMS) de las 3 calicatas.....	72
Gráfico 5. 8 California Bearing Ratio (CBR) de las 3 calicatas.....	73
Grafico 5. 9 Módulo resiliente de las 3 calicatas.....	77
Gráfico 5. 10 Comparación de costo.	82

RESUMEN

La presente investigación tuvo como problema general ¿Cómo influye la incorporación de polímero reciclado (PET) en la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos?, el objetivo general fue Evaluar la influencia del polímero reciclado (PET) en la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos. La hipótesis general que se verifica fue: Los polímeros reciclados (PET) son favorables para la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos. El método general de investigación que se utiliza fue el científico, el tipo de investigación es el explicativo, de nivel correlacional y de diseño experimental. La población está compuesta por la Av. Los Ecólogos Poncianas (1.100m x 5.4m) teniendo un total de 5.940 m² en el distrito de Ventanilla. La conclusión fundamental es que, los polímeros reciclados (PET), si difieren en la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de suelos arcillosos, y se muestra un aumento claro del CBR a diferencia del suelo patrón, al probar que en el presente trabajo de investigación en términos técnicos y estadísticos cuentan con una diferencia significativa y es recomendado utilizar el polímero reciclado (PET).

Palabras claves: **polímeros reciclados (PET), efectividad técnica-económica, CBR.**

ABSTRACT

The general problem of this research was: How does the incorporation of recycled polymer (PET) influence the technical-economic effectiveness of the subgrade support module of clay soils? The general objective was to evaluate the influence of recycled polymer (PET) in the technical-economic effectiveness of the subgrade support module of clay soils. The general hypothesis that was verified was: Recycled polymers (PET) are favorable for the technical-economic effectiveness of the subgrade support module of clay soils. The general research method used was scientific, the type of research is explanatory, correlational level and experimental design. The population is made up of Av. Los Ecologues Poncianas (1,100m x 5.4m) having a total of 5,940 m² in the Ventanilla district. The fundamental conclusion is that recycled polymers (PET) do differ in the technical-economic effectiveness of the support module of the subgrade of clay soils, and a clear increase in CBR is shown, unlike the standard soil, by proving that in the present research work in technical and statistical terms has a significant difference and it is recommended to use recycled polymer (PET).

Keywords: recycled polymers (PET), technical-economic effectiveness, CBR.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación, denominado "**EFFECTIVIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA – CALLAO** ", fue desarrollado con el propósito de alcanzar la titulación en ingeniería civil, siguiendo las directrices actuales establecidas por la Universidad Peruana los Andes. La investigación que se presenta tiene como objetivo fundamental evaluar la efectividad técnica y económica de la incorporación de polímeros reciclados en suelos arcillosos como una alternativa sostenible a los métodos tradicionales de estabilización. Esta propuesta surge en respuesta a la creciente necesidad de encontrar soluciones que no solo fortalezcan la capacidad de carga de los suelos, sino que también reduzcan la generación de residuos plásticos y promuevan la economía circular. En el presente trabajo de investigación se empleó el tipo de investigación aplicada, en base al nivel de investigación fue correlacional, asimismo el diseño se realizó experimental, teniendo una población en la Av. Los Ecólogos Poncianas en el distrito de Ventanilla. A lo largo de las secciones del siguiente trabajo de investigación, se esbozarán los siguientes 5 capítulos:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. Contiene la delimitación del problema y su justificación, junto con una revisión de antecedentes pertinentes, los objetivos en su conjunto y detallados, así como la consideración de las limitaciones inherentes al estudio.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO. Se proporcionan de manera detallada las bases teóricas asociadas con el tema, así como la clarificación de los términos utilizados.

CAPITULO III: HIPÓTESIS. se formulan las hipótesis y se identifican las variables correspondientes, se muestra también la matriz de operacionalización.

CAPITULO IV: METODOLOGÍA. Se presenta la estructura de la investigación, que abarca el diseño, la descripción de la población y muestra, las técnicas e instrumentos utilizados, junto con el proceso de recopilación de datos.

CAPITULO V: RESULTADOS. Se presenta los resultados obtenidos del laboratorio y las comparaciones donde se ven el cambio significativo que engloba el presente trabajo de investigación.

CAPITULO VI: DISCUSION DE RESULTADOS. Se muestra las comparaciones de resultados con los antecedentes mencionados.

Por último, se adjuntan las fuentes de información y los anexos correspondientes, que contienen información esencial para respaldar la elaboración del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO I: PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.

Según el MINAM (2012), el cual presentó datos acerca de la condición de fragilidad en los distritos de Lima Metropolitana, la naturaleza de los suelos, las áreas expuestas a peligros, y la categorización llevada a cabo, se muestra en la figura 1.1, donde se encontró, hasta la actualidad, a Ventanilla en una zona de riesgo por tener presencia de suelos arcillosos, por lo que estos tipos de suelos resultan ser un gran problema para la pavimentación de las vías, los incrementos del volumen no se presentan de una manera uniforme, sino, todo lo contrario al producirse incrementos en distintas zonas y al momento de contraerse generan asentamientos, que pueden dañar severamente las estructuras del pavimento, al encontrarse suelos de este tipo se puede optar a un procedimiento llamado estabilización de suelos, que se define como el proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo, que se pueda aprovechar sus mejores cualidades, siendo, capaz de soportar las condiciones de carga a las cuales estará sometida.

A nivel internacional según el autor Hernández (2017), mencionó que el análisis de la capa inferior del suelo es de gran importancia durante la planificación de un pavimento rígido. Un factor clave para evaluar esta capa es su capacidad para resistir deformaciones debido al esfuerzo cortante causado por las cargas del tráfico. También es crucial considerar la reacción del suelo ante la humedad, tanto en términos de resistencia como de posibles cambios en el volumen.

A nivel nacional la carretera no pavimentada principalmente en la región sierra y

selva tienden a deteriorarse en forma acelerada, principalmente debido a las constantes lluvias que se presentan, según Curitomay (2018), mencionó que los suelos con características arcillosas presentan una consistencia que los hace susceptibles a las condiciones climáticas y al impacto mecánico de los vehículos. La preocupación principal reside en que estos tipos de suelos tienen una capacidad de carga baja, una alta plasticidad, tienden a expandirse y resultan complicados de compactar debido a su alta compresibilidad.

A nivel local según mencionó Curasma (2021), siendo el suelo la base esencial de toda iniciativa en la construcción civil y por su significativo rol, es imprescindible que cumpla con requisitos físicos y mecánicos específicos.

En la actualidad, con el propósito de abordar el desafío de la inestabilidad geotécnica del terreno en el distrito de Ventanilla, ubicado en la ciudad de Lima, se plantea un enfoque para evaluar la eficiencia y el costo del empleo de un módulo de soporte en suelos arcillosos. Este enfoque busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo mediante la incorporación de polímeros reciclados (PET), específicamente en el área de Ventanilla. Estos polímeros reciclados cuentan con la capacidad de incrementar el módulo de soporte en terrenos arcillosos, lo que resulta en la posibilidad de construir infraestructuras viales altamente resistentes. Además, estas soluciones permiten la creación de vías impermeables y resistentes al agua, ya que tienen la capacidad de sellar y conferir impermeabilidad. Adicionalmente, contribuyen al control del polvo y a la prevención de la erosión del suelo, y presentan la ventaja de ser amigables con el medio ambiente en la figura 1.2 podemos observar que al realizar una calicata de 1.25 m ya se encuentra un suelo con características arcillosas.

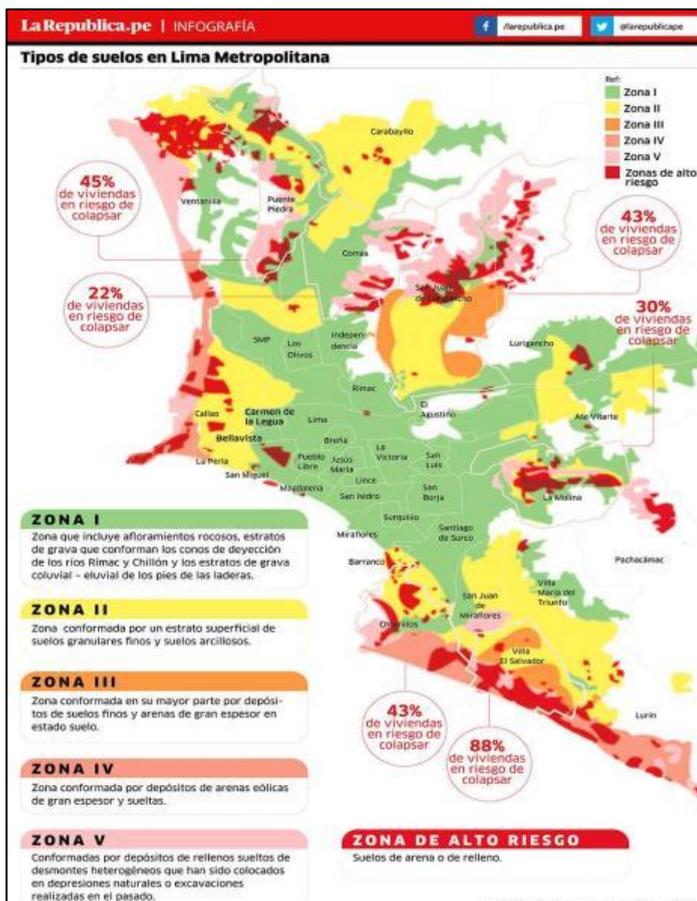


Figura 1.1 Mapa de suelos en Lima Metropolitana. Tomada por «ministerio del Ambiente (2012)», por La república.2017.



Figura 1. 2 Calicata en el distrito de Ventanilla.
 Elaboración propia

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Delimitación espacial.

Para el desarrollo de la presente investigación se extrajo el material del suelo arcilloso en la Av. Los Ecólogos Poncianas del distrito de Ventanilla para luego realizar los ensayos en el laboratorio.

1.2.2. Delimitación temporal.

El desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo desde el mes de agosto del 2023 hasta diciembre del año 2023 teniendo en cuenta la ejecución y el desarrollo.

1.2.3. Delimitación económica.

El investigador asumió en su totalidad los costos asociados con el desarrollo de la presente investigación, los cuales engloban tanto el trabajo de campo como el de laboratorio.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.3.1. Problema General.

¿Cómo influye la incorporación de polímero reciclado(PET) en la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos?

1.3.2. Problemas Específicos.

- a) ¿Qué efecto produce la incorporación de polímero reciclado(PET), en la efectividad técnica del módulo de soporte de la subrasante con presencia suelos de arcillosos?
- b) ¿Cuál es la variación que produce el polímero reciclado(PET) en la efectividad económica del módulo de soporte de la subrasante con presencia de suelos arcillosos?

1.4. JUSTIFICACIÓN.

1.4.1. Justificación social.

Méndez (2020), es tomado en cuenta cuando su desarrollo conduce a la resolución de una situación problemática, o al menos cuando ofrece enfoques cuya implementación contribuiría a solucionarla.

La justificación de esta investigación radica en la contribución que realiza para mitigar el problema en la subrasante afectada por suelos arcillosos en el distrito de Ventanilla. Se espera que esta intervención permita que los pavimentos flexibles disfruten de periodos de vida útil prolongados, generando beneficios significativos para los habitantes de dicho distrito.

1.4.2. Justificación teórica.

Méndez (2020), la justificación teórica se establece cuando el objetivo de la investigación provoca análisis y discusión académica en relación al saber previo, desafiando una teoría, comparando resultados o realizando una evaluación epistemológica del conocimiento establecido.

La fundamentación teórica de este estudio se apoyó en el examen de conocimientos adquiridos y la información recopilada de diversas fuentes como revistas, libros, investigaciones y sitios web. Este enfoque nos facilita ampliar nuestro entendimiento y obtener resultados precisos y fiables en relación con la estabilización de la subrasante en presencia de suelos arcillosos.

1.4.3. Justificación metodológica.

El progreso de este estudio incluyó una justificación metodológica, ya que a lo largo de su desarrollo buscó perfeccionar el módulo de soporte de las subrasantes para la pavimentación de las vías sin enfrentar inconvenientes adicionales. En consecuencia, se logró determinar el procedimiento o método apropiado para establecer los porcentajes adecuados del polímero reciclado (PET)., a fin de que pueda ser aplicado en futuras investigaciones.

1.5. OBJETIVOS.

1.5.1. Objetivo General.

Evaluar la influencia del polímero reciclado(PET) en la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- a) Analizar el efecto que produce el polímero reciclado(PET), en la efectividad técnica del módulo de soporte en la subrasante con presencia de suelos arcillosos.
- b) Determinar la variación que produce el polímero reciclado (PET) en la efectividad económica del módulo de soporte de la subrasante con presencia de suelos arcilloso.

1.6. LIMITACIONES.

1.6.1. Económica.

La investigación se vio afectada por limitaciones financieras, ya que los recursos disponibles podrían resultar insuficientes para llevar a cabo un muestreo extenso y análisis en campo. Además, la adquisición de los materiales y equipos especializados necesarios para la implementación efectiva de polímeros reciclados (PET) en la subrasante puede estar restringida por restricciones presupuestarias. Estas limitaciones podrían influir en la amplitud y profundidad de las actividades de campo, así como en la capacidad para obtener datos económicos detallados sobre la aplicación de polímeros reciclados en la subrasante.

1.6.2. Tecnológica.

Se identificó una limitación tecnológica relacionada con la complejidad intrínseca de las interacciones geotécnicas y mecánicas en suelos arcillosos. Esta complejidad puede presentar desafíos para la extrapolación de resultados a situaciones geotécnicas más amplias o a condiciones climáticas y geográficas diferentes

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Arguello (2021), La naturaleza de los suelos arcillosos no está determinada por el tipo de uso al que se destinan, sino por cómo responden a diversas pruebas de laboratorio que buscan evaluar su mejora. Los materiales reciclados que se emplean predominantemente en estas aplicaciones incluyen plásticos, específicamente el PET, así como subproductos industriales como lodos aceitosos, caucho triturado y cáscaras de arroz. Además, se utilizan en este contexto los materiales de construcción obtenidos de demoliciones que incorporan ladrillos y concreto. Junto a estos, figuran los geopolímeros y geotextiles. Es relevante destacar que los resultados varían en función de la escala y proporción en la que estos materiales son aplicados, como se puede observar en el conjunto de hallazgos recopilados en el estudio.

Celi y Portilla (2021), La evaluación técnico-económica determinó que la estabilización mediante finos de PET/PP/PE presenta ventajas técnicas significativas al aumentar el índice CBR de la subrasante. Sin embargo, desde una perspectiva económica, esta estrategia no es aconsejable. A pesar de los beneficios financieros derivados de la reducción de capas de pavimentación, la incorporación de finos de PET/PP/PE en la subrasante conlleva un incremento en el costo total del proyecto.

Mosquera y Ramírez (2021), De acuerdo a los resultados obtenidos del experimento con CBR, se concluye que el poliestireno expandido, conocido como "icopor", puede ser beneficioso como aditivo para mejorar la subrasante en la región. Esto se debe a que aumenta la resistencia a la deformación del terreno en un 1.5% cuando se encuentra en condiciones

de saturación. En situaciones habituales, es factible alcanzar una mejora que incluso duplique la resistencia en comparación con el suelo natural. En este sentido, la utilización de EPT en suelos arenosos podría incrementar la capacidad de soporte del terreno, elevándola desde niveles inicialmente por debajo del 5% de CBR hasta alcanzar el umbral mínimo necesario para cumplir con los requisitos de una subrasante.

Romero (2022), A partir de los ensayos de CBR, es posible analizar que se alcanzó un esfuerzo máximo aproximado de 0.310 MPa al mejorar el suelo con fibras de PET. Al comparar este valor con el esfuerzo máximo obtenido mediante el ensayo de CBR al mejorar el suelo con fibras de poliamida (Nylon), que fue de 0.687 MPa, se puede inferir que la incorporación de fibras de nylon conlleva a un esfuerzo máximo significativamente mayor, con una diferencia de 0.377 MPa. Sin embargo, es fundamental considerar tanto las variaciones en los porcentajes de añadido de fibras en la subrasante como el método empleado en la preparación de las muestras, ya que estos aspectos pueden generar modificaciones en los resultados.

Pazos (2023), Los resultados obtenidos de los ensayos de compactación Proctor modificado y CBR indican que se presentan variaciones tanto en la máxima densidad seca como en el contenido de agua óptimo. A medida que la cantidad de plástico triturado PET se incrementa, se observa un aumento en el contenido de agua y una disminución en la densidad seca en comparación con el suelo en su estado natural. Esto se debe a que el plástico PET, al no absorber agua, lleva a la saturación gradual de la muestra, lo que a su vez provoca la reducción en la cantidad de suelo presente. Como resultado, la muestra total se vuelve más liviana con la inclusión del plástico, lo que resulta en una disminución en la densidad seca. Como consecuencia de este fenómeno, las propiedades mecánicas también se ven afectadas negativamente, Sin embargo, en la evaluación del CBR, las propiedades mecánicas demuestran ser adecuadas cuando se emplea una dosificación óptima, a pesar de la disminución en las propiedades mecánicas generales debido a la inclusión de plástico.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Nesterenko (2018), el CBR experimentó un aumento debido a la introducción del polímero PAM en las muestras ensayadas en comparación con las muestras en el prototipo. Este aumento fue considerable, con un aumento promedio del 70% al 95% de la Máxima Densidad Seca (MDD) y aumentos promedio del 58% al 100% de la MDD. En resumen, se puede concluir que la incorporación del polímero poliacrilamida (PAM) para la

estabilización podría ser una opción viable para abordar la falta de capacidad de soporte en suelos (CBR <30%).

Márquez (2019), Se llevaron a cabo los procedimientos necesarios para evaluar la condición y calidad del suelo al agregar un 6% de plástico PET proveniente del distrito seleccionado. En el análisis granulométrico, se determinó que la composición incluía un 0% de grava, un 12.30% de arena y un 87.70% de material fino que pasó a través de la malla N° 200. Esto resultó en una clasificación de muestra, debido a que la incorporación de este porcentaje de plástico al suelo no generó ninguna mejora en este tipo de suelo arcilloso. En términos de contenido de humedad, se registró un 5.0%, mientras que la densidad máxima en estado seco fue de 1.593, y el contenido de humedad óptimo se ubicó en 12.3%. En relación a los ensayos de CBR realizados en la muestra añadiéndole plástico PET, se observaron valores de CBR superiores al 6%. Este cambio significativo indica una transformación importante en este tipo de suelo arcilloso. Además, esto señala que no es necesario aplicar ningún método de estabilización existente, ya que el nuevo enfoque utilizando un material totalmente reciclable ha demostrado ser eficaz en este proceso.

Condori y Rojas (2020), La inclusión de polímeros reciclados PET en cantidades de 2%, 4% y 6% resulta en una mejora en la estabilidad de la subrasante compuesta por suelos arcillosos en la carretera Vilcaniza - Beirut, Amazonas. Se concluye que la adición de polímeros reciclados PET conlleva una mejora en las propiedades mecánicas y físicas del suelo. Esto se debe a su capacidad de reducir el contenido de humedad en el suelo, lo que a su vez aumenta la densidad máxima seca del mismo.

Zapana (2022), El contenido del índice CBR se vio afectado por la presencia de polímeros en cada una de las muestras, y varió en términos de porcentaje. Se pudo observar un incremento proporcional en este valor, de acuerdo con los elementos mencionados previamente. De acuerdo con las directrices del MTC, La investigación estableció las condiciones que un suelo debe cumplir para ser considerado adecuado como capa de subrasante. Se demostró que la proporción que cumple con todos estos criterios es del 3%, cuando se añaden polímeros reciclados.

Chacón (2022), Se determinó que el mayor incremento en el valor de la compresión simple sin confinamiento se logra al combinar el suelo con refuerzo de fibras sintéticas de 3 cm al 1%. En esta configuración, la cohesión aumentó de 436.47 Kpa a 987.48 Kpa. En contraste, las compresiones simples no confinadas para las proporciones de 0.5% y 1.5% muestran incrementos relativamente menores. En relación al CBR a 95% de la máxima

densidad seca, el valor máximo se alcanzó cuando el suelo reforzado contenía un 1% de fibras sintéticas de 6 cm, aumentando desde 12.6% hasta 20.2%. Para las proporciones de 0.5% y 1.5%, los valores obtenidos son comparativamente inferiores. Por lo tanto, se concluye que la adición de un 1.0% de fibras sintéticas recicladas representa la proporción óptima para mejorar los parámetros de resistencia del suelo arcilloso.

2.2. BASES TEÓRICAS O CIENTÍFICAS.

2.2.1. Comportamiento del polímero.

Marino (2014), Los polímeros se definen como moléculas grandes compuestas por una o más unidades químicas básicas, conocidas como monómeros, que se repiten en forma de una cadena continua.

Un polímero (proveniente del griego "poly", que significa muchos, y "meros", que significa parte o segmento) es una sustancia cuyas moléculas están formadas por múltiples repeticiones de unidades con peso molecular relativamente bajo. La unidad de menor peso molecular es el monómero. Cuando un polímero tiene una estructura molecular y un peso molecular uniformes en todo su largo, su grado de polimerización se representa mediante un número griego que indica la cantidad de unidades de monómeros presentes. De este modo, hablamos de dímeros, trímeros, tetrámeros, pentámeros y así sucesivamente. El término "polímero" se utiliza para describir una combinación de un número no especificado de estas unidades.

Las fuerzas de atracción entre moléculas (fuerzas intermoleculares) varían según la composición química del polímero y pueden pertenecer a diferentes categorías.

2.2.2. Producción de polímeros.

Hermida (2010) Los polímeros sintéticos son generados a través de un proceso llamado polimerización, en el cual ocurre la reacción de múltiples monómeros que se unen para formar una cadena macromolecular extensa. Hay dos tipos principales de polimerización: el crecimiento de cadena, también conocido como polimerización por adición, y el crecimiento por pasos o polimerización por condensación.

La polimerización por crecimiento de cadena se caracteriza por la utilización de intermediarios transitorios en el proceso, como radicales libres, iones o complejos metálicos, que no pueden ser aislados. Por otro lado, la polimerización por pasos ocurre a través de reacciones entre moléculas que contienen grupos funcionales. Los

compuestos de peso molecular bajo que se forman durante este proceso se denominan oligómeros y pueden ser aislados. Esta forma de polimerización se repite en una reacción química sencilla.

El grado de polimerización de una cadena se refiere al número de monómeros o subunidades que se utilizan para construir dicha cadena. Por ejemplo, en el caso del polietileno, el grado de polimerización puede variar considerablemente, desde 3,500 hasta 25,000 unidades.

La producción industrial de polímeros implica el uso de materias primas como gas natural, carbón y petróleo. El proceso químico de polimerización es complejo y diverso, y su supervisión recae en ingenieros químicos. Algunos de los métodos de polimerización más significativos son:

Polimerización en bloque o fase condensada: En este enfoque, el monómero y un iniciador se mezclan en un reactor, y la temperatura se ajusta según sea necesario. Este método es especialmente útil en polimerización por condensación, donde un monómero ya está presente en el reactor y el otro se agrega gradualmente.

Polimerización en solución: En este método, el monómero se disuelve en un solvente no reactivo que contiene un catalizador. El calor liberado durante la reacción es absorbido por el solvente, lo que ralentiza la velocidad de la reacción. La eliminación completa del solvente puede ser un proceso complicado.

Polimerización en suspensión: En este caso, el monómero y el catalizador se suspenden en forma de gotitas en una fase continua, como el agua.

La reacción libera calor, que es absorbido por el agua, por lo que se requiere agitación constante. Después del proceso, el producto polimerizado se separa y se deshidrata.

Polimerización por emulsión: Este método es similar al de suspensión, pero se lleva a cabo en agua. El monómero se absorbe en micelas formadas por un agente emulsificante, como el jabón, y la polimerización tiene lugar dentro de estas micelas. Este enfoque se utiliza comúnmente en la producción de pinturas.

2.2.3. Producción de polímeros.

Hermida (2010) Existen diversas formas de categorizar a los polímeros. Podemos clasificarlos en función de su origen, considerando la estructura de las macromoléculas, o también según su aplicación, como se describirá a continuación.

Polímeros Naturales: Estas sustancias son producidas por organismos vivos y se utilizan sin alteraciones. Ejemplos de tales polímeros incluyen proteínas como las utilizadas por las arañas para tejer sus telas, polisacáridos y caucho natural.

Polímeros Sintéticos: Estas macromoléculas son creadas por el ser humano y se subdividen en dos categorías según cómo reaccionan al ser calentados: termoplásticos y termo rígidos. Los termoplásticos se ablandan o derriten al ser calentados, siendo solubles en disolventes apropiados. Están compuestos por cadenas largas de moléculas, a menudo sin ramificaciones. Por otro lado, los termorrígidos se descomponen cuando se calientan y no pueden derretirse ni disolverse. Estos polímeros poseen estructuras tridimensionales elaboradas con entrecruzamientos.

Polímero reciclado: Ciencia de los materiales (2019), Desde una perspectiva técnica, el proceso de reciclaje de polímeros abarca tanto las instalaciones de reciclaje como los residuos generados después del consumo. En el contexto de las instalaciones de reciclaje, se lleva a cabo el procedimiento de trituración y re-fusión de polímeros descartados, transformándolos nuevamente en productos acabados. Por otro lado, en el caso de los residuos post-consumo, se engloban todos los materiales poliméricos que fueron desechados después de haber abandonado las instalaciones originales.

2.2.4. Clasificación

Ecoplas (2013), A solicitud de las industrias dedicadas al reciclaje, los Estados Unidos desarrollaron un sistema de códigos con el propósito de identificar las diferentes categorías de plásticos empleados en la manufactura de diversos productos. Este sistema es conocido como Sistema de Identificación de Plásticos (SPI, por sus siglas en inglés) y resulta en una facilidad para la clasificación de cara a su futura reutilización. Los productos plásticos son marcados mediante un símbolo constituido por tres flechas dispuestas en forma de triángulo, en cuyo centro se encuentra un número y en su base letras descriptivas. Este conjunto de flechas es ampliamente reconocido como el emblema universal del reciclaje, y el número y letras contenidos en él dan información sobre el tipo de resina empleada. Dicho sistema se emplea para distinguir los materiales correspondientes a los seis primeros símbolos (que abarcan la gran mayoría de plásticos) mientras que el séptimo símbolo se reserva para otros tipos de materiales.



Figura 2.1 Código de Identificación de plásticos.

Tomada por «Society of the Plastics Industry (1988)», por Ecoplas 2013.

Plástico reciclado (PET).

Mariano (2011), El PET, o politereftalato de etileno, es un tipo de poliéster con características aromáticas. Su designación técnica es polietileno tereftalato, y pertenece a la categoría de termoplásticos, lo que significa que es susceptible de ser reciclado.

Tabla 2. 1 Datos técnicos del PET.

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm^3	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 - 0.4
Dureza	--	Rockwell M94 - M101
Dilatación térmica	$10^{-4}/^{\circ}\text{C}$	15.2 - 24
Resistencia al calor	$^{\circ}\text{C}$	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
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	$^{\circ}\text{C}$	244 - 254

Fuente: Lokensgard (1999), por Mariano 2011.

Ventajas del plástico reciclado (PET).

Mariano (2011), Propiedades Distintivas El PET exhibe características únicas que incluyen claridad, luminosidad, transparencia, su capacidad de actuar como barrera frente a gases y aromas, resistencia a impactos, capacidad para ser termoformado, facilidad para ser impreso con tintas, y la capacidad de soportar la cocción en microondas.

Balance entre costo y rendimiento, En los últimos cinco años, el precio del PET ha sido más estable que el de otros polímeros como PVC, PP, LDPE y GPPS.

Disponibilidad Global, La producción de PET se lleva a cabo en diversas regiones del mundo, incluyendo Sur y Norteamérica, Europa, Asia y Sudáfrica.

El PET es reciclable, dando origen al material denominado RPET. Sin embargo, este material reciclado no puede ser utilizado para fabricar envases destinados a la industria alimentaria, ya que las temperaturas empleadas en el proceso de reciclaje no son suficientes para garantizar la esterilización del producto. Para abordar esta limitación, han surgido procesos especiales de reciclaje para el PET, como los procesos de súper limpieza, que permiten su empleo en aplicaciones que requieren contacto con alimentos.

Desventajas del plástico reciclado (PET).

Mariano (2011), Proceso de Desección, es de vital importancia someter cualquier tipo de poliéster a un procedimiento de desecación para prevenir la pérdida de sus cualidades fundamentales. Al iniciar este proceso, el contenido de humedad en el polímero no debe exceder el 0.005%. Para lograr este objetivo, se utiliza la técnica de desecación mediante la circulación de aire caliente, previamente deshumidificado, antes de que el material sea sometido a procesos en inyectoras o extrusoras. Sin embargo, esta fase adicional implica costos adicionales. Una alternativa sería el proceso de desecación a través de radiación infrarroja, pero esta opción conlleva un costo aún más elevado.

Inversión en Equipamiento, los equipos que involucran la inyección y el soplado con orientación a biorientación resultan económicamente viables cuando se trata de una producción de gran envergadura. En el caso de la extrusión con soplado, es posible utilizar equipos convencionales que normalmente se emplean para el PVC, lo cual otorga mayor versatilidad en la fabricación de productos de distintos tamaños

y formas.

Consideraciones de Temperatura, los poliésteres no conservan sus propiedades óptimas cuando se exponen a temperaturas superiores a los 70 grados Celsius. Sin embargo, se han llevado a cabo mejoras ajustando los equipos para permitir el proceso de llenado en caliente. Una excepción a esta regla es el PET cristalizado (opaco), que demuestra una notable resistencia a temperaturas de hasta 230 °C.

Exposición a las Inclemencias del Tiempo, no se aconseja el uso prolongado de poliésteres en situaciones de exposición constante a las condiciones climáticas exteriores.

2.2.5. Módulo de soporte de subrasante.

Quezada (2017), En cada proyecto, se presentan diversas circunstancias y contextos en los cuales se encuentran distintas propiedades del suelo. Esto implica la importancia de tomar decisiones estratégicas con el fin de garantizar el adecuado desempeño del proyecto.

Subrasante.

MTC (2014), La capa inferior de suelo en la estructura de un pavimento, conocida como subrasante, desempeña un papel fundamental. La calidad de esta capa está directamente vinculada al espesor del pavimento, ya sea este rígido o flexible. La evaluación de su capacidad de soporte se realiza mediante el índice CBR. Es crucial considerar cómo la humedad puede afectar la resistencia y los cambios de volumen del suelo, ya que estas variaciones pueden ocasionar daños significativos en la estructura sobre la subrasante. Por ende, al construir sobre este tipo de suelo, resulta esencial implementar precauciones para evitar fluctuaciones en la humedad. Con el propósito de prevenir posibles situaciones adversas, se emplean métodos de impermeabilización o estabilización del suelo para mitigar estos eventos.

Caracterización de la subrasante.

MTC (2014), Con el propósito de evaluar las propiedades físico-mecánicas de los componentes de la capa subrasante, se llevarán a cabo investigaciones a través de la realización de perforaciones exploratorias o excavaciones de 1.5 metros como mínimo en profundidad.

Las excavaciones se llevarán a cabo de manera longitudinal y alternada,

cubriendo la franja que se extiende a lo ancho de la calzada, con intervalos aproximadamente equidistantes. En etapas posteriores, en caso de ser necesario, se incrementará la exploración en puntos específicos a lo largo del trazado de la vía, según se describe en la tabla 2.

MTC (2014), Los estratos de suelo situados por debajo del nivel superior de la sub rasante, a una profundidad no menor de 0.60 metros, deben ser suelos apropiados y firmes, con un índice CBR de al menos 6%. En caso de que el suelo ubicado bajo el nivel superior de la sub rasante presente un CBR menor al 6% (sub rasante deficiente o inapropiada), se requiere aplicar medidas de estabilización. En este contexto, el Ingeniero Responsable examinará diversas opciones de acuerdo con la naturaleza del suelo, tales como la estabilización mediante geo sintéticos, el ajuste de la elevación de la superficie, la modificación del trazado vial, eligiendo la alternativa más adecuada en términos técnicos y económicos.

Tabla 2. 2 Número de calicatas para Exploración de suelos.

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> •Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido •Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido •Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> •Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido •Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido •Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• 4 calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• 3 calicatas x km	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• 2 calicatas x km	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• 1 calicatas x km	

Fuente: Por MTC, Manual de carreteras ,2014 p.28.

Tabla 2. 3 Categorías de Sub rasante.

Categoría de subrasante	CBR
S0: Sub-Rasante inadecuada	CBR <3%
S1: Sub-Rasante insuficiente	CBR \geq 3% - CBR <6%
S2: Sub-Rasante regular	CBR \geq 6% - CBR <10%
S3: Sub-Rasante buena	CBR \geq 10% - CBR <20%
S4: Sub-Rasante muy buena	CBR \geq 20% - CBR <30%
S5: Sub-Rasante excelente	CBR \geq 30%

Fuente: MTC, Manual de carreteras ,2014, p.37.

Estabilización de suelos arcillosos.

Mamani y Rivera (2018),

La estabilización de suelos de tipo arcilloso implica ajustar ciertas características superficiales con el fin de lograr las condiciones más apropiadas para el uso previsto del suelo. Las características desfavorables principales de una arcilla plástica incluyen un índice plástico excesivamente alto, que puede dar lugar a una expansión notable o, por el contrario, a una contracción destacada. Además, la capacidad para soportar cargas estructurales es notablemente baja en estas circunstancias. Por lo tanto, el suelo arcilloso debe tener la capacidad de modificar su volumen al absorber o liberar agua, lo que se traduce en expansiones evidenciadas por asentamientos y grietas horizontales en la superficie.

Características de suelos arcillosos.

Junco del Pino (2011), Las arcillas se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados, y en ocasiones también pueden contener silicatos de magnesio, hierro u otros metales, que también están hidratados. Estos minerales suelen tener una estructura cristalina bien definida, en la cual los átomos están dispuestos en capas. Estas capas se dividen en dos tipos: la silícica y la alumínica.

La capa silícica está formada por un átomo de silicio rodeado de cuatro átomos de oxígeno, creando una estructura en forma de tetraedro, Estos tetraedros se organizan en unidades hexagonales, donde un átomo de oxígeno actúa como enlace entre cada par de tetraedros.

Criterios para estabilizar un suelo.

Quezada (2017), El diseño de la estructura de un pavimento tiene como objetivo garantizar su capacidad para distribuir las cargas vehiculares sin exceder la resistencia que la subrasante puede soportar. Para lograr este propósito, se busca asegurar un nivel adecuado de calidad en aspectos tales como manejo, resistencia al hundimiento, prevención de grietas, tracción, así como la reducción de ruido y deslumbramiento. Además, en términos generales, los pavimentos se clasifican en tres tipos: flexibles, rígidos y semirrígidos

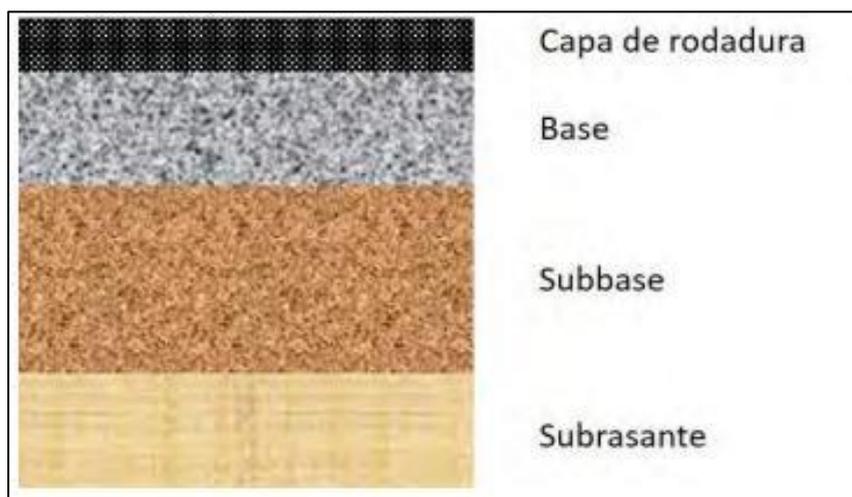


Figura 2. 2 Esquema de la estructura de un pavimento flexible. Por Quezada 2017.

2.3. MARCO CONCEPTUAL.

2.3.1. Análisis químico

Bernier y Undurraga (2016), Involucra extraer e incorporar sustancias en solución química y luego medirlo mediante métodos adecuados. El análisis químico del suelo constituye un proceso científico destinado a examinar la composición química de una parcela específica de tierra. Este método de evaluación suministra detalles pormenorizados acerca de la presencia y concentración de diversos nutrientes, minerales, elementos y compuestos químicos presentes en el suelo. Entre los elementos fundamentales que suelen someterse a análisis se encuentran los niveles de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, así como otros elementos tales como el calcio, el magnesio, el sodio y los oligoelementos.

2.3.2. Análisis Granulométrico

MTC E 113 (2016), Metodología para la representación de la distribución de los tamaños que posee un suelo según especificaciones técnicas de tamizado para la clasificación de estos. Dentro del ámbito de la ingeniería civil, el análisis granulométrico representa un procedimiento esencial en los ensayos de suelo. Su finalidad primordial consiste en definir la distribución de tamaños de partículas presentes en una muestra de suelo, aspecto crucial para comprender las propiedades y comportamientos geotécnicos del mismo. A continuación, se describe de manera típica cómo se lleva a cabo este análisis en el contexto de la ingeniería civil:

Se toma una muestra representativa del suelo en estudio, asegurándose de que sea lo suficientemente grande y representativa de la zona de interés. La muestra se somete a un proceso de secado y se separa en distintas fracciones según el tamaño de las partículas. Este procedimiento se realiza mediante tamizado, utilizando tamices con aberturas de diferentes dimensiones para separar las partículas según su tamaño.

Las fracciones resultantes de la muestra se someten a tamizado a través de una serie de tamices con aberturas de tamaño decreciente. Posteriormente, se registra el peso de la cantidad de suelo retenida en cada tamiz.

Con los datos recabados del proceso de tamizado, se construye la "curva granulométrica", la cual ilustra la proporción acumulativa de suelo retenido en relación con el tamaño de las partículas.

La interpretación de la curva granulométrica proporciona información vital sobre la textura del suelo, clasificándolo en categorías como arcilla, limo, arena, o combinaciones de estos elementos. Este análisis resulta crucial para entender propiedades de ingeniería del suelo, tales como su capacidad de carga, compactibilidad y permeabilidad. En resumen, el análisis granulométrico en los ensayos de suelo para ingeniería civil se revela como un proceso imprescindible para evaluar las características físicas del suelo y fundamentar decisiones informadas en el diseño y construcción de estructuras

2.3.3. CBR

Araujo (2015), El CBR es un parámetro utilizado para medir la capacidad de resistencia del suelo de acuerdo con especificaciones técnicas. La determinación del CBR implica la realización de un ensayo estándar en el cual se somete una muestra

de suelo compactada a condiciones específicas de carga. La relación entre la carga necesaria para provocar una determinada deformación y la carga estándar aplicada al suelo se expresa como un porcentaje, siendo el CBR el resultado obtenido. En términos generales, un suelo con un CBR más alto indica una mayor capacidad de soporte y resistencia.

En el ámbito del diseño y la construcción de carreteras, esta medida desempeña un papel crucial al ayudar a definir la capacidad de carga del suelo, influyendo así en las decisiones relativas al espesor del pavimento y otras consideraciones estructurales.

2.3.4. Capacidad de soporte

Saavedra (2022), Es una característica que define la capacidad del suelo para enfrentar cargas. La capacidad de soporte del suelo en ingeniería civil hace referencia a la aptitud intrínseca del suelo para resistir las cargas aplicadas por una estructura, evitando deformaciones excesivas o fallos. En términos más simples, se trata de la capacidad del suelo para aguantar y transferir las cargas de una estructura de manera segura y estable hacia las capas más profundas de la subbase. En el diseño y la construcción de infraestructuras como edificios, puentes y carreteras, la capacidad de soporte del suelo emerge como un factor fundamental

La evaluación de esta capacidad implica comprender la composición del suelo, considerando factores como su densidad, nivel de humedad y otros aspectos geotécnicos que afectan su comportamiento bajo carga. Este procedimiento es crucial para tomar decisiones informadas en el diseño estructural, la elección de cimientos y la planificación de la construcción, asegurando una distribución eficiente y segura de las cargas de la estructura en el suelo subyacente.

2.3.5. Densidad

Carreño (2015), La densidad del suelo es una propiedad física distintiva de la materia que relaciona el peso por volumen del suelo. En el contexto de la ingeniería civil, el término "densidad del suelo" se refiere a la cantidad de masa de suelo contenida en una unidad específica de volumen. Este parámetro es de suma importancia para describir las propiedades físicas y la compactación del suelo, desempeñando un papel esencial en el diseño y la construcción de estructuras. La

densidad del suelo se representa comúnmente en unidades de masa por unidad de volumen, como kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o gramos por centímetro cúbico (g/cm^3).

2.3.6. Eficiencia económica

IDEAD (2018), se refiere a una situación económica en la cual se produce una asignación o distribución de recursos de manera óptima, minimizando el desperdicio y reduciendo la ineficiencia al mínimo. La eficiencia económica implica la habilidad de un sistema, proceso o actividad para optimizar la producción de bienes y servicios, aprovechando de manera óptima los recursos disponibles. En términos simples, se busca alcanzar el rendimiento máximo utilizando eficientemente los recursos limitados, minimizando los desperdicios y garantizando una utilización efectiva de los insumos disponibles.

2.3.7. Eficiencia técnica

IDEAD (2018), optimización de los procesos de producción y, en consecuencia, de la mejora del funcionamiento general. En un ámbito más detallado, la eficiencia técnica está vinculada con la capacidad de alcanzar los objetivos planificados utilizando la menor cantidad de recursos posible. Este concepto es aplicable en diversos campos, que van desde la manufactura, ingeniería y agricultura hasta cualquier otra actividad productiva. Un sistema que sea técnicamente eficiente se distingue por su habilidad para generar bienes y servicios de manera efectiva, evitando el desperdicio de recursos y empleando tecnologías, procesos y métodos de trabajo de forma óptima.

2.3.8. Gravedad Específica

MTC E 113 (2016), Relación de la densidad de la muestra y la densidad del agua a una temperatura estándar. La gravedad específica del suelo, al ser empleada, proporciona información sobre diversas características del suelo, como su capacidad de retención de agua, permeabilidad y grado de compactación. Asimismo, en los campos de la ingeniería civil y la geotecnia, este valor es esencial para llevar a cabo cálculos vinculados con la mecánica de suelos y el diseño de cimientos.

2.3.9. Índice de plasticidad

MTC (2014), Cuantificación del intervalo de humedades en donde el suelo tiene consistencia plástica y es posible clasificarla.

A medida que el índice de plasticidad aumenta, la plasticidad del suelo también incrementa. Los suelos con un índice de plasticidad elevado tienden a mostrar deformaciones más pronunciadas y son más propensos a variaciones en la humedad. En ingeniería civil, este índice desempeña un papel crucial para entender las características del suelo, particularmente en lo que respecta a la compactación, la construcción de cimientos y la estabilidad de taludes.

2.3.10. Límite líquido

MTC E 110 (2016), La transición del estado semilíquido a uno plástico en un suelo se caracteriza por el límite líquido, también conocido como "límite de consistencia líquida" (LL). Este parámetro es crucial en la mecánica de suelos, ya que define la respuesta del suelo a variaciones en la humedad. El límite líquido indica el contenido de humedad en el suelo en el cual experimenta un cambio de estado de plástico a líquido. Su determinación se lleva a cabo mediante el "ensayo de límite líquido", en el cual una muestra de suelo con un contenido de humedad específico se somete a golpes hasta mostrar ciertas características definidas. Este límite se expresa como un porcentaje del peso seco de la muestra y es fundamental para clasificar los suelos y comprender sus propiedades.

En la ingeniería civil, este parámetro resulta crucial para evaluar la plasticidad del suelo y categorizarlo, ya sea como arcilla de baja, media o alta plasticidad. El conocimiento del límite líquido es fundamental en el diseño de construcciones que interactúan con el suelo, ya que su variación puede influir en propiedades como la compactación, la resistencia y la deformabilidad del terreno.

2.3.11. Límite plástico

MTC E 111 (2016), La transición del estado plástico a un estado semisólido se refiere a un aspecto importante en la mecánica de suelos, conocido como límite plástico. Este término hace alusión al nivel de humedad en el cual un suelo cambia de un estado plástico a uno semisólido. Este parámetro es esencial para comprender el comportamiento del suelo y clasificarlo en términos de plasticidad. La

determinación del límite plástico se realiza a través del "ensayo de límite plástico", donde una muestra de suelo con una humedad específica se moldea en forma de hilo hasta que se rompe. El límite plástico se expresa como el contenido de humedad asociado con este proceso y se presenta como un porcentaje del peso seco de la muestra.

2.3.12. Máxima densidad seca

Rosendo (2008), La Máxima Densidad Seca se refiere a la densidad máxima que se logra en una muestra de suelo con un contenido de humedad óptimo. Para determinar este parámetro, se llevan a cabo pruebas de compactación en muestras de suelo con diversos niveles de humedad. Se utiliza una energía de compactación controlada y se mide la densidad del suelo en cada nivel de humedad. La gráfica resultante muestra el punto en el cual la densidad del suelo alcanza su valor máximo, identificando así la Máxima Densidad Seca. Este proceso es esencial en la ingeniería de suelos para comprender y optimizar las propiedades de compactación del terreno.

2.3.13. Módulo de soporte del suelo

En el ámbito de la ingeniería civil, la expresión "módulo de soporte" hace referencia a la capacidad de carga de la subrasante, que constituye el suelo natural situado bajo carreteras, pavimentos y otras estructuras de ingeniería. Este módulo representa una medida de la resistencia del suelo ante las cargas aplicadas.

El propósito del módulo de soporte es evaluar la capacidad de la subrasante para resistir las cargas provenientes de las estructuras que descansan sobre ella, como el tráfico vehicular. Su cuantificación se realiza generalmente en unidades de presión, como psi (libras por pulgada cuadrada) o kPa (kilopascales).

Determinar el módulo de soporte es crucial en el diseño de carreteras y pavimentos, asegurando que la subrasante pueda resistir las cargas sin experimentar deformaciones excesivas. Esta información desempeña un papel clave en garantizar la estabilidad y durabilidad de la infraestructura vial. Los ingenieros civiles utilizan métodos como el ensayo de placa cargada y el ensayo de placa circular para medir el módulo de soporte en el terreno.

2.3.14. Óptimo contenido de humedad

MTC E108 (2016), La humedad del suelo se define como el porcentaje de peso del agua presente en una cierta cantidad de suelo con respecto al peso de las partículas sólidas del mismo. En ingeniería de suelos, el término "óptimo contenido de humedad" se refiere al nivel específico de humedad en el cual un suelo alcanza su máxima densidad seca durante el proceso de compactación. En otras palabras, se trata del nivel de humedad que, al ser aplicado durante la compactación, resulta en la densidad seca máxima del suelo.

La determinación del óptimo contenido de humedad es esencial en la planificación y construcción de estructuras, especialmente en proyectos de ingeniería civil. Este valor óptimo garantiza que el suelo sea compactado de manera eficiente, optimizando su resistencia y estabilidad. Los ingenieros de suelos realizan pruebas de compactación en muestras de suelo con diferentes niveles de humedad para identificar este punto óptimo.

2.3.15. Plasticidad

MTC (2014), La plasticidad de un suelo se refiere a su capacidad de mantener estabilidad hasta un límite máximo de humedad sin disgregarse. Esta propiedad implica la habilidad del suelo para cambiar de forma y fluir cuando se somete a fuerzas, especialmente en estado húmedo. En un sentido más técnico, la plasticidad del suelo está vinculada con la capacidad del mismo para experimentar deformaciones plásticas bajo condiciones específicas de humedad y presión.

Polímero reciclado

Marino (2014) Los polímeros son descritos como moléculas de gran tamaño formadas por una o más unidades químicas fundamentales. El concepto de "polímero reciclado" hace referencia a materiales poliméricos que han sido recuperados, tratados y reutilizados en vez de ser desechados como residuos. Los polímeros, que son compuestos orgánicos de elevado peso molecular, como el plástico, tienen la capacidad de ser moldeados en diversas formas. Cuando estos polímeros son

sometidos a procesos de reciclaje, se recopilan, se llevan a cabo procedimientos para su limpieza y transformación, y finalmente se emplean en la fabricación de nuevos productos.

2.3.16. Resistencia del suelo

Aburto (2011) La resistencia del suelo es una propiedad físico-mecánica que se refiere a la capacidad del suelo para resistir esfuerzos de compresión y corte. Esta resistencia puede variar según el tipo de suelo, su composición y las condiciones de carga a las que está expuesto. La evaluación de la resistencia del suelo se lleva a cabo mediante pruebas geotécnicas y ensayos específicos, como el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) o el Ensayo de Corte Directo. Los ingenieros de suelos utilizan estos datos para calcular la capacidad de carga del suelo y diseñar estructuras capaces de resistir las cargas previstas.

CAPITULO III: HIPÓTESIS

3.1. HIPÓTESIS GENERAL.

Los polímeros reciclados (PET) favorecen positivamente a la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos.

3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS.

- a) El polímero reciclado(PET), tendrá un efecto positivo en la efectividad técnica.
- b) El polímero reciclado(PET), variará positivamente en la efectividad económica.

3.3. VARIABLES.

3.3.1. Definición conceptual de las variables.

✓ **Variable (x) – Polímeros reciclados (PET).**

Calle y Arce (2018) mencionó que un polímero alterado que se encuentra en forma de solución acuosa y se combina de manera apropiada con agua, forma una mezcla que puede emplearse para fortalecer suelos susceptibles y así otorgarles la capacidad de resistir la compresión.

✓ **Variable (y) – Módulo de soporte en Subrasante con presencia de suelos arcillosos.**

Según Chávez (2018), una subrasante con presencia de suelos arcillosos su granulometría tiene un peso especial de partículas pequeñas menores a 0.002 mm y sus partículas están compuestas por minerales como silicato de hierro, aluminio,

magnesio, etc.

3.3.2. Definición operacional de la variable.

✓ **Variable (x) - Polímeros reciclados (PET).**

El polímero reciclado (PET) se adicionó en un 6% y 9% donde permitirá a la subrasante a través de sus propiedades una mejora de las propiedades del suelo arcilloso como resistencia y estabilidad.

✓ **Variable (y) – Módulo de soporte en Subrasante con presencia de suelos arcillosos.**

Se llevó a cabo los ensayos de laboratorio en las muestras recolectadas mediante las calicatas realizadas en el lugar, donde se agregó polímeros reciclados (PET).

3.3.3. Operacionalización de las variables.

En la Tabla 4, se presenta una matriz de operacionalidad que incluye diversas variables. En esta tabla, se detallan la definición conceptual de cada variable, su definición operacional, las dimensiones asociadas, los indicadores con sus respectivas medidas y, finalmente, la escala de medición correspondiente. Este enfoque sistemático y completo permite una comprensión detallada y estructurada de las variables en estudio, facilitando así el análisis y la interpretación de los datos recopilados.

Tabla 3. 1 Matriz de operacionalización.

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	MEDIDAS	ESCALA DE MEDICION
1: Variable Independiente: Polímeros reciclados (PET)	Según Llactahuamaní (2018), mencionó que un polímero alterado que se encuentra en forma de solución acuosa y se combina de manera apropiada con agua, forma una mezcla que puede emplearse para fortalecer suelos susceptibles y así otorgarles la capacidad de resistir la compresión.	El polímero reciclado (PET) se adicionó en un 6% y 9% donde permitirá a la subrasante a través de sus propiedades una mejora de las propiedades del suelo arcilloso como resistencia y estabilidad.	Caracterización	Análisis químico	%	Intervalo
				Análisis Granulométrico	gr.	Razón
				Gravedad Específica.	%	Intervalo
			Porcentaje de adición	6.00	%	Intervalo
				9.00	%	Intervalo
2: Variable Dependiente: Módulo de soporte en Subrasante con presencia de suelos arcillosos	Según Chávez, (2018) una subrasante con presencia de suelos arcillosos su granulometría tiene un peso especial de partículas pequeñas menores a 0.002 mm y sus partículas están compuestas por minerales como silicato de hierro, aluminio, magnesio, etc.	Se llevó a cabo los ensayos de laboratorio en las muestras recolectadas mediante las calicatas realizadas en el lugar, donde se agregó polímeros reciclados (PET).	Efectividad técnica	Límite líquido MTC E 110	%	Intervalo
				Límite plástico MTC E 111	%	Intervalo
				Índice de plasticidad MTC E 111	%	Intervalo
				Máxima densidad seca MTC E 115	kg/m ³	Razón
				Optimo contenido de humedad MTC E 115	%	Intervalo
				CBR al 100% de máxima densidad seca MTC E 129	%	Intervalo
				Efectividad económica	Precio unitario	S/.
				Costo total	S/.	Razón

CAPITULO IV: METODOLOGÍA

4.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.

Labajo (2016), se da un método científico, dado que se apoya en reglas elaboradas por el ser humano en lugar de principios que se consideran revelados, Estas reglas siempre se descartan si los hechos contradicen sus afirmaciones. La validez de este enfoque se respalda mediante la evidencia de su utilidad en la vida cotidiana.

Para la presente investigación se utilizará el enfoque de investigación científico, por el cual se iniciará con la observación del problema para así, llegara a la experimentación y mostrar los resultados, Asimismo, se describirán y analizarán la función de los polímeros reciclados (PET) en el módulo de soporte de la subrasante en suelos arcillosos, y por último se realizará la prueba de las hipótesis planteadas.

4.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Murillo (2008), La investigación aplicada se caracteriza por su enfoque en la utilización de conocimientos existentes y la adquisición de nuevos a través de la implementación y organización sistemática de prácticas basadas en la investigación. Este proceso riguroso y estructurado de aplicar los resultados de la investigación conduce a una comprensión más profunda y sistemática de la realidad.

En el presente estudio, se optó por utilizar este tipo de investigación aplicada, ya que implica la cuantificación de los materiales utilizados, la realización de ensayos y el análisis de resultados. El objetivo es proporcionar alternativas de solución al problema observado, utilizando el conocimiento obtenido a través de la

investigación aplicada.

4.3. NIVEL DE INVESTIGACION.

Campbell y Stanley (2005), La investigación explicativa se caracteriza por su enfoque en establecer relaciones causales, y su propósito va más allá de la mera descripción o aproximación a un problema, ya que busca identificar de manera precisa las causas subyacentes. Este tipo de investigación puede emplear tanto diseños experimentales como no experimentales para lograr sus objetivos.

Por lo tanto, la presente investigación se clasificó como de nivel explicativo, ya que se centra en la relación causal entre el polímero reciclado (PET) y el posible efecto que podría tener en el módulo de soporte de suelos arcillosos. En este contexto, se busca comprender de manera más profunda y precisa cómo la presencia de polímero reciclado puede influir en las propiedades de soporte de suelos con características arcillosas.

4.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.

Hernández (2014), El diseño experimental se describe como una táctica para investigar y dar respuesta a las hipótesis de estudio. Implica la manipulación deliberada de variables para evaluar cómo afectan a otras variables. La variable dependiente se evalúa según el impacto causado por la variable independiente. Por lo tanto, en este estudio, se empleará un diseño experimental (cuasi-experimental)

Por ello el diseño de investigación a utilizar fue experimental (cuasi-experimental), porque mediante procesos se realizó un análisis de la subrasante estabilizada en suelos arcillosos con el uso de polímeros reciclados, (PET) utilizando el patrón, adicionando el 6% y 9%.

- ✓ Ficha técnica de finura.
- ✓ Ficha técnica de granulometría del suelo.
- ✓ Ficha técnica de máxima densidad seca con 0%, 5% y 6% con polímeros reciclados(PET).
- ✓ Ficha técnica del Proctor modificado

- ✓ Ficha técnica de CBR

4.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.

Durante la evaluación in situ, se tuvieron en cuenta los antecedentes identificados, especialmente en el contexto de la instalación de tuberías de gas natural. Se observó que la correcta instalación se volvía desafiante debido a las características del material de préstamo utilizado en el procedimiento. La experiencia previa en esa avenida reveló la presencia de un suelo arcilloso, lo cual resultó ser un factor crucial. Este antecedente contribuyó significativamente a la comprensión de los desafíos asociados con la instalación de tuberías en esa ubicación específica.

4.5.1. Población.

Arias (2006), Un grupo de elementos, ya sea limitado o infinito, que comparten características comunes, sobre los cuales las conclusiones de la investigación se aplicarán de manera extensa. La población estuvo compuesta por la Av. Los Ecológicos Poncianas (1.100m x 5.4m) teniendo un total de 5.940 m² en el distrito de Ventanilla.

4.5.2. Muestra.

La muestra para la presente investigación fue seleccionada utilizando un tipo de muestreo no probabilístico, específicamente a través de la realización de 3 calicatas. con las dosificaciones al 0%,6% y 9% de adición de polímeros reciclados(PET).

Tabla 4. 1 Técnicas de investigación de campo.

TIPO DE VÍA	NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	ÁREA (m ²)
Expresas	1 cada	1000
Arteriales	1 cada	1200
Colectoras	1 cada	1500
Locales	1 cada	1800

Fuente: «Pavimentos Urbanos», NTP CE. 010,2010, p.7.

4.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

4.6.1. Técnicas de recolección de datos.

- ✓ **Análisis de documentos:** El proceso comenzó con la revisión de antecedentes de la zona, incluyendo la evaluación de fotografías y calicatas en las cercanías para determinar la idoneidad del suelo con el propósito de beneficiar a la población. Asimismo, se consultó el Manual de Carreteras, específicamente la sección de Suelos y Pavimentos (2014), como fuente de información. Este manual establece los requisitos del CBR que el suelo debe cumplir para asegurar una pavimentación adecuada para la población local.
- ✓ **Observación directa:** Se realizó una visita al área donde se llevaron a cabo las excavaciones, llevando a cabo una exploración necesaria para realizar el estudio de suelos en esa zona. Durante esta visita, se realizaron las mediciones correspondientes en el área para planificar las muestras mencionadas.

4.6.2. Validez.

Chávez (2001), La eficacia de la medición de un instrumento se refleja en su validez, es decir, en qué medida logra evaluar lo que se propone. Profesionales en ingeniería civil llevarán a cabo la evaluación de estos instrumentos.

4.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

ETAPA 01.- Gabinete.

- ✓ Se inició la investigación explorando diversas páginas web, incluyendo repositorios universitarios, con el objetivo de identificar un tema de interés. Se consultaron artículos en plataformas como Scielo, PubMed y JSTOR, lo que condujo al descubrimiento de información relevante sobre el mejoramiento de la subrasante. Además, se revisaron libros relacionados con materiales y cimentaciones, así como revistas especializadas para complementar nuestra investigación.
- ✓ En el proceso de evaluación del terreno, se llevó a cabo una observación directa

a través de Google Maps, utilizando esta herramienta para delimitar de manera precisa la ubicación en cuestión. Sin embargo, reconociendo la importancia de una evaluación más detallada, también nos desplazamos físicamente al lugar para realizar una inspección in situ. Esta visita nos permitió no solo confirmar la exactitud de la delimitación establecida mediante Google Maps, sino también identificar puntos específicos para la ejecución de calicatas. Al realizar esta visita en persona, pudimos adquirir una comprensión más completa de las características topográficas y geológicas del terreno, lo cual resultará fundamental para la planificación y ejecución efectiva de las próximas fases del proyecto. Este enfoque combinado de observación remota y presencial nos brinda una perspectiva integral, garantizando una toma de decisiones informada y un desarrollo fluido de las actividades subsiguientes.

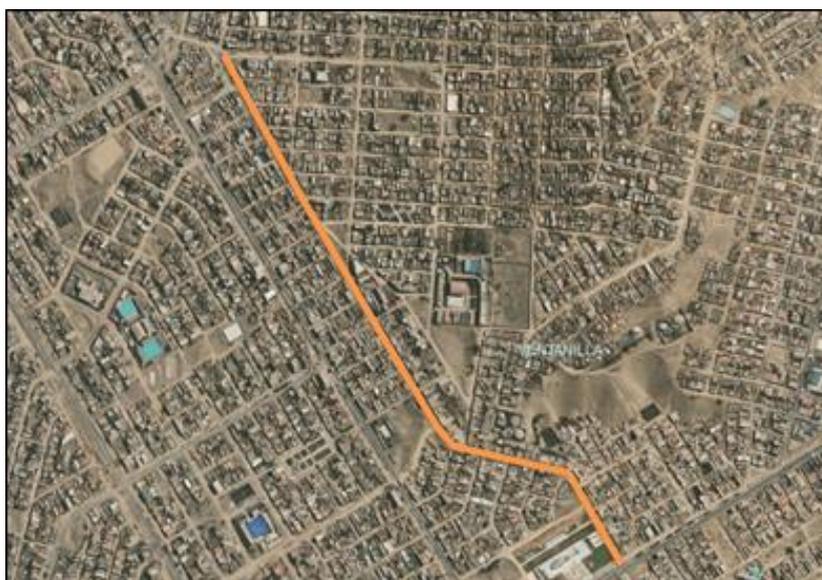


Figura 4. 1 Av. Los Ecólogos Poncianas Distrito de Ventanilla.
Tomado por «Google earth»



Figura 4. 2 Av. Los Ecólogos Poncianas Distrito de Ventanilla.
Elaboración propia.

- ✓ Se comenzó con la búsqueda del polímero reciclado (PET), en páginas de venta como Marketplace, mercado libre y páginas web, uno de los objetivos para obtener el polímero reciclado (PET) era conseguirlo a bajo costo ya que se busca la manera de obtener un buen resultado a bajo costo, por ello se optó por comprarlo en un lugar donde se dedican al reciclaje.

ETAPA 02.- Obtención del polímero reciclado (PET).

- ✓ Se realizó la compra en el distrito del Rímac, a 2 soles el kilogramo y por pedido del laboratorio se compró 25 Kilogramos se adjunta foto del polímero reciclado (PET).



Figura 4. 3 Polímero reciclado(PET). Elaboración propia.

ETAPA 03.- Campo.

- ✓ Se realizó la visualización de la zona donde se trabajará para poder llevar a cabo las calicatas y obtener las (9) muestras para llevarlas al laboratorio y comenzar con los ensayos respectivos.
- ✓ Como se menciona en el capítulo III, La población está compuesta por las muestras del suelo extraído de la Av. Los Ecólogos Poncianas (1.100m x 5.4m) teniendo un total de 5.940 m² en el distrito de Ventanilla. Se realizó la visita de estudio, para ello se realizaron las calicatas (3) y así obtener nuestras muestras para el laboratorio, como se muestran en las figuras de los anexos.

Localización y ubicación

El área bajo estudio se ubica en el distrito de Ventanilla, que forma parte de la provincia constitucional del Callao, en el Perú. Este distrito destaca por ser el más extenso y el segundo más poblado de la provincia.

- ✓ **Norte** : con el distrito de Santa Rosa y el distrito de Ancón
- ✓ **Sur** : con el distrito de Mi Perú y el distrito de Puente Piedra
- ✓ **Oeste** : con el océano Pacífico
- ✓ **Este** : con el distrito de Mi Perú y el distrito de Puente Piedra

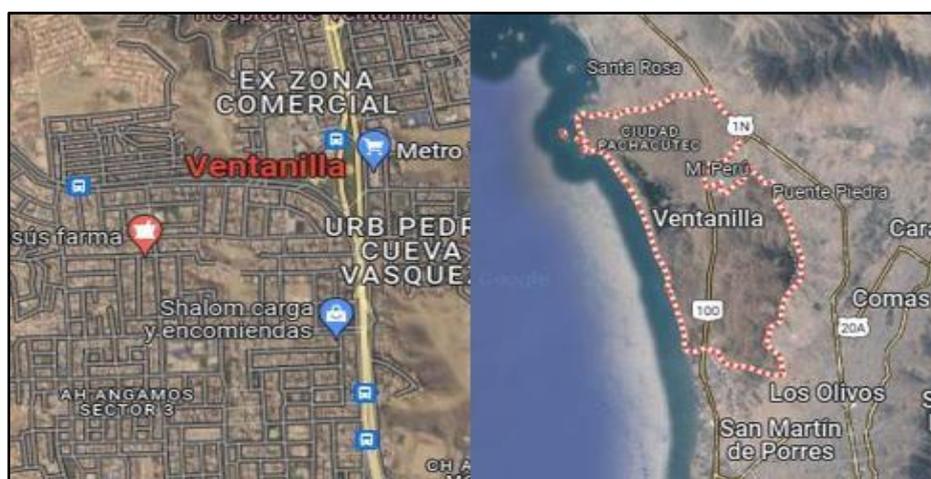


Figura 4. 4 Ubicación de la zona, Google Maps.

Descripción de la vía.

Esta etapa inicial consiste en evaluar la condición de la vía existente en el área de estudio, tomando como referencia la tapa de buzones existentes como la rasante. El tramo en cuestión está compuesto principalmente por Material de relleno sanitario, que incluye una mezcla de limos, arenas, gravas, trapos, costales, papeles, plásticos, vidrios, cascajos de ladrillos y restos de concreto. El suelo se caracteriza como poco firme y suelto, siendo considerado como terreno no apto para construcción. Por lo tanto, se propone su remoción total con un espesor que varía entre 0.40 m y 0.50 m.

Clima y temperatura.

El clima en la aquí es suave, y generalmente cálido y templado. Los veranos aquí tienen una buena cantidad de lluvia, mientras que los inviernos tienen muy poco. El clima aquí se clasifica como Cwb por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura varía desde los 14°C hasta los 26 °C, teniendo una temperatura promedio de 16 °C. La precipitación es de 804 mm al año.

Trabajo de campo.

Con el objetivo de llevar a cabo la evaluación geotécnica del suelo en la subrasante existente a lo largo del trazado, se implementó un programa de exploración de campo que comprendió la excavación de calicatas y la recolección de muestras destinadas a ensayos en el laboratorio. Se llevaron a cabo un total de 03 calicatas "a cielo abierto", identificadas como C-01 a C-03. La profundidad alcanzada en estas perforaciones fue de 1.50 m, ubicadas por debajo de la subrasante proyectada y distribuidas de manera alternada a lo largo de la vía en estudio, en los lados derecho e izquierdo.

Muestreo.

Durante el proceso, se extrajeron muestras perturbadas de cada estrato, las cuales fueron manejadas con cuidado, selladas y enviadas al laboratorio para su análisis. En dicho lugar, se llevaron a cabo ensayos con el objetivo de realizar la identificación y clasificación correspondiente de las muestras.

Ensayo de laboratorio de mecánica de suelos.

Se llevaron a cabo diversos ensayos estándar utilizando las muestras alteradas obtenidas de las calicatas realizadas. Estos ensayos incluyeron 03 análisis

granulométricos por tamizado, 09 determinaciones del límite líquido, 09 determinaciones del límite plástico, 09 ensayos de CBR, 01 prueba de sales solubles totales, 01 prueba de pH, 01 prueba de ion cloruro y 01 prueba de ion sulfato. Las muestras se sometieron a estos ensayos en el laboratorio de la empresa TECNILAB LABORATORIO DE SUELO S.A.C., y su clasificación se llevó a cabo utilizando el Sistema Unificado de Clasificación (SUCS).

Es relevante destacar que los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos ubicado en la ciudad de Lima, específicamente en el distrito de Villa el Salvador. Estos ensayos se llevaron a cabo siguiendo las Normas Peruanas E.050 de Suelos y Cimentaciones, así como las normativas establecidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Los resultados detallados de los ensayos de mecánica de suelos estándar se encuentran presentados en el Anexo. Se da comienzo a la lo recolectado en base a las 3 calicatas:

Tabla 4. 2 Tablas con la descripción de las 3 calicatas

CALICATA N° 01	CALICATA N° 02	CALICATA N° 03
<ul style="list-style-type: none"> • Nivel freático detectado a una profundidad de 1.50 m. • Capa superficial de 0.30 m de suelo tipo limo contaminado con materia orgánica e inorgánica (raíces, restos de concreto, bolsas, etc.). • Subyacente a esta capa, se encuentra un primer estrato (M-1) con un espesor de 1.20 m. • El material de este estrato es Arcilla Arenosa de baja plasticidad (CL). • Descripción del material: grano fino, de forma angular y subred ondeada, de color beige oscuro. • Presencia de finos plásticos, compacidad media y ligeramente húmeda. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel freático detectado a una profundidad de 1.50 m. • Capa superficial de 0.35 m de suelo tipo limo contaminado con materia orgánica e inorgánica. • Subyacente a esta capa, se encuentra un primer estrato (M-1) con un espesor de 1.15 m. • El material de este estrato es Arcilla Arenosa de baja plasticidad (CL). • Descripción del material: grano fino, de forma angular y subredondeada, de color beige oscuro. • Presencia de finos plásticos, compacidad media y ligeramente húmeda. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel freático detectado a una profundidad de 1.50 m. • Capa superficial de 0.40 m de suelo tipo limo contaminado con materia orgánica e inorgánica. • Subyacente a esta capa, se encuentra un primer estrato (M-1) con un espesor de 1.10 m. • El material de este estrato es Arcilla Arenosa de alta plasticidad (ML). • Descripción del material: grano fino, de forma angular y subredondeada, de color beige oscuro. • Presencia de finos plásticos, compacidad media y ligeramente húmeda.

ETAPA 04.- Laboratorio.

Al llegar al laboratorio, se procedió a realizar la subdivisión de las muestras mediante el método de cuarteo. Posteriormente, se llevó a cabo la inspección detallada de todo el material extraído de las tres calicatas que fueron excavadas. Como se muestra en la figura 4.5.



Figura 4. 5 Fotografía del cuarteo. Elaboración propia.

Granulometría

Se llevó a cabo el análisis granulométrico mediante el método de tamizado, siguiendo las pautas establecidas por la norma ASTM D6913. Este procedimiento permitió evaluar la distribución de tamaños de partículas en el suelo, identificando los porcentajes que pasan a través de los diversos tamices utilizados en el análisis, llegando hasta la malla N°200. Para la realización de este análisis, se utilizó un equipo de tamizado vibratorio de laboratorio, como se muestra en la figura 4.5.



Figura 4. 6 Fotografía de la granulometría. Elaboración propia.

Contenido de humedad.

La determinación precisa del contenido de humedad se llevó a cabo meticulosamente, siguiendo la normativa ASTM D2216, un estándar internacionalmente reconocido para la caracterización de suelos. Este procedimiento, implementado con rigurosidad, permitió calcular con exactitud el porcentaje del peso del agua con respecto al peso del suelo en estado seco. Siguiendo las directrices establecidas, se realizó una cuidadosa manipulación del material recolectado de los tamices seleccionados. Posteriormente, este material fue colocado con precisión en la tara designada antes de su introducción en el horno. Este paso es crucial, ya que asegura condiciones controladas para el proceso de secado, donde el agua presente en el suelo se evapora gradualmente, permitiendo así la determinación precisa del contenido de humedad.



Figura 4. 7 Fotografía del contenido de humedad.

Elaboración propia.

Limite liquido

La determinación del límite líquido se llevó a cabo siguiendo las directrices establecidas en la norma ASTM D4318. El propósito de este ensayo fue identificar el contenido máximo de humedad del suelo sin que este haga la transición del estado plástico al líquido. Inicialmente, se colocó el material que pasó a través de la malla N°40 en un recipiente. Luego, mediante el uso de una espátula, se mezcló la muestra con agua hasta lograr una homogeneidad en la mezcla. Posteriormente, la mezcla homogénea se colocó en la cuchara de casa grande, y se registraron el número de golpes y la separación observada con una espátula de separación, que fue de 1 cm, según se aprecia en el procedimiento descrito.

Limite plástico

La determinación del límite plástico se llevó a cabo siguiendo las pautas establecidas por la norma ASTM D4318. Este ensayo implica la formación de barras de muestra con un diámetro de 3.2 mm, utilizando material extraído del ensayo anterior, las cuales se ruedan entre la palma de la mano y una superficie según el procedimiento especificado.



Figura 4. 8 Fotografía del ensayo del límite plástico.

Elaboración propia.

Índice de plasticidad

La determinación del Índice Plástico se llevó a cabo siguiendo las directrices de la norma ASTM D4318. Este ensayo tiene como finalidad identificar el contenido de humedad del suelo en el cual permanece antes de pasar al estado líquido. La fórmula utilizada para calcular el Índice Plástico es la siguiente: Índice Plástico = Límite Líquido - Límite Plástico.

Proctor modificado

El ensayo de Proctor modificado se llevó a cabo siguiendo las especificaciones detalladas en la norma ASTM D1557. Este procedimiento permitió establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua en el suelo. A través de esta relación, se crearon gráficos que representan la conexión entre el contenido de humedad y la densidad seca tanto para el suelo natural como para el suelo sin dosificaciones, además del suelo reforzado con dosificaciones del 6% y 9% de polímero reciclado.

El propósito de estos gráficos fue identificar la máxima densidad seca correspondiente al contenido óptimo de humedad. Primero, se llevaron a cabo las mediciones adecuadas de los pesos tanto del polímero reciclado como del material extraído. Posteriormente, se realizaron las mezclas correspondientes y, a continuación, se introdujeron en el molde ya pesado para obtener el Proctor

modificado.



Figura 4. 9 Fotografía del polímero reciclado (PET) – 6%.
Elaboración propia.

CBR

Este procedimiento implica la evaluación de la resistencia del suelo, comúnmente conocida como la relación de soporte y referida como CBR (California Bearing Ratio). Inicialmente, se realizó el análisis del suelo natural, el cual fue debidamente preparado para su estudio, considerando las condiciones específicas tanto de humedad como de densidad del suelo, siguiendo las pautas establecidas por el ASTM D-1883.

Los equipos utilizados en este análisis comprendieron moldes para CBR de 6", una placa perforada de molde, brocha, balanza, tamices, espátulas, prensa para forzar la penetración y un pisón manual. Es importante destacar que se llevó a cabo el ensayo CBR para las 9 muestras provenientes de las 3 calicatas.



Figura 4. 10 Fotografía realizando el ensayo CBR al 6%.
Elaboración propia.



Figura 4. 11 Fotografía realizando el ensayo CBR al 9%.
Elaboración propia.

4.8. ASPECTOS ÉTICOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Se emplearon pruebas estadísticas de carácter descriptivo-comparativo en el estudio. En este contexto, se dio prioridad a la observación como elemento central de la investigación con el propósito de detallar los acontecimientos. Los datos obtenidos a través de estas observaciones fueron organizados en tablas y gráficos para su análisis. Para examinar las diferencias entre muestras independientes con base en probabilidades, se optó por utilizar la prueba t de Student.

CAPITULO V: RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.

En función al objetivo general, es **Evaluar la influencia del polímero reciclado (PET) en la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos.** y teniendo también la hipótesis general, **Los polímeros reciclados (PET) favorecen positivamente a la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos.**

Con la recopilación de todos los resultados previos sobre la efectividad técnica y económica de manera individual, ahora disponemos de los siguientes resultados para alcanzar el objetivo general.

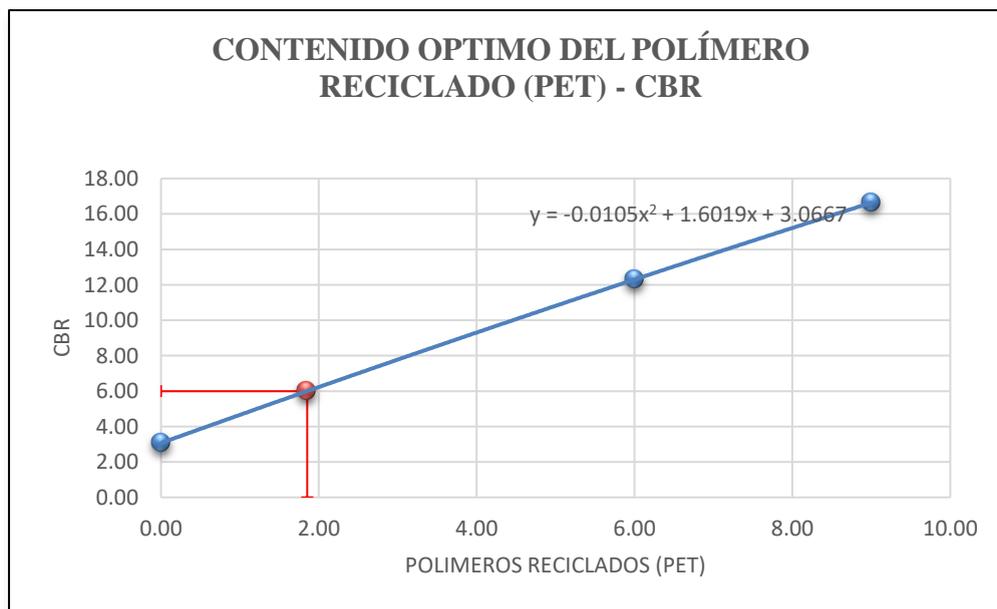
Quedó demostrado que la incorporación de polímero reciclado (PET) en el suelo no solo mejora su capacidad, sino que también incrementa el valor del CBR. No obstante, durante la verificación, se constató que el costo asociado a esta mejora es considerablemente elevado. Por lo tanto, se decidió abordar la evaluación de la optimización del contenido óptimo de polímero reciclado, con el objetivo de determinar una proporción que ofrezca beneficios significativos sin incurrir en costos prohibitivos. Este enfoque busca encontrar un equilibrio adecuado entre las mejoras en las propiedades del suelo y la viabilidad económica de la utilización del polímero reciclado y se obtuvo de la siguiente manera.

Se utilizó la formula cuadrática:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

Ecuación 5.1 Formula cuadrática, Doe2000.

Gráfico 5. 1 Optimización del polímero reciclado (PET) – CBR



Según el gráfico 5.1 obtenemos los valores de **a**, **b** y **c** que obtuvimos y lo hallamos en la tabla 5.1, para así finalmente concluir que con el **1.85%** de PET obtenemos un total de **6.23** valor de CBR siendo este un valor permitido para el diseño de una pavimentación.

Tabla 5. 1 Análisis del PET en base al CBR.

FORMULA:						
		a		b		c
Y	=	-0.0105	X ²	+	1.6019	X + 3.0667
y'	=	-0.021	x	+	1.6019	
PET=	=X	2				
y=	CB	6.2285		6		
y=	6	ENTONCES	X=	1.85366	%PET	

En el gráfico 5.2 contamos con los valores a, b y c que obtuvimos y lo hallamos en la tabla 5.2, podemos ver como se plasmó con obtenido anterior hallado que es de 1.85 % de PET, y así obtenemos un total de S/.65.50 en m³ siendo este menor al costo de mejoramiento de suelo convencional

Gráfico 5. 2. Optimización del polímero reciclado (PET) - COSTO

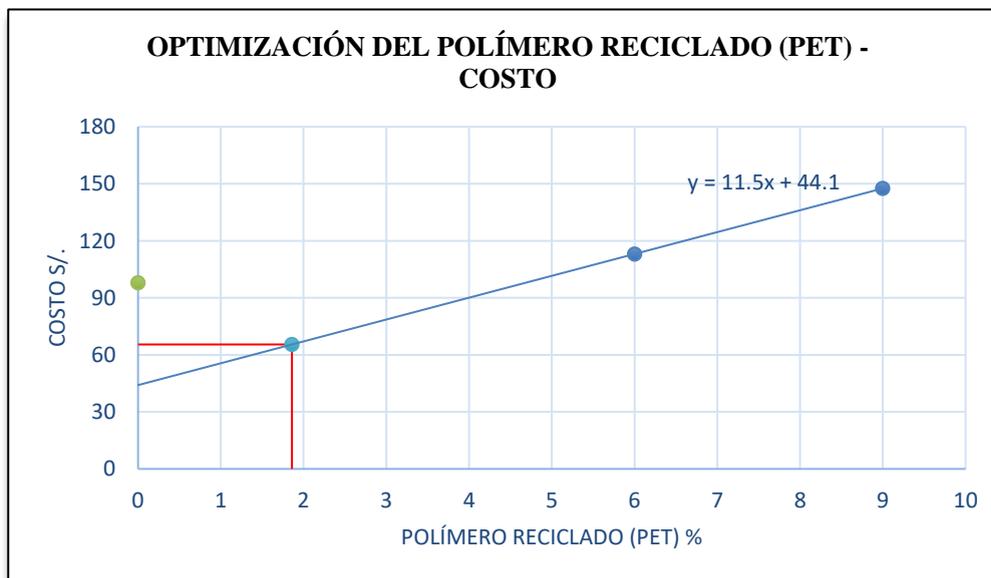


Tabla 5. 2 Análisis económico con material de préstamo.

PARA CBR= 6%	PET=1.86%	x=	1.86
y=	11.5	X	+ 44.1
y=	COSTO MINIMO=	S/	65.5

En función al objetivo específico 1, es **Analizar el efecto que produce el polímero reciclado (PET), en la efectividad técnica del módulo de soporte en la subrasante con presencia de suelos arcillosos.** y contando con la hipótesis 1, siendo **El polímero reciclado (PET), tendrá un efecto positivo en la efectividad técnica.**

Se obtiene los siguientes resultados en base al polímero reciclado (PET), Este material presenta una serie de propiedades destacadas que lo hacen versátil y ampliamente utilizado en diversas aplicaciones. Entre sus características más relevantes se incluyen:

- ✓ **Alta Transparencia:** Exhibe una transparencia notable, aunque también permite la incorporación de colorantes para adaptarse a diferentes requisitos estéticos.
- ✓ **Resistencia al Desgaste y Corrosión:** Destaca por su resistencia robusta tanto al desgaste como a la corrosión, lo que lo hace adecuado para entornos que implican condiciones adversas.

- ✓ **Coefficiente de Deslizamiento:** Posee un excelente coeficiente de deslizamiento, lo que facilita su procesamiento y manipulación en diversas aplicaciones.
- ✓ **Resistencia Química y Térmica:** Exhibe una buena resistencia tanto química como térmica, lo que contribuye a su durabilidad y versatilidad en entornos diversos.
- ✓ **Barrera a Gases:** Ofrece una excelente barrera a CO₂ y una barrera aceptable a O₂ y humedad, características esenciales en aplicaciones de envasado.
- ✓ **Compatibilidad con Otros Materiales Barrera:** Es compatible con otros materiales barrera, lo que mejora de manera conjunta la calidad barrera de los envases, permitiendo su uso en mercados específicos.
- ✓ **Reciclabilidad:** Es reciclable, aunque cabe destacar que tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica, aspecto a considerar en procesos de reciclaje.
- ✓ **Aprobación para Contacto con Alimentos:** Se encuentra aprobado para su uso en productos que estarán en contacto con alimentos, cumpliendo con estándares de seguridad alimentaria.

Estas propiedades físicas han impulsado el desarrollo significativo del PET, especialmente en la producción de fibras textiles y una amplia variedad de envases, incluyendo botellas, bandejas, flejes y láminas. La versatilidad del PET lo convierte en un material de elección en diversas industrias.

Análisis químico del suelo.

Tabla 5. 3 Límites de consistencia de Calicata N°1.

N°	ANÁLISIS QUÍMICO	VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES	RESULTADOS (%)		
1	Sales Delocuescentes o Cloruros	0.15%	0.11%	0.12%	012
2	Sulfatos Solubles (S04)	0.10%	0.09%	0.11%	010
3	Sales Solubles Totales	0.04%	0.02%	0.03%	0.03%
4	Sólidos en suspensión	1000			
5	Materia Orgánica expresado en Oxígeno	10			

6	Sales Solubles de Magnesio	150			
7	Límite de Turbidez	2000			
8	Dureza	> 5			
9	Potencial de Hidrógeno (PH)	> 7	7	72	71

El análisis químico detalla los resultados de varios parámetros en relación con los límites máximos permitidos. En relación con las sales delocuescentes o cloruros, se observaron porcentajes de 0.11%, 0.12%, y 0.12%, todos cumpliendo con el límite establecido del 0.15%. En cuanto a los sulfatos solubles (SO₄), los valores obtenidos fueron de 0.09%, 0.11%, y 0.10%, todos dentro del rango aceptable de 0.10%. Respecto a las sales solubles totales, se registró un porcentaje del 0.03%, cumpliendo con el límite de 0.04%. Aunque no se suministraron datos para sólidos en suspensión, materia orgánica expresada en oxígeno, sales solubles de magnesio, turbidez y dureza, los resultados del potencial de hidrógeno (pH) arrojaron valores de 7, 7.2 y 7.1, cumpliendo con el requisito de ser mayor a 7. En resumen, la mayoría de los parámetros analizados se encuentran dentro de los valores máximos permitidos. Al contemplar las características del polímero, y el análisis químico continuamos con los ensayos de laboratorios adecuados.

Límites de consistencia.

Tabla 5. 4 Límites de consistencia de Calicata N°1.

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA			
CALICATA N°1	PATRÓN (%)	CON PET 6%	CON PET 9%
LIMITE LIQUIDO	33	30	28
LIMITE PLASTICO	21	23	25
INDICE DE PLASTICIDAD	12	7	3

A partir de los datos presentados en la Tabla 5.4, se puede observar que los valores de límite de consistencia para la calicata N°1 se registraron con diferentes proporciones de adiciones de polímero reciclado (PET), específicamente un 6% y 9%. En relación al límite líquido (LL), se evidencia que sin adición de polímero reciclado (PET), el valor es del 33%. Sin embargo, al incorporar un 6% de polímero reciclado, este valor disminuye a un 30%, y al continuar añadiendo un 9% de polímero reciclado (PET), el límite líquido se reduce aún más, alcanzando un 28%.

En cuanto al límite plástico (LP), en ausencia de adición de polímero reciclado, se registró un valor del 21%. No obstante, al incorporar un 6% de polímero reciclado, dicho límite se eleva a un 23%, y con una adición de 9% de polímero reciclado, el límite plástico experimenta un aumento adicional, alcanzando un 25%. En relación al índice de plasticidad (IP), en la ausencia de adición de polímero reciclado (PET), se registra un valor del 12%. Con la adición de un 6% de polímero reciclado (PET), este índice disminuye a un 7%, y al incrementar la adición a un 9%, se observa una disminución adicional, alcanzando un valor del 3%.

Tabla 5. 5 Límites de consistencia de Calicata N°2.

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA			
CALICATA N°2	PATRÓN	CON PET 6%	CON PET 9%
LIMITE LIQUIDO	32	29	27
LIMITE PLASTICO	20	21	23
INDICE DE PLASTICIDAD	12	8	4

La Tabla 5.5 presenta datos significativos para la calicata N°2, con variadas proporciones de incorporación de polímero reciclado (PET) a niveles del 6% y 9%. Respecto al límite líquido (LL), se destaca que sin añadir polímero reciclado (PET), el valor es del 32%. No obstante, al introducir un 6% de polímero reciclado, esta cifra desciende a un 29%, y con una adición del 9%, el límite líquido disminuye aún más, alcanzando un 27%.

En relación al límite plástico (LP), en ausencia de polímero reciclado (PET), se registra un valor del 20%. Sin embargo, al incorporar un 6% de polímero reciclado, este límite se eleva al 21%, y con una adición del 9% de polímero reciclado (PET), el límite plástico experimenta un aumento adicional, llegando al 23%.

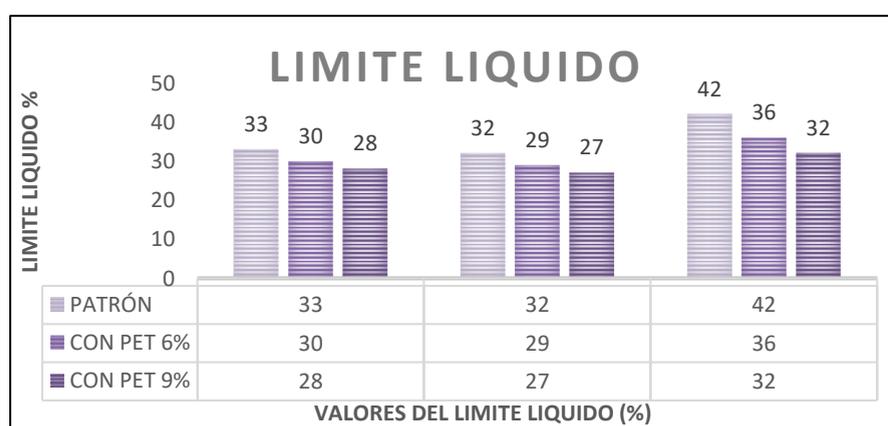
En cuanto al índice de plasticidad (IP), sin añadir polímero reciclado (PET), se observa un valor del 12%. Con la adición de un 6% de polímero reciclado, este índice disminuye a un 8%, y al aumentar la adición al 9%, se evidencia una disminución adicional, alcanzando un valor del 4%.

Tabla 5. 6 Límites de consistencia de Calicata N°3.

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA			
CALICATA N°3	PATRÓN	CON PET 6%	CON PET 9%
LIMITE LIQUIDO	42	36	32
LIMITE PLASTICO	27	30	31
INDICE DE PLASTICIDAD	15	5	5

La Tabla 5.6 ofrece información relevante para la calicata N°3, presentando diversas proporciones de inclusión de polímero reciclado (PET) en niveles del 6% y 9%. En cuanto al límite líquido (LL), se destaca que sin incorporar polímero reciclado (PET), el valor alcanza el 42%. No obstante, al introducir un 6% de polímero reciclado, esta cifra disminuye a un 36%, y con una adición del 9%, el límite líquido experimenta una reducción adicional, llegando al 32%. En relación al límite plástico, en ausencia de polímero reciclado, se registra un valor del 27%. Al incluir un 6% de polímero reciclado, este límite aumenta al 30%, y con una adición del 9% de polímero reciclado, el límite plástico presenta un incremento adicional, alcanzando el 31%. En cuanto al índice de plasticidad, sin añadir polímero reciclado (PET), se observa un valor del 15%. Con la inclusión de un 6% de polímero reciclado, este índice disminuye a un 10%, y al aumentar la adición al 9%, se evidencia una disminución adicional, llegando a un valor del 5%.

Gráfico 5. 3 Límite líquido de las 3 calicatas

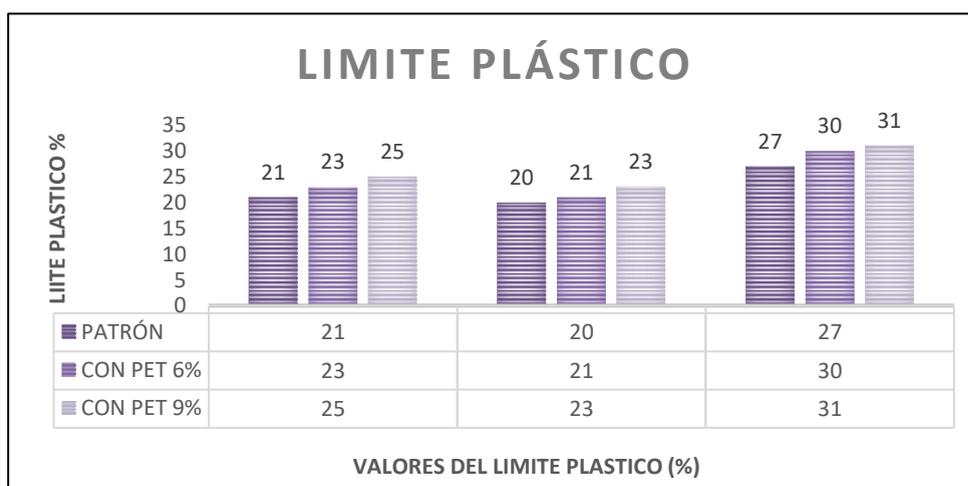


Ampliando el análisis de los resultados obtenidos, es crucial destacar que la disminución observada en los valores de límite líquido, al introducir polímeros reciclados (PET), se presenta de manera consistente en todas las muestras analizadas. Tal como se

evidencia en las representaciones gráficas y tablas previamente expuestas, los valores iniciales de límite líquido se situaron en un rango de 33%, 32%, y 42%, respectivamente.

Al incorporar un 6% de polímero reciclado (PET), se registra un descenso claro en estos valores, alcanzando ahora porcentajes de 30%, 29%, y 36%. Este fenómeno sugiere una respuesta significativa del suelo a la presencia de polímeros reciclados, influyendo de manera negativa en el límite líquido. Al aumentar la proporción a un 9%, se observa una continuación de esta tendencia, con porcentajes adicionales de reducción, situándose en 28%, 27%, y 32%. La consistencia en estos resultados respalda la conclusión de que la adición de polímeros reciclados tiene un impacto directo en la disminución del límite líquido del suelo en estudio. Estos hallazgos son esenciales para comprender las implicaciones geotécnicas de utilizar polímeros reciclados en proyectos de construcción.

Gráfico 5. 4 Limite plástico de las 3 calicatas.

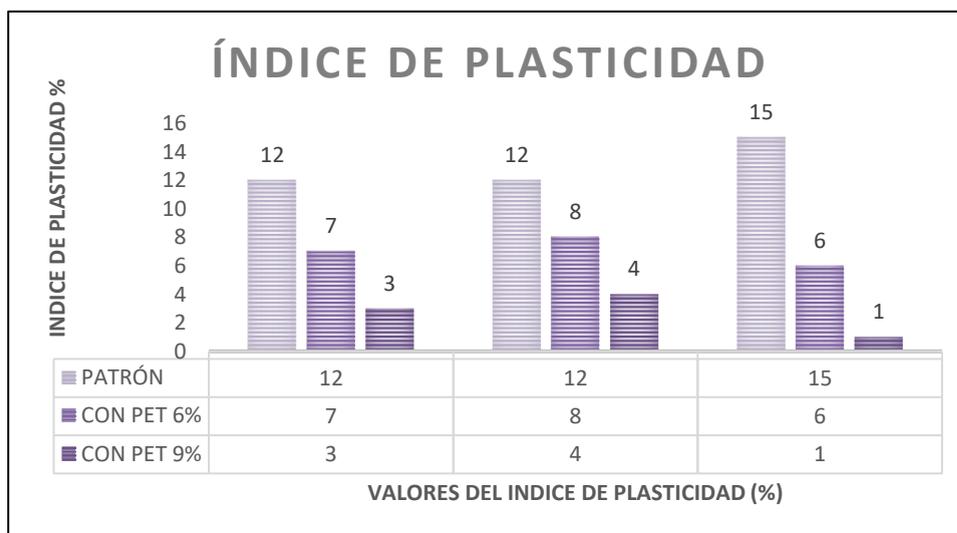


Continuando con la observación detallada de los resultados, se destaca que, al igual que en el análisis del límite líquido, la tendencia en los datos obtenidos de las tres calicatas y nueve muestras revela patrones consistentes. Inicialmente, los porcentajes de límite plástico se sitúan en torno al 21%, 20%, y 27%, respectivamente. Al introducir un 6% de polímero, se observa un claro aumento, alcanzando valores de 23%, 21%, y 30%, indicando una respuesta significativa del suelo a la adición de este agente.

Este patrón de incremento se intensifica aún más al agregar un 9% de polímero, resultando en valores finales de 25%, 23%, y 31%. Estos resultados apuntan a una relación proporcional entre la cantidad de polímero añadido y el aumento correspondiente en el límite plástico del suelo. La coherencia en estos hallazgos respalda

la conclusión de que la introducción de polímeros tiene un impacto notable en el comportamiento plástico del suelo, sugiriendo un fortalecimiento de sus propiedades cohesivas.

Gráfico 5. 5 Índice plasticidad de las 3 calicatas



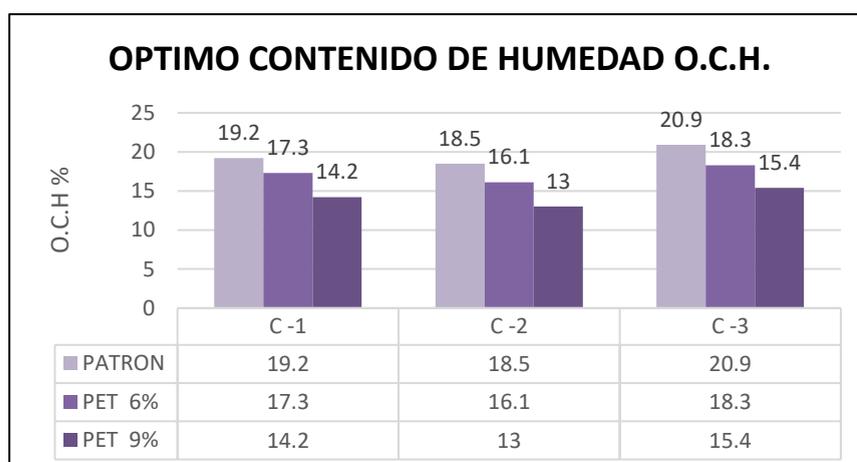
Como se evidenció en los casos del límite líquido y límite plástico, en esta situación podemos analizar las tres calicatas y nueve muestras, observando patrones iniciales de 12%, 12%, y 15%. Al incorporar un 6%, se observa un aumento a 7%, 8%, y 6%. La inclusión de un 9% de polímero resulta en valores de 3%, 4%, y 1%. Podemos concluir que el índice de plasticidad experimenta una disminución al introducir polímeros, según los resultados.

Óptimo contenido de humedad.

Tabla 5. 7 Óptimo contenido de humedad de las 3 calicatas.

	C -1	C -2	C -3
PATRÓN	19.2	18.5	20.9
PET 6%	17.3	16.1	18.3
PET 9%	14.2	13	15.4

Gráfico 5. 6 Contenido de humedad de las 3 calicatas.



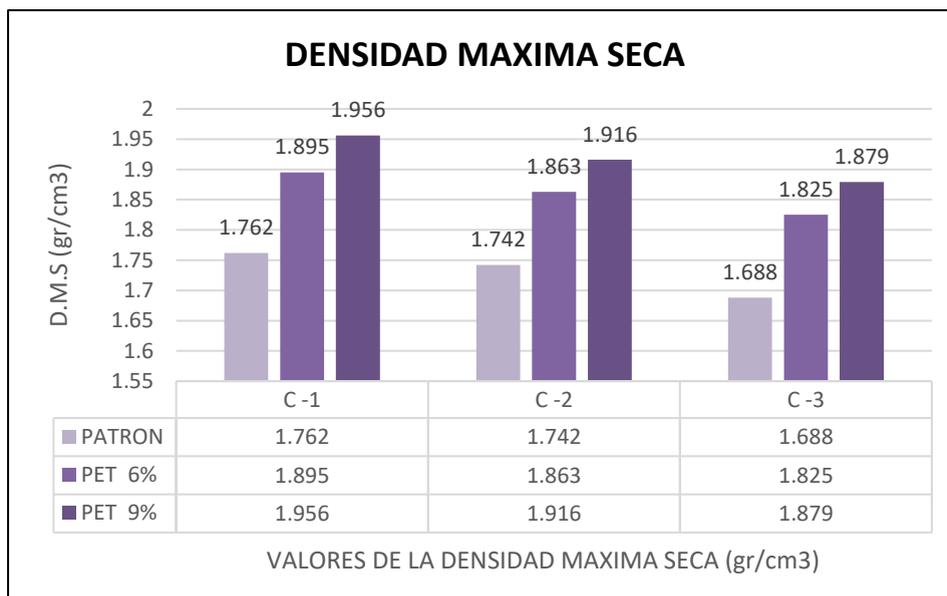
En la Tabla 5.7 y en el Gráfico 5.6 se exhiben los valores óptimos de contenido de humedad. En ausencia de adiciones, se constata que en la calicata N°1 es del 19.2%, en la N°2 es del 18.5%, y en la N°3 es del 20.9%. La incorporación de un 6% de polímero (PET) conlleva a una reducción de estos valores: en la N°1 a 17.3%, en la N°2 a 16.1%, y en la N°3 a 18.3%, evidenciando una clara disminución. Mediante la adición del 9% de polímero reciclado (PET), los valores experimentan una reducción adicional: en la N°1 a 14.2%, en la N°2 a 13%, y en la N°3 a 15.4%, manifestando una disminución notoria y variación en las tres calicatas.

Densidad máxima seca (DMS).

Tabla 5. 8 Densidad máxima seca (DMS) de las 3 calicatas.

	C -1	C -2	C -3
PATRON	1.762	1.742	1.688
PET 6%	1.895	1.863	1.825
PET 9%	1.956	1.916	1.879

Gráfico 5. 7 Densidad máxima seca (DMS) de las 3 calicatas.



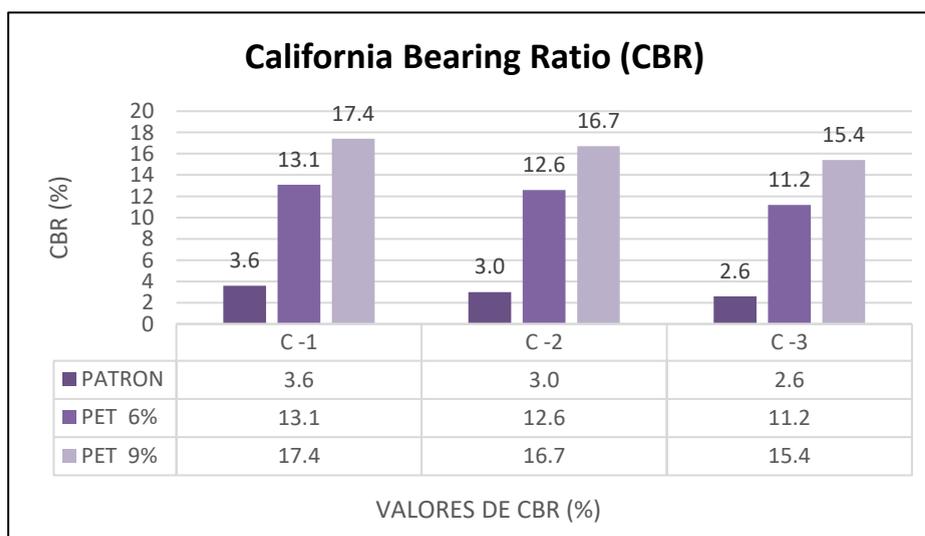
En la Tabla 5.8 y en el Gráfico 5.7 se exhiben los valores correspondientes a la densidad máxima seca. En condiciones sin adiciones, se registra que en la calicata N°1 es del 1.762 gr/cm³, en la N°2 es del 1.742 gr/cm³, y en la N°3 es del 1.688 gr/cm³. La introducción de un 6% de polímero (PET) conlleva a un aumento de estos valores: en la N°1 a 1.895 gr/cm³, en la N°2 a 1.863 gr/cm³, y en la N°3 a 1.825 gr/cm³, mostrando un claro incremento. Con la adición del 9% de polímero reciclado (PET), los valores experimentan un aumento adicional: en la N°1 a 1.956 gr/cm³, en la N°2 a 1.916 gr/cm³, y en la N°3 a 1.879 gr/cm³, evidenciando un aumento significativo y variación en las tres calicatas con la adición del polímero reciclado (PET).

California Bearing Ratio CBR.

Tabla 5. 9 California Bearing Ratio (CBR) de las 3 calicatas.

	C -1	C -2	C -3
PATRON	3.6	3.0	2.6
PET 6%	13.1	12.6	11.2
PET 9%	17.4	17.1	15.4

Gráfico 5. 8 California Bearing Ratio (CBR) de las 3 calicatas.



En la Tabla 5.9 y en el Gráfico 5.8 se exponen los valores correspondientes al California Bearing Ratio (CBR). En ausencia de adiciones, se registra que en la calicata N°1 es del 3.6%, en la N°2 es del 3.0%, y en la N°3 es del 2.6%. La introducción de un 6% de polímero (PET) resulta en un incremento de estos valores: en la N°1 a 13.1%, en la N°2 a 12.6%, y en la N°3 a 11.2%, indicando un claro aumento. Con la adición del 9% de polímero reciclado (PET), los valores experimentan un aumento adicional: en la N°1 a 17.4%, en la N°2 a 16.7%, y en la N°3 a 15.4%, señalando un aumento significativo y variación en las tres calicatas con la inclusión del polímero reciclado (PET).

Módulo resiliente

Calculamos el módulo resiliente utilizando los resultados de los ensayos de laboratorio, con el objetivo de determinar su aplicación en el diseño de un pavimento. La determinación del módulo resiliente implica calcular la capacidad de un material para recuperarse tras sufrir deformaciones temporales. Este factor resulta fundamental al evaluar la resistencia y capacidad de carga de un pavimento, ya que ofrece detalles sobre la capacidad del material para recuperarse elásticamente ante tensiones y deformaciones. En el ámbito del diseño y la ingeniería de pavimentos, el módulo resiliente desempeña un papel crucial al asegurar la durabilidad y rendimiento a lo largo del tiempo.

Para determinar el módulo resiliente, el cual ofrece una estimación del módulo elástico, se tomaron en cuenta los resultados del ensayo Proctor al 95%, que registraron valores del 2.60%, 2.30%, y 2.10%. En caso de que estos valores sean inferiores al 7.2%, se aplicará la fórmula correspondiente. Y lo observamos en la tabla 5.9.

$$Mr(psi) = 1500 \times CBR$$

Ecuación 5.2 Fórmula del módulo resiliente, Shell 1960.

La conclusión del cálculo del módulo resiliente (Mr.) arrojó valores de 3900 psi para la C-1, 3450 psi para la C-2 y 3150 psi para la última calicata. Al promediar estos tres valores, se obtiene un Mr. promedio de 3500 psi. Como se muestra en la tabla 5.9.

Para realizar el cálculo del módulo resiliente, que nos proporcionará una estimación del módulo elástico, se consideraron los resultados del ensayo CBR al 95%, que arrojaron valores de 9.70%, 8.60%, y 9.30%. Estos valores fueron promediados y posteriormente se aplicará la fórmula correspondiente ya que el CBR es un valor mayor a 7.2%.

$$Mr(psi) = 2555 \times CBR^{0.64}$$

Ecuación 5.3 Fórmula del módulo resiliente, Guía SSSHTO 2002.

El resultado final del cálculo del módulo resiliente (Mr.) se determinó como 10937.67 psi para la C-1, 10126.75 psi para la C-2, y 10646.82 psi para la última calicata. Al promediar estos tres valores, se obtiene un Mr. promedio de 10570psi. Como encontramos en la tabla 5.10. junto con la tabla 5.11

Tabla 5. 10 Módulo resiliente sin adición (Patrón).

CÁLCULO DEL MODULO RESILIENTE DE DISEÑO (PATRON)							
Calicata	Prof.	Muestra	AASHTO	SUCS	CBR 95%	CBR (Equiv.)	Mr. 1960
C - 1	0.50-1.50	M-1	A-6 (6)	CL	2.60	2.60	3900.00
C - 2	0.50-1.50	M-1	A-6 (8)	CL	2.30	2.30	3450.00
C - 3	0.50-1.50	M-1	A-6 (6)	ML	2.10	2.10	3150.00
						CBR	MR (psi)
						2.33	3,500

Tabla 5. 11 Módulo resiliente con adición (6%).

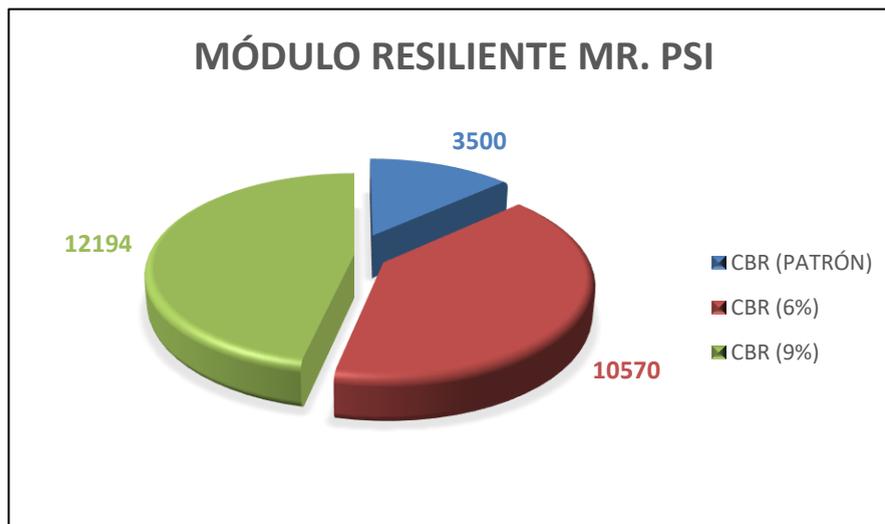
CÁLCULO DEL MODULO RESILIENTE DE DISEÑO (PATRON)							
Calicata	Prof.	Muestra	AASHTO	SUCS	CBR 95%	CBR (Equiv.)	Mr. (2002)
C - 1	0.50-1.50	M-1	A-6 (6)	CL	9.70	9.70	10937.67
C - 2	0.50-1.50	M-1	A-6 (8)	CL	8.60	8.60	10126.75
C - 3	0.50-1.50	M-1	A-6 (6)	ML	9.30	9.30	10646.82
						CBR	MR (psi)
						9.20	10,570

Tabla 5. 12 Módulo resiliente con adición (9%).

CÁLCULO DEL MODULO RESILIENTE DE DISEÑO (9% de PET)							
Calicata	Prof.	Muestra	AASHTO	SUCS	CBR 95%	CBR (Equiv.)	Mr.
C - 1	0.50-1.50	M-1	A-6 (6)	CL	17.40	13.60	13578.63
C - 2	0.50-1.50	M-1	A-6 (8)	CL	16.70	13.10	13256.98
C - 3	0.50-1.50	M-1	A-6 (6)	ML	15.40	8.10	9745.89
						CBR	MR (psi)
						11.60	12,194

La determinación del módulo resiliente (M_r) a través del cálculo arrojó valores particulares para cada calicata: 13578.63 psi para la C-1, 13256.98 psi para la C-2 y 9745.89 psi para la última. Al promediar estos tres valores, se obtiene un M_r promedio de 12194 psi. Como se muestra en la tabla 5.12.

Gráfico 5. 9 Módulo resiliente de las 3 calicatas.



En conclusión, al comparar los tres módulos resiliente, se observa que la adición del 9% de polímero reciclado (PET) resulta en el mayor valor de M_r , alcanzando 12194 psi. Este valor se consideraría para el diseño del pavimento.

En función al objetivo específico 2, es **Determinar la variación que produce el polímero reciclado (PET) en la efectividad económica del módulo de soporte de la subrasante con presencia de suelos arcilloso.** y teniendo en cuenta la hipótesis 2, siendo **El polímero reciclado (PET), variará positivamente en la efectividad económica.**

Análisis económico con material de préstamo.

Teniendo el objetivo y la hipótesis 2 se lleva a cabo el análisis de la siguiente manera: Después de llevar a cabo la investigación y pruebas correspondientes, se propuso un costo de S/.91.76 por metro cúbico (m^3), considerando un precio de mercado de S/.45 soles. Además, se incluyeron los costos asociados con la mano de obra, materiales y equipos necesarios para realizar mejoras convencionales en el suelo. Se consideró relevante incorporar también el traslado del material excedente en el proyecto, dado que constituye una de las partidas más convencionales y es un gasto obligatorio en cualquier proyecto, totalizando S/.6.81 por metro cúbico. En conjunto, el costo total calculado es de S/.98.57, como se detalla en la Tabla 5.13.

Tabla 5. 13 Análisis económico con material de préstamo.

PARTIDA: RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO					
Costo unitario directo por:		91.76			
m3/día					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
OPERARIO	hh	1.0000	0.0178	21.98	0.39
OFICIAL	hh	1.0000	0.0533	20.68	1.10
PEÓN	hh	4.0000	0.0533	19.73	1.05
					2.55
MATERIALES					
Material de cantera para relleno o sub base	m3		1.2	45.00	54.00
					54.00
EQUIPOS					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	0.43	1.29
Rodillo liso vibratorio autopropulsado 101-135 HP	hm	1.0000	0.0530	220.00	11.66
Motoniveladora de 125 HP	hm	1.0000	0.0530	220.00	11.66
Camión cisterna	hm	1.0000	0.0530	200.00	10.60
					35.21
PARTIDA: ELIMINACION DEL MATERIAL EXCEDENTE					
Costo unitario directo por:		6.81			
m3/día					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
OFICIAL	hh	0.2500	0.0533	11.59	0.62
					0.62
EQUIPOS					
Herramientas manuales	%mo		5.0000	0.06	0.30
Volquete 15 M3	hm	2.0000	0.0421	140.00	5.89
					6.19
			TOTAL		
PARTIDA: RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO				91.76	
PARTIDA: ELIMINACION DEL MATERIAL EXCEDENTE				6.81	
				98.57	

Análisis económico con 6% de polímero reciclado (PET)

Después de realizar el cálculo de manera tradicional, se procedió a realizar el mismo considerando la adición de polímero reciclado (PET) en un 6%. Teniendo en cuenta que la densidad del plástico es de 1250 kg/m³, se determinó que 0.110 m³ tiene un costo de 625 soles. En este escenario, se incorporó la partida de zarandeo del material, ya que, a diferencia del enfoque convencional, se utilizará el material propio. Sin embargo, es necesario prepararlo para la mezcla correspondiente con la adición mencionada. El costo asociado con esta partida es de S/.6.62 por metro cúbico, resultando en un total de S/.113.10, como se muestra en la tabla 5.14

Tabla 5. 14 Análisis económico con polímero reciclado (PET) al 6%.

PARTIDA: RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO 6% DE POLIMERO RECICLADO (PET)					
Costo unitario directo por: m3 - S/.	106.47				
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
OPERARIO	hh	1.0000	0.0178	21.98	0.39
OFICIAL	hh	1.0000	0.0533	20.68	1.10
PEÓN	hh	4.0000	0.0533	19.73	1.05
					2.55
MATERIALES					
Material polímero reciclado (PET) 6%	m3		0.110	625	68.72
					68.72
EQUIPOS					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	0.43	1.29
Rodillo liso vibratorio autopropulsado 101-135 HP	hm	1.0000	0.0530	220	11.66
Motoniveladora de 125 HP	hm	1.0000	0.0530	220	11.66
Camión cisterna	hm	1.0000	0.0530	200	10.60
					35.21
PARTIDA: ZARANDEO DE MATERIAL					
Costo unitario directo por: m3/día	6.62				
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	hh	1.0000	0.0250	17.36	0.43

PEON	hh	2.0000	0.0500	10.7	0.54
EQUIPOS					0.97
Herramientas manuales	%mo		5.0000	0.06	0.30
Zaranda vibratoria 15 HP	hm	1.0000	0.0250	40.50	1.01
Cargador S/llantas 125-155 HP3 YD3	hm	0.5000	0.0125	160.00	2.00
Grupo electrógeno 116 HP 75 KW	hm	1.0000	0.0250	93.72	2.34
					5.66
					TOTAL
PARTIDA: RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO 6% DE POLIMERO RECICLADO (PET)					106.47
PARTIDA: ZARANDEO DE MATERIAL					6.62
					113.10

Análisis económico con 9% de polímero reciclado (PET)

Al realizar el análisis económico correspondiente, observamos en la tabla 5.14 que, en el caso específico de la adición de polímero reciclado (PET) en un 9%, el impacto financiero total asciende a un monto significativo de S/.147.46. Este valor comprende no solo el costo directo del polímero reciclado, sino que también considera otros posibles factores económicos asociados, como los costos de transporte, almacenamiento y mano de obra.

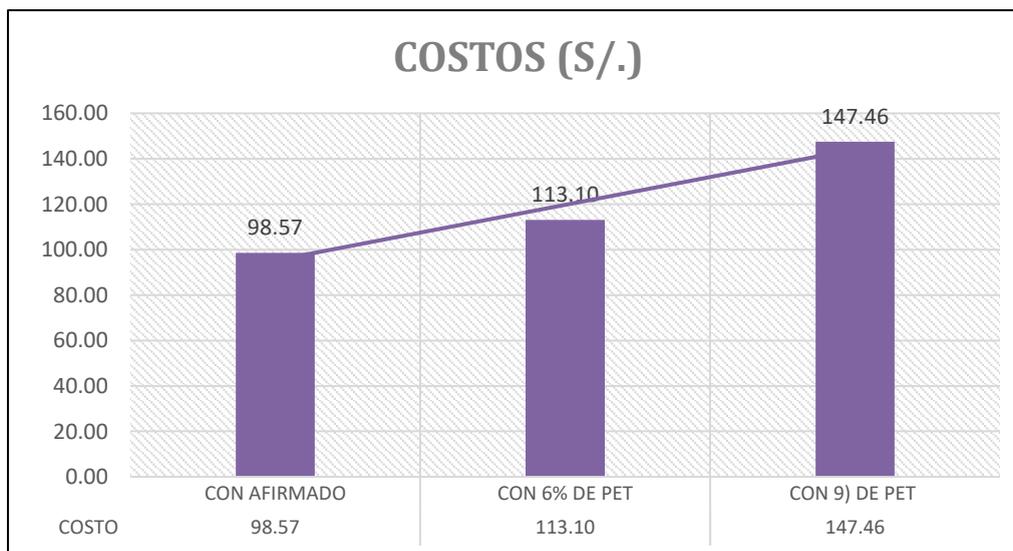
Tabla 5. 15 Análisis económico con material de préstamo.

PARTIDA: RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO 9% DE POLIMERO RECICLADO (PET)					
Costo unitario directo por:	140.83				
m3					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
OPERARIO	hh	1.0000	0.0178	21.98	0.39
OFICIAL	hh	1.0000	0.0533	20.68	1.10
PEÓN	hh	4.0000	0.0533	19.73	1.05
					2.55
MATERIALES					
Material polímero reciclado (PET) 9%	m3		0.165	625	103.08
					103.08
EQUIPOS					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	0.43	1.29

Rodillo liso vibratorio autopropulsado 101-135 HP	hm	1.0000	0.0530	220	11.66
Motoniveladora de 125 HP	hm	1.0000	0.0530	220	11.66
Camión cisterna	hm	1.0000	0.0530	200	10.60
					35.21
PARTIDA: ZARANDEO DE MATERIAL					
Costo unitario directo por : 6.62 m3/día					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	hh	1.0000	0.0250	17.36	0.43
PEON	hh	2.0000	0.0500	10.7	0.54
EQUIPOS					0.97
Herramientas manuales	%mo		5.0000	0.06	0.30
Zaranda vibratoria 15 HP	hm	1.0000	0.0250	40.50	1.01
Cargador S/llantas 125- 155 HP3 YD3	hm	0.5000	0.0125	160.00	2.00
Grupo electrógeno 116 HP 75 KW	hm	1.0000	0.0250	93.72	2.34
					5.66
					TOTAL
PARTIDA:RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO 9% DE POLIMERO RECICLADO (PET)					140.83
PARTIDA: ZARANDEO DE MATERIAL					6.62
					147.46

En el gráfico 5.10, se presenta una comparación detallada de los costos asociados con diferentes porcentajes de adición de polímero al afirmado tradicional. Inicialmente, al trabajar con afirmado tradicional sin la presencia de polímeros, el costo registrado es de S/.98.57. Al introducir un 6% de polímero, observamos un aumento en el costo, alcanzando S/.113.10. La tendencia ascendente persiste al añadir un 9% de polímero, elevando el costo total a S/.147.46. Estos datos proporcionan una visión clara de cómo la inclusión de polímeros impacta directamente en los costos asociados con el afirmado, información vital para la toma de decisiones en proyectos de construcción.

Gráfico 5. 10 Comparación de costo.



5.2. CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS

Para usar una prueba paramétrica con T student, comparación de dos grupos independientes Se utiliza cuando se quieren comparar las medias de dos grupos independientes para determinar si la diferencia observada entre ellos es estadísticamente significativa. El objetivo es determinar si la efectividad técnica-económica varía de manera positiva en relación con los factores en la variable respuesta, Se realizó una agrupación de los factores, denominada diseño, generando así un nuevo factor con 3 grupos, en este caso el PET, CBR y por último el costo.

Consideraciones que se tuvieron en cuenta:

- ✓ Se realizarán comparaciones con las respectivas adiciones de polímero reciclado (PET).
- ✓ Se asumirá un valor de significancia de 0.05 para todas las pruebas, y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia obtenido es mayor al valor de significancia asumido (0.05)

5.2.1. Prueba de hipótesis general

El problema general que se planteo fue **¿Cómo influye la incorporación de polímero reciclado (PET) en la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos?** Buscando como objetivo

encontrar la relación y por eso se plantea lo siguiente, hipótesis nula y la (H1).

Hipótesis Nula (H0): Los polímeros reciclados (PET) no son favorables para la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos.

Hipótesis 1 (H1): Los polímeros reciclados (PET) son favorables para la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos.

La tabla 5.24 refleja que, tras la realización de las pruebas, las hipótesis específicas (H1) fueron validadas. Esto nos permite afirmar con confianza que la hipótesis general, en particular la hipótesis 1 (H1), también obtuvo respaldo durante el análisis. Este resultado consolidado sugiere que las adiciones de polímero reciclado (PET) tuvieron un impacto positivo y estadísticamente significativo en la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante en presencia de suelos arcillosos, como se planteó inicialmente en las hipótesis.

Tabla 5. 16 Resumen de las pruebas de hipótesis específicas 1 y 2.

ÍTEM	HIPOTESIS ACEPTADA
Hipótesis Específica 1	El polímero reciclado(PET), afecta significativamente en la efectividad técnica.
Hipótesis Específica 2	El polímero reciclado(PET), variara significativamente en la efectividad económica.

5.2.2. Prueba de hipótesis específico 1

Con respecto al siguiente problema **¿Qué produce la incorporación de polímero reciclado (PET), en la Efectividad técnica del módulo de soporte de la subrasante con presencia suelos de arcillosos?**, el objetivo es verificar si existe alguna relación significativa, se menciona las siguientes hipótesis nula (H0) y la (H1) respectivamente:

Hipótesis Nula (H0): El polímero reciclado (PET), no afecta significativamente en la efectividad técnica.

Hipótesis 1 (H1): El polímero reciclado (PET), afecta significativamente en la efectividad técnica.

En consecuencia, se realizó la prueba de hipótesis mediante la aplicación de la Prueba T de Student para muestras relacionadas, y los resultados se presentan en las tablas 5.17 y 5.18. En la tabla 21, se verifica que el valor promedio y la desviación estándar del Índice de Soporte California (CBR) en el terreno natural sin adición (considerado como el patrón) son de 3.06 y 0.50 toneladas, respectivamente. Por otro lado, el promedio y la desviación estándar del CBR al 100% con la adición del 6% de polímero reciclado (PET) son de 12.30 y 0.98 toneladas, respectivamente. Estos resultados indican claramente una diferencia numérica significativa entre las dos subvariables analizadas

Tabla 5. 17 Estadísticas de grupo entre el CBR del suelo patrón y la adición del 6% polímero reciclado(PET).

POCENTAJE DE ADICION PET (%)	Estadísticas de grupo			
	N	Media	Desv.estándar	Media de error estándar
CBR al 100% PATRÓN	3	3.0667	0.50332	0.29059
ADICIÓN 6%	3	12.3000	0.98489	0.58862

No obstante, resulta fundamental examinar la relevancia de esta disparidad. En la tabla 5.18, se exhibe el estadístico T de Student que ha sido computado entre las subvariables: el CBR en el terreno natural sin adición (considerado como el estándar) y la inclusión del 6% de polímero reciclado (PET), arrojando un valor de -14.459. Adicionalmente, se constata que el nivel de significancia asintótica bilateral (valor P) es de 0.001, cifra inferior al nivel de significancia o nivel de exactitud previamente establecido en el cálculo de la muestra de investigación, fijado en un 5% ($\alpha = 0.05$).

Tabla 5. 18 Prueba de muestras independientes entre el CBR del suelo patrón y la adición del 6% polímero reciclado(PET).

		Prueba de muestras independientes									
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas					Prueba t para la igualdad de medias				
							Significación			95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	sig.	t	gl	P de un factor	P de dos factores	Diferencias de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
CBR al 100%	Se asumen varianzas iguales	1.886	2.22	-14.459	4	0.001	0.001	-9.23333	0.63857	-11.00630	-7.46037
	No se asumen varianzas iguales			-14.459	2.978	0.001	0.001	-9.23333	0.63857	-11.27410	-7.19257

se llevó a cabo la prueba de hipótesis mediante la aplicación de la Prueba T de Student para muestras relacionadas. En la tabla 5.19, se verifica que el valor promedio y la desviación estándar del Índice de Soporte California (CBR) en el terreno natural sin adición (considerado como el patrón) son de 3.06 y 0.50 toneladas, respectivamente. Por otro lado, el promedio y la desviación estándar del CBR al 100% con la adición del 9% de polímero reciclado (PET) son de 16.70 y 1.13 toneladas, respectivamente. Estos resultados indican claramente una diferencia numérica significativa entre las dos subvariables analizadas.

Tabla 5. 19 Estadísticas de grupo entre el CBR del suelo patrón y la adición del 9% polímero reciclado(PET)

Estadísticas de grupo				
POCENTAJE DE ADICION PET (%)	N	Media	Desv.estándar	Media de error estándar
CBR al100% PATRÓN	3	3.0667	0.50332	0.29059
ADICIÓN 9%	3	16.7000	1.12694	0.65064

Como lo mencionado anteriormente ahora se muestra en la tabla 5.20, se llevó a cabo el mismo procedimiento se exhibe el estadístico T de Student contando, con un valor para t de 19.132 y de igual manera que lo anterior se tiene un valor menos a 0.005 y de igual manera rechazamos la hipótesis nula .

Tabla 5. 20 Prueba de muestras independientes entre el CBR del suelo patrón y la adición del 9% polímero reciclado(PET)

		Prueba de muestras independientes									
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas					Prueba t para la igualdad de medias				
		Significación							95% de intervalo de confianza de la diferencia		
		F	sig	t	gl	P de un factor	P de dos factores	Diferencias de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
CBR al 100%	Se asumen varianzas iguales	3.785	0.124	-19.132	4	0.001	0.001	-13.63333	0.71259	-15.61179	-11.65488
	No se asumen varianzas iguales			-19.132	2.767	0.001	0.001	-13.63333	0.71259	-16.01285	-11.25381

5.2.3. Prueba de hipótesis específico 2

En este caso el problema específico fue **¿Cuánto variará el polímero reciclado(PET) en la efectividad económica del módulo de soporte de la subrasante con presencia de suelos arcillosos?** Que busca como objetivo evaluar al realizar las pruebas una relación y para ello se plantea la hipótesis nula y la (H1).

Hipótesis Nula (H0): El polímero reciclado(PET), no variara significativamente en la efectividad económica.

Hipótesis 1 (H1): El polímero reciclado(PET), variara significativamente en la efectividad económica.

También, es esencial analizar la importancia de esta disparidad. En la tabla 5.21, se presenta el estadístico T de Student, calculado entre las subvariables: el CBR obtenido en el patrón y la adición del 6% en relación con el costo, revelando un valor de -33.171. rechazando la hipótesis nula en la adición de 6%.

Tabla 5. 21 Estadísticas de grupo entre el CBR del suelo patrón y el 6% de polímero reciclado(PET) con el costo.

Estadísticas de grupo				
ADICIÓN DEL PET	N	Media	Desv.estándar	Media de error estándar
COSTOS PATRÓN	3	98.5567	0.45015	0.25989
6% DE PET	3	113.3000	0.62450	0.36056

Tabla 5. 22 Prueba de muestras independientes entre el CBR del suelo patrón y el 6% de polímero reciclado(PET) con el costo.

		Prueba de muestras independientes									
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas					Prueba t para la igualdad de medias				
		Significación					95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		F	sig.	t	gl	P de un factor	P de dos factores	Diferencias de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
CBR al 100%	Se asumen varianzas iguales	0.622	0.474	-33.171	4	0.001	0.001	-14.74333	0.44446	-15.97735	-13.50932
	No se asumen varianzas iguales			-33.171	3.637	0.001	0.001	-14.74333	0.44446	-16.02755	-13.45911

Se procedió además a evaluar el costo con una adición del 9% de polímero reciclado (PET). En la tabla 5.23, se confirma que la media y desviación estándar del CBR en el suelo natural son de 98.56 y 0.45 toneladas, respectivamente. Por otro lado, la media y desviación estándar del costo con la adición del 9% de polímero reciclado (PET) son de 147.79 y 2.07 toneladas, respectivamente. Estos resultados indican de manera clara una diferencia numérica significativa entre las dos subvariables examinadas.

Tabla 5. 23 Estadísticas de grupo entre el CBR del suelo patrón y el 9% de polímero reciclado(PET) con el costo.

Estadísticas de grupo				
ADICIÓN DEL PET	N	Media	Desv.estándar	Media de error estándar
COSTOS PATRÓN	3	98.5567	0.45015	0.25989
6% DE PET	3	147.7867	2.06943	1.19478

Asimismo, es crucial examinar la importancia de esta disparidad. En la tabla 5.24, se exhibe el estadístico T de Student, calculado entre las subvariables: el CBR obtenido en el patrón y la adición del 9% en relación con el costo, revelando un valor de -40.26, de igual manera rechazamos la hipótesis nula porque contamos con un valor de P al 0.001 y se cumple con el valor aceptado.

Tabla 5. 24 Estadísticas de grupo entre el CBR del suelo patrón y la adición del 9% polímero reciclado(PET)

		Prueba de muestras independientes									
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas				Prueba t para la igualdad de medias					
						Significación				95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	sig.	t	gl	P de un factor	P de dos factores	Diferencias de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
CBR al 100%	Se asumen varianzas iguales	3.785	0.123	-40.263	4	0.001	0.001	-49.23000	1.22272	-52.62483	-45.83517
	No se asumen varianzas iguales			-40.263	2.189	0.001	0.001	-49.23000	1.22272	-54.07907	-44.38093

CAPITULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

ANALIZAR EL EFECTO QUE PRODUCE EL POLÍMERO RECICLADO(PET), EN LA EFECTIVIDAD TÉCNICA DEL MÓDULO DE SOPORTE EN LA SUBRASANTE CON PRESENCIA DE SUELOS ARCILLOSOS.

En el contexto del estudio realizado, se evidenció un resultado significativo en todos los análisis de muestras: se logró un sustancial aumento en la densidad máxima seca (DMS), obteniendo un valor de 1.956 gr/cm³ al incorporar un 9% de polímero reciclado (PET). Esto contrasta con los hallazgos de Márquez (2019), quien menciona que con un 6% de plástico se alcanzó una densidad de 1.593 gr/cm³, demostrando una mejora notable para el suelo arcilloso en términos del Índice de Soporte California (CBR).

El CBR alcanzó su valor máximo, 17.4%, al adicionar un 9% de polímero reciclado (PET), como se ilustra en el gráfico 6. Es fundamental resaltar que este resultado contrasta de manera significativa con el CBR estándar, que se situó en un 3.6% en ausencia de adiciones. Estos hallazgos respaldan no solo nuestras propias observaciones sino también las conclusiones de la investigación de Zapana (2022). Según este investigador, la presencia de polímeros tuvo un impacto del 3% en el índice CBR en todas las muestras, manifestándose en variaciones porcentuales. Lo más intrigante es que este fenómeno condujo a un aumento proporcional en el valor del CBR. Este descubrimiento, respaldado por la investigación de Zapana (2022), enfatiza la influencia positiva de la adición de polímero reciclado en la mejora de la capacidad de soporte y resistencia de la subrasante, destacando su importancia en el diseño y la construcción de infraestructuras.

En el desarrollo de la presente investigación, se llega a la conclusión de que la incorporación del 9 % de polímero reciclado (PET) conlleva a un incremento notable en el contenido de Máxima Densidad Seca (MDS), alcanzando hasta 1.956 gr/cm³. Este resultado

respalda las observaciones de Nesterenko (2018), quien demostró que la introducción del polímero PAM en las muestras sometidas a ensayos resultó en un aumento sustancial en comparación con las muestras del prototipo. Este aumento fue significativo, registrando un promedio que osciló entre el 70 % y el 95 % en la Máxima Densidad Seca. Este hallazgo fortalece la evidencia de que la inclusión de polímeros reciclados puede ser una estrategia eficaz para mejorar las propiedades del material, alineándose con la investigación previa de Nesterenko y respaldando la validez de los resultados obtenidos en este estudio.

El CBR aumentó significativamente a un 95%, alcanzando un valor de 13.6 con la incorporación de polímero reciclado (PET). Este valor supera considerablemente el CBR de un suelo patrón, coincidiendo con los hallazgos presentados en la investigación de Chacón (2022). En dicha investigación, la adición de fibras sintéticas resultó en un incremento notable en el CBR del 95%, llegando hasta un 20.2%. Este paralelismo entre los resultados obtenidos en ambos estudios refuerza la eficacia de las adiciones de materiales como el polímero reciclado y las fibras sintéticas para mejorar las propiedades del suelo y su capacidad de soporte, proporcionando evidencia adicional de la relevancia y consistencia de estos enfoques.

De acuerdo con el estudio realizado por Mosquera y Ramírez (2021), quienes incorporaron poliestireno expandido, se evidenció un incremento en el valor del CBR en suelos que originalmente poseían un CBR inferior al 5%. En consonancia con estos resultados, el presente trabajo de investigación también observa un aumento en el CBR al emplear polímero reciclado (PET). Ambos estudios respaldan la noción de que la introducción de materiales específicos, ya sea poliestireno expandido o polímero reciclado, puede tener un impacto positivo en la mejora de las propiedades mecánicas de suelos con bajos valores iniciales de CBR.

DETERMINAR LA VARIACIÓN QUE PRODUCE EL POLÍMERO RECICLADO (PET) EN LA EFECTIVIDAD ECONÓMICA DEL MÓDULO DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON PRESENCIA DE SUELOS ARCILLOSO.

De acuerdo con el análisis económico realizado, se observa que la introducción de polímero reciclado (PET) tiene un impacto significativo en el módulo de soporte de la subrasante. A pesar de que este material reciclable presenta mejoras notables, es importante señalar que su costo de utilización en obra puede generar tanto beneficios como desafíos económicos. En este sentido, se evidencia que, aunque el polímero reciclado puede contribuir a la reducción de capas de pavimentación y ofrecer beneficios financieros, el análisis

económico indica que el costo global del proyecto aumenta. Este hallazgo es respaldado por el estudio de Celi (2021), quien aborda una perspectiva económica y desaconseja esta estrategia. La adición de finos de PET en la subrasante, a pesar de sus potenciales ventajas, implica la generación de partidas adicionales que contrarrestan los ahorros previstos, a pesar de los beneficios técnicos del polímero reciclado en el módulo de soporte de la subrasante, es crucial considerar cuidadosamente los aspectos económicos, ya que la implementación de esta estrategia podría no traducirse en ahorros netos, sino más bien en un aumento en el costo total del proyecto.

En este trabajo de investigación, se proporciona un análisis detallado de los costos por metro cúbico (m³) asociados con la adición de polímero reciclado (PET). En contraste, la investigación de Romero (2022) destaca la importancia de tener en cuenta tanto las variaciones en los porcentajes de añadido de fibras en la subrasante como el método utilizado en la preparación de las muestras. Romero señala que estos aspectos pueden generar modificaciones significativas en los resultados. Mientras que nuestro enfoque se centra en la evaluación económica específica de la adición de polímero reciclado, la investigación de Romero subraya la relevancia de considerar diversas variables y métodos en el proceso de análisis, destacando la complejidad y la necesidad de un enfoque integral al abordar modificaciones en las propiedades de la subrasante.

Similar a la conclusión anterior, en este trabajo se presenta un análisis detallado de los costos asociados con la adición de polímero reciclado (PET). En contraste, en el estudio de Pazos y Rodríguez (2023), se destaca su observación de que los resultados de los ensayos de compactación Proctor modificado y CBR revelan variaciones en la máxima densidad seca y el contenido de agua óptimo a medida que aumenta la cantidad de plástico triturado PET. Mientras que nuestro enfoque se centra en aspectos económicos específicos, el trabajo de Pazos y Rodríguez proporciona una perspectiva valiosa sobre las variaciones en propiedades geotécnicas al incorporar plástico triturado PET, subrayando la relevancia de considerar aspectos técnicos y mecánicos en la evaluación de estos materiales.

EVALUAR LA INFLUENCIA DEL POLÍMERO RECICLADO(PET) EN LA EFECTIVIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DEL MÓDULO DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE DE LOS SUELOS ARCILLOSOS.

De acuerdo con Arguello (2021), es crucial señalar que los resultados relacionados con la aplicación de materiales reciclados varían considerablemente según la escala y proporción en la que se utilicen, tal como se evidencia en el conjunto de hallazgos

recopilados en su estudio. Esto confirma que la viabilidad y efectividad de la utilización de materiales reciclados, ya sea en construcción u obtenidos diariamente, dependen en gran medida de cómo se aplican en términos de cantidad y proporción. En el presente trabajo de investigación, además de resaltar la importancia de estos factores, se realiza un análisis detallado de los costos asociados con la adición específica de polímero reciclado (PET). Esta perspectiva económica contribuye a proporcionar información práctica y cuantificable sobre la viabilidad financiera de la inclusión de dicho material, ofreciendo una consideración integral que abarca tanto la eficacia técnica como los aspectos económicos asociados con su aplicación.

CONCLUSIONES

1. Se analizó la investigación se ha evidenciado que se logró mejorar la efectividad técnica al incorporar polímeros reciclados (PET), evaluando distintas dosificaciones, específicamente el 6% y el 9%. Estos polímeros han modificado las propiedades mecánicas de la subrasante llegando hasta un 17.4% de CBR, mejorándolas de manera significativa y generando condiciones óptimas para su aplicación como materiales en la construcción de obras viales, en línea con las normativas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Este resultado indica que la adición de polímeros reciclados puede representar una estrategia efectiva para optimizar las características del suelo y cumplir con los estándares requeridos en proyectos de infraestructura vial.
2. Se determinó que al utilizar polímeros reciclados para estabilizar el suelo emerge como una alternativa que no solo aprovecha materiales contaminantes con un tiempo de degradación prolongado de aproximadamente 160 años, sino que también contribuye a mitigar los impactos ambientales negativos. A pesar de estas ventajas medioambientales, es crucial considerar el aspecto económico, ya que el costo asociado con el polímero reciclado (PET) presenta un notable aumento. Como se detalló en el Capítulo V, el costo de un metro cúbico de afirmado es de S/45, mientras que la adición del 9% de polímero reciclado (PET) eleva este costo a S/. 147.46, No obstante, al identificar el contenido óptimo de PET para lograr un CBR del 6% con un 1.85 % de polímero reciclado (PET), se obtiene un costo de 65.50 soles, el cual es inferior al análisis de costo que considera únicamente material de préstamo viéndose de esta manera un ahorro económico.
3. Se evaluó que el empleo de polímero reciclado PET en el módulo de soporte para suelos arcillosos en el distrito de Ventanilla es una opción viable, cumpliendo así con el objetivo general. Además, se destaca que esta elección no solo resulta rentable desde el punto de vista económico al emplear el contenido óptimo de PET, sino que también cumple con los requisitos de un CBR óptimo. Esta combinación de factores contribuye a la creación de un pavimento con una vida útil satisfactoria. En este contexto, se subraya la importancia de considerar el equilibrio entre la viabilidad económica y la eficiencia técnica al implementar soluciones sostenibles en la infraestructura vial.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evaluar la inclusión de diferentes proporciones de polímeros reciclados o variantes específicas de polímeros reciclados. Esta estrategia no solo se erige como una medida efectiva para mitigar la contaminación ambiental al reutilizar materiales reciclados, sino que también se proyecta como un medio para potenciar considerablemente el módulo de soporte de la subrasante, sobre todo en terrenos con características arcillosas. La variabilidad en los porcentajes de polímeros reciclados permite adaptar la técnica de estabilización del suelo a diversas condiciones, optimizando así su aplicabilidad en proyectos de construcción de infraestructuras viales. Este enfoque integral no solo promueve la sostenibilidad ambiental, sino que también resalta el potencial para alcanzar mejoras sustanciales en la resistencia y estabilidad de la subrasante.
2. Se aconseja explorar de manera exhaustiva la incorporación de partidas adicionales destinadas a la optimización de costos en el proyecto. Esta estrategia no solo tiene como objetivo preservar la eficacia técnica del proceso, sino también mejorar los resultados obtenidos a un costo más bajo. La cuidadosa consideración de opciones que permitan reducir los gastos se revela como un elemento fundamental para maximizar la eficiencia económica del proyecto en desarrollo. Esta aproximación integral no solo garantiza la viabilidad financiera del proyecto, sino que también sugiere un enfoque estratégico para alcanzar resultados óptimos sin comprometer la calidad ni la efectividad de la intervención en la estabilización del suelo.
3. Se aconseja identificar y utilizar el contenido óptimo de polímero reciclado (PET) como parte integral de la estrategia, con el objetivo de minimizar los costos asociados. Este enfoque no solo garantiza la eficacia técnica en la mejora de propiedades del suelo, sino que también contribuye a una gestión económica más eficiente al seleccionar cuidadosamente la proporción adecuada de polímero reciclado, lo cual puede resultar en beneficios tanto para el rendimiento del material como para la viabilidad financiera del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CELI K. Y PORTILLA F. Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE). Trabajo experimental (título en ingeniería civil). Ambato Universidad Técnica de Ambato 2021. 235 pp. [consultado el 21 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32376>
2. CHACON J. Adición de fibras sintéticas reciclado para mejorar los parámetros de resistencia de un suelo arcilloso de Puente Piedra. Tesis (título en ingeniería civil). Lima Universidad Nacional de Ingeniería 2022. 85 pp. [consultado el 20 de agosto de 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.14076/24515>
3. CONDORI W. Y ROJAS A. Mejoramiento con polímeros reciclados PET fundido en subrasante de suelos arcillosos en la carretera Vilcaniza – Beirut, Amazonas, 2020. Tesis (título en ingeniería civil). Lima Universidad César Vallejo 2020. 94 pp. [consultado el 28 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/55418>
4. CURASMA W. Estabilización de subrasantes blandas con insumos inorgánicos, avenida Integración Este - Torre, Huancayo, Junín 2021. Tesis (título en ingeniería civil), Huancayo Universidad Continental, 2021 137 pp. [consultado el 31 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10457>
5. CURITOMAY C. Estabilización de suelos arcillosos con polímeros de tipo copolímero, aplicado a obras viales de mediano tránsito en la carretera pucaloma – yanayacu distrito de socos. Tesis (título en ingeniería civil). Ayacucho Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga 2018.275 pp. [consultado el 31 de agosto de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3569>
6. HERNÁNDEZ M. Análisis de los impactos socioambientales y la percepción de la población del cambio de uso de suelo de zona agrícola a zona urbana en el

desarrollo urbano e inmobiliario del distrito de Ica, Perú: el caso de la hacienda san José, periodo 2003 al 2017. Tesis (magister en desarrollo ambiental). Lima Universidad pontificia universidad católica del Perú, 2018. 116 pp. [consultado el 31 de agosto de 2023]. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13453/HERNANDEZ_PUMA_MILAGRO_DEL_ROSARIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7. MTC, 2013. Manual de carreteras - Especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013) [en línea]. Tomo I. Lima - Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Disponible en: https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.
8. MTC, 2016. Manual de ensayo de materiales [en línea]. 2016. S.l.: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Disponible en: https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.
9. MÁRQUEZ K. Mejoramiento de la estabilización en la subrasante de suelos arcillosos usando plásticos reciclados PET en el distrito La Encantada, provincia de Morropón – Piura 2019. Tesis (título en ingeniería civil). Piura Universidad Nacional de Piura 2019. 78 pp. [consultado el 31 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2241>
10. MENDEZ C. Metodología De La Investigación. [en línea]. 5ª ed. España: ALPHAEDITORIAL, 2022. pp.1.03-108 ISBN 9789587786606. Disponible en: <https://www.alphaeditorial.com/Papel/9789587786606/Metodolog%C3%A1Da+De+La+Investigaci%C3%B3n>
11. MOSQUERA A. Y RAMÍREZ J. Análisis de la modificación del material natural existente de las calles marginales 9 y 8 paralelas a la avenida maracos, intercepción anillo vial en la ciudad de Villavicencio-Meta, con poliestireno expandido triturado reciclado para su utilización en la estructura de pavimento. Trabajo experimental (título en ingeniería civil). Universidad Santo Tomás

2021.89 pp. [consultado el 25 de agosto de 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/35198>

12. NESTERENKO D. Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú. Tesis (magister en ingeniería vial). Lima Universidad de Piura, 2018.33 pp. [consultado el 31 de agosto de 2023]. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3474/MAS_ICIV-L_043.pdf?sequence=2&isAllowed=y
13. PAZOS J. Análisis de la capacidad de soporte (CBR) de una subbase clase II, procedente de la cantera de Pesillo, ubicada en el Cantón Cayambe, mediante la adición de plástico triturado (PET). Proyecto de investigación. Quito Universidad Central de Ecuador 2023. 302 pp. [consultado el 23 de agosto de 2023]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/29230>
14. ROMERO J. Evaluación del comportamiento mecánico de una subrasante arcillosa con refuerzos de fibra de poliamida (nylon) de cepillos dentales. Trabajo (título en ingeniería civil). Universidad Católica de Colombia.2022. 102 pp. [consultado el 25 de agosto de 2023]. Disponible en:<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/f2819719-ec4c-4109-9888-5eca31e3d494/content>
15. ZAPANA R. Estabilización de suelos arcillosos con polímeros reciclados a nivel de la subrasante de la carretera que une el C.P. de Santa María con la av. Circunvalación del distrito de San Miguel - San Román - Puno. Tesis (título en ingeniería civil). Puno Universidad Continental 2022. 168 pp. [consultado el 29 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12316>

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título del Proyecto: EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLIMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MODULO DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA- CALLAO

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES		METODOLOGIA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	DIMENSIONES	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:
¿Cómo influye la incorporación de polímero reciclado(PET) en la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos ?	Evaluar la influencia del polímero reciclado(PET) en la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos.	Los polímeros reciclados (PET) favorecen positivamente a la efectividad técnica-económica del módulo de soporte de la subrasante de los suelos arcillosos.	INDEPENDIENTE: Variable Independiente: Polímeros reciclados (PET)	Caracterización	* General: Científico. * Específico: Hipotético-Deductivo. * Aplicada.
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS		Porcentaje de adición	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: * Experimental (Cuasi-experimental).
¿Qué efecto produce la incorporación de polímero reciclado(PET), en la efectividad técnica del módulo de soporte de la subrasante con presencia suelos de arcillosos?	Analizar el efecto que produce el polímero reciclado(PET), en la efectividad técnica del módulo de soporte en la subrasante con presencia de suelos arcillosos.	El polímero reciclado(PET), afecta positivamente en la efectividad técnica.			POBLACIÓN Y MUESTRA: * POBLACIÓN La población está compuesta por las muestras del suelo extraído de la Av. Los Ecólogos Poncianas. * MUESTRA: La muestra será determinada según el tipo de muestreo no probabilístico conformado por 3 calicatas añadiendo las dosificaciones al 0%, 5% y 6%
¿Cuál es la variación que produce el polímero reciclado(PET) en la efectividad económica del módulo de soporte de la subrasante con presencia de suelos arcillosos?	Determinar la variación que produce el polímero reciclado (PET) en la efectividad económica del módulo de soporte de la subrasante con presencia de suelos arcilloso.	El polímero reciclado(PET), variará significativamente en la efectividad económica.	DEPENDIENTE: Variable Dependiente: Efectividad técnica - económica del Módulo de soporte en Subrasante con presencia de suelos arcillosos	Efectividad técnica	TECNICAS DE INVESTIGACIÓN: * Visualización * Formato de los ensayos * Ficha de recopilación de datos.
				Efectividad económica	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS: * Formatos estandarizados de ensayos. (NTP 339.129, NTP 339.143, NTP 339.034)

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	MEDIDAS	ESCALA DE MEDICION
1: Variable Independiente: Polímeros reciclados (PET)	Según Llactahuamaní (2018), mencionó que un polímero alterado que se encuentra en forma de solución acuosa y se combina de manera apropiada con agua, forma una mezcla que puede emplearse para fortalecer suelos susceptibles y así otorgarles la capacidad de resistir la compresión.	El polímero reciclado (PET) se adicionó en un 6% y 9% donde permitirá a la subrasante a través de sus propiedades una mejora de las propiedades del suelo arcilloso como resistencia y estabilidad.	Caracterización	Análisis químico	%	Intervalo
				Análisis Granulométrico	gr.	Razón
			Porcentaje de adición	Gravedad Específica.	%	Intervalo
				6.00	%	Intervalo
				9.00	%	Intervalo
2: Variable Dependiente: Módulo de soporte en Subrasante con presencia de suelos arcillosos	Según Chávez, (2018) una subrasante con presencia de suelos arcillosos su granulometría tiene un peso especial de partículas pequeñas menores a 0.002 mm y sus partículas están compuestas por minerales como silicato de hierro, aluminio, magnesio, etc.	Se llevó a cabo los ensayos de laboratorio en las muestras recolectadas mediante las calicatas realizadas en el lugar, donde se agregó polímeros reciclados (PET).	Efectividad técnica	Límite líquido MTC E 110	%	Intervalo
				Límite plástico MTC E 111	%	Intervalo
				Índice de plasticidad MTC E 111	%	Intervalo
				Máxima densidad seca MTC E 115	kg/m ³	Razón
				Optimo contenido de humedad MTC E 115	%	Intervalo
				CBR al 100% de máxima densidad seca MTC E 129	%	Intervalo
				Efectividad económica	Precio unitario	S/.
			Costo total		S/.	Razón

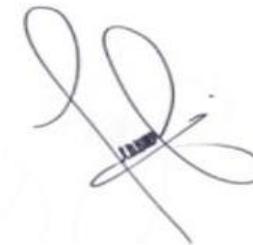
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE INSTRUMENTOS

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	ESCALA DE MEDICION	INSTRUMENTO	ESCALA				
						Muy deficiente	Deficiente	Regular	Buena	Muy buena
1: Variable Independiente: Polímeros reciclados (PET)	Caracterización	Análisis Químico	%	Intervalo	ficha técnica				X	
		Análisis Granulométrico	Gramos	Razón	Tamices				X	
		Gravedad Específica.	%	Intervalo	ficha técnica				X	
	Porcentaje de adición	3	%	Intervalo	Polímero reciclado (PET)					X
		6	%	Intervalo						
		9	%	Intervalo						
2: Variable Dependiente: Módulo de soporte en Subrasante con presencia de suelos arcillosos	Plasticidad.	Límite líquido MTC E 110	%	Intervalo	Aparato casa grande					X
		Límite plástico MTC E 111	%	Intervalo	Aparato casa grande					X
		Índice de plasticidad MTC E 111	%	Intervalo	Numérico					X
	Densidad seca	Máxima densidad seca MTC E 115	kg/m ³	Razón	Numérico					X
		Óptimo contenido de humedad MTC E 115	%	Intervalo	Numérico					X
	Resistencia	CBR al 95% de máxima densidad seca MTC E 129	%	Intervalo	ficha técnica					X
		CBR al 100% de máxima densidad seca MTC E 129			ficha técnica					X

FICHA TECNICA

MUESTRA		CARACTERIZACIÓN		% DE ADICIÓN			EFECTIVIDAD TECNICA					FECTIVIDAD ECONOMICA			
Nº	Identificación de la muestra	Análisis químico		Patrón	6.00	9.00	Límite Líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)	Proctor Modificado		CBR al 95%	CBR al 100%	Precio unitario	Costo total
										O.C.H (%)	D.M.S (%)				
1	CALICATA 1	Sales	0.15%	PATRÓN			33	21	12	19.2	1.762	2.6	3.6	98.57	98.57
2		Sulfatos Solubles	0.10%		6%	30	23	7	17.3	1.895	9.7	13.1	113.10	113.10	
3		Sales Solubles Totales	0.04%		9%	28	25	3	14.2	1.956	13.6	17.4	147.46	147.46	
4	CALICATA 2	Sólidos en suspensión	1000	PATRÓN			32	20	12	18.5	1.742	2.3	3	98.57	98.57
5		Materia Orgánica	10		6%	29	21	8	16.1	1.863	8.6	12.6	113.10	113.10	
6		Sales Solubles	150		9%	27	23	4	13	1.916	13.1	17.3	147.46	147.46	
7	CALICATA 3	Límite de Turbidez	2000	PATRÓN			42	27	15	20.9	1.688	2.1	2.6	98.57	98.57
8		Dureza	> 5		6%	30	29	1	18.3	1.825	9.3	11.2	113.10	113.10	
9		Potencial de Hidrógeno	> 7		9%	36	31	5	15.4	1.879	8.1	15.4	147.46	147.46	

OBSERVACIONES:



INFORME DE OPINIÓN DEL JUICIO DE EXPERTO



FICHA DE EVALUACION INFORME DE OPINIÓN DEL JUICIO DE EXPERTO



- ✚ **DATOS GENERALES:** Bach. Perez Quintano, Milena Esther
- ✚ **TITULO D ELA INVESTIGACION:** EFECTIVIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA – CALLAO
- ✚ **NOMBRE DE LOS INSTRUMENTOS MOTIVO DE EVALUACION:** Ficha de observación

INDICADORES	Criterios	Muy deficiente	Deficiente	Regular	Buena	Muy buena
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado e conductas observables				X	
ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia pedagógica				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad				X	
INTERNACIONALIDAD	Adecuado para valorar los instrumentos de investigación				X	
CONSTANCIA	Basados en aspectos teóricos científicos				X	
COHERENCIA	Entre los índices e indicadores				X	
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del diagnostico				X	
PERTINENCIA	Es útil y adecuado para la investigación				X	

PROMEDIO DE VALORIZACIÓN: ____ 17 ____

Evaluación: (0: MUY DEFICIENTE) (5-10: DEFICIENTE) (11-13-REGULAR) (14-17: BUENA) (18-20: MUY BUENA)

Nombre y Apellido:	Jesús Idén Cárdenas Capcha
DNI:	71095137
Grado académico :	Magister en Ingeniería Vial con mención en carreteras, puentes y túneles
Profesión:	Ingeniero Civil

FIRMA



**FICHA DE EVALUACION
INFORME DE OPINIÓN DEL JUICIO DE EXPERTO**



- ✚ **DATOS GENERALES:** Bach. Perez Quintano, Milena Esther
- ✚ **TITULO D ELA INVESTIGACION:** EFECTIVIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA – CALLAO
- ✚ **NOMBRE DE LOS INSTRUMENTOS MOTIVO DE EVALUACION:** Ficha de observación

INDICADORES	Criterios	Muy deficiente	Deficiente	Regular	Buena	Muy buena
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado e conductas observables				X	
ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia pedagógica				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad				X	
INTERNACIONALIDAD	Adecuado para valorar los instrumentos de investigación				X	
CONSTANCIA	Basados en aspectos teóricos científicos				X	
COHERENCIA	Entre los índices e indicadores				X	
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del diagnostico				X	
PERTINENCIA	Es útil y adecuado para la investigación				X	

PROMEDIO DE VALORIZACIÓN: 17

Evaluación: (0: MUY DEFICIENTE) (5-10: DEFICIENTE) (11-13-REGULAR) (14-17: BUENA) (18-20: MUY BUENA)

Nombre y Apellido:	Mg. Ing. Juan Cabello Masgo
DNI:	43768008
Grado académico :	Ing. Civil / Mg. en Gestión Pública
Profesión:	Ingeniero Civil


 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SANTA
 ING. JUAN CABELLO/MASGO
 SUBGERENCIA DESARROLLO URBANO
 Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
 REG. CIP. 273023

FIRMA



**FICHA DE EVALUACION
INFORME DE OPINIÓN DEL JUICIO DE EXPERTO**



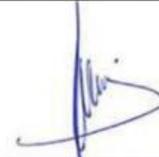
- ✚ **DATOS GENERALES:** Bach. Perez Quintano, Milena Esther
- ✚ **TITULO D ELA INVESTIGACION:** EFECTIVIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA – CALLAO
- ✚ **NOMBRE DE LOS INSTRUMENTOS MOTIVO DE EVALUACION:** Ficha de observación

INDICADORES	Criterios	Muy deficiente	Deficiente	Regular	Buena	Muy buena
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado e conductas observables				X	
ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia pedagógica				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad				X	
INTERNACIONALIDAD	Adecuado para valorar los instrumentos de investigación				X	
CONSTANCIA	Basados en aspectos teóricos científicos				X	
COHERENCIA	Entre los índices e indicadores				X	
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del diagnostico				X	
PERTINENCIA	Es útil y adecuado para la investigación				X	

PROMEDIO DE VALORIZACIÓN: 17

Evaluación: (0: MUY DEFICIENTE) (5-10: DEFICIENTE) (11-13-REGULAR) (14-17: BUENA) (18-20: MUY BUENA)

Nombre y Apellido:	Mg. Ing. Luis Alberto Segura Terrones
DNI:	45003769
Grado académico :	Ing. Civil, Ing. Ambiental / Mg. en Ingeniería Civil con Mención en Gerencia de la Construcción.
Profesión:	Ingeniero Civil



Mg. Ing. Luis Alberto Segura Terrones

CERTIFICADOS CON RESULTADOS DEL LABORATORIO

N° TE



TECNILAB

LABORATORIO DE SUELOS S.A.C

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio de ingeniería.

TESIS EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO
UBICACION DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO
TESISTA PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER
FECHA SETIEMBRE DEL 2023

ANALISIS QUIMICO

N°	ANALISIS QUIMICO	VALORES MAXIMOS ADMISIBLES	RESULTADOS (%)		
			C-02	C-02	PROMEDIO
	MUESTRA		M - 1	M - 1	
1	Sales Delocuescentes o Cloruros	0.15%	0.11%	0.12%	0.12
2	Sulfatos Solubles (SO4)	0.10%	0.09%	0.11%	0.10
3	Sales Solubles Totales	0.04%	0.02%	0.03%	0.03%
4	Sólidos en suspensión	1000			
5	Materia Orgánica expresado en Oxígeno	10			
6	Sales Solubles de Magnesio	150			
7	Límite de Turbidez	2000			
8	Dureza	> 5			
9	Potencial de Hidrógeno (PH)	> 7	7	7.2	7.1

LAB. TECNILAB S.A.C
 SUELO - CONCRETO - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ
 JEFE DE LABORATORIO
 ING. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
 CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085

N° TECNILAB001-EST.



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS : EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLIMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE
 : DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA – CALLAO
UBICACIÓN : DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO
BACHILLER : PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER
FECHA : SETIEMBRE DEL 2023

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 01
MUESTRA : TERRENO NATURAL
PROF. (m) : 1.50 mts.

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF.	M.	GRAFICO	ESTRATO Espesor (CM.)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	CLASIF.		GRANULOMETRIA			LIMITES			HUM. NAT.
					AASHTO	SUCS	3" A Nro.4	Nro. 4 a Nro.200	Menor Nro. 200	LL.	L.P.	I.P.	
0.00													
0.10													
0.20													
0.30													
0.40													
0.50		CL		Arcilla arenosa de baja plasticidad	A-6 (6)	CL	2.2	38.9	58.9	33	21	12	8.1
0.60													
0.70													
0.80													
0.90													
1.00			0.00 - 1.00 mts.										



LAB. TECNILAB S.A.C
SUELO - CONCRETO - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS	: EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE
	: DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO
UBICACIÓN	: DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO
BACHILLER	: PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER
FECHA	: SETIEMBRE DEL 2023

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA	: 02
MUESTRA	: TERRENO NATURAL
PROF. (m)	: 1.50 mts.

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF.	M.	GRAFICO	ESTRATO Espesor (CM.)	CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS	CLASIF.		GRANULOMETRIA			LIMITES			HUM. NAT.	
					AASHTO	SUCS	3" A Nro. 4	Nro. 4 a Nro. 200	Menor Nro. 200	LL.	L.P.	I.P.		
0.00														
0.10														
0.20														
0.30														
0.40														
0.50														
0.60														
0.70														
0.80														
0.90														
1.00														
1.10														
1.20														
1.30														
1.40														
1.50														



AB. TECNILAB S.A.C
SUELO - CONCRETO - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085

N° TECNILAB001-EGP



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS	: EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE
O	: DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO
UBICACIÓN	: DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO
BACHILLER	: PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER
FECHA	: SEPTIEMBRE DEL 2023

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA	: 03
MUESTRA	: TERRENO NATURAL
PROF. (m)	: 1.50

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF.	M.	GRAFICO	ESTRATO Espesor (CM.)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	CLASIF.		GRANULOMETRIA			LIMITES			HUM. NAT.
					AASHTO	SUCS	3" A Nro. 4	Nro. 4 a Nro. 200	Menor Nro. 200	LL.	L.P.	L.P.	
0.00													
0.20													
0.40													
0.60													
0.80													
1.00													
1.20													
1.40													
1.60													
1.80													
2.00													
2.20													
2.40													
2.60													
2.80													
3.00													



LAB. TECNILAB S.A.C
SUELO - CONCRETO - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E-107, E-204, E-108 - ASTM D422 Y AASHTO T-88)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TEMAS : EFECTIVIDAD TÉCNICA-ECONOMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS (PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE
: DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO
UBICACIÓN : DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO
BACHILLER : PÉREZ QUINTANO, MILENA ESTHER
FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2023

DATOS DE LA MUESTRA

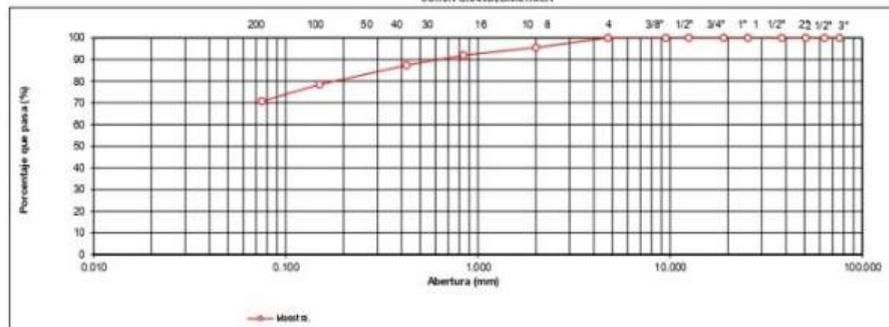
CAUCATA : 02
MUESTRA : TERRENO NATURAL
PROF. (m) : 1.50 mts.
Peso inicial seco : 650.0 g
Peso lavado seco : g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						Contenido de Humedad (%) : 10.1
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						Tara N° -
1 1/2"	38.100						Peso de la Tara (g) :
1"	25.400						Peso Tara+Suelo Hum (g) : 512.4
3/4"	19.000						Peso Tara+Suelo Sec (g) : 465.3
1/2"	12.500						Peso del Agua (g) : 47.1
3/8"	9.500						Peso del Suelo Seco (g) : 465.3
Nº 4	4.750				100.0		
Nº 8	2.360						Índice de Consistencia : 1.82
Nº 10	2.000	29.0	4.5	4.5	95.5		Descripción (AASHTO) : MALO
Nº 16	1.190						Descripción (SUCS) : Arcilla de baja plasticidad con arena
Nº 20	0.840	23.0	3.5	8.0	92.0		
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	30.0	4.6	12.6	87.4		
Nº 50	0.300						OBSERVACIONES :
Nº 60	0.250						Bolomena > 3" :
Nº 100	0.150	58.0	8.9	21.5	78.5		Grava 3" - Nº 4 : 0.0
Nº 200	0.075	50.0	7.7	29.2	70.8		Arena Nº4 - Nº 200 : 29.2
< Nº 200	FONDO	465.0	70.8	100.0	0.0		Finos < Nº 200 : 70.8

CARACTERÍSTICA FÍSICA Y QUÍMICA DE LA MUESTRA

Limite líquido (%)	32	Máx. Dens. Seca (gr./cc)	1.742	Equivalente de arena (%)	
Limite Plástico (%)	20	Humedad Óptima (%)	18.5	O1 Caras Fracturadas (%)	
Índice plástico (%)	12	CBR : al 100%	3.0 %	O2 Caras Fracturadas (%)	
Clasificación:	SUCS: CL	CBR : al 95%	2.3 %	Chatas y Alargadas (%)	
	AASHTO: A-6 (B)	Expansión (%)		Abrasión (%)	
Cu	Cc	% de Absorción (%)		Peso Específico (g./cc.)	

CURVA GRANULOMÉTRICA



LAB. TECNILAB S.A.C

SUELO - CONCRETO - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ

JEFE DE LABORATORIO

ING. CIVIL DE MATERIALES 208697



**LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40
(NORMA MTC E-110, E111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)**

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS	: EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLIMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE
0	: DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO
UBICACIÓN	: DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO
BACHILLER	: PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER
FECHA	: SEPTIEMBRE DEL 2023

DATOS DE LA MUESTRA	
CALIGATA	: 02 TAMAÑO MAXIMO : N° 40
MUESTRA	: TERRENO NATURAL
PROF. (m)	: 1.50 mts.

LIMITE LIQUIDO				
Nº TARRO		19	65	4
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		44.06	40.94	44.02
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		38.45	35.61	38.57
PESO DE AGUA (g)		5.61	5.33	5.45
PESO DEL TARRO (g)		22.07	19.19	20.57
PESO DEL SUELO SECO (g)		16.4	16.4	18.0
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		34.2	32.5	30.3
NUMERO DE GOLPES		15	26	36

LIMITE PLASTICO				
Nº TARRO		8	1	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		37.41	34.44	
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		34.95	32.01	
PESO DE AGUA (g)		2.46	2.43	
PESO DEL TARRO (g)		22.83	19.99	
PESO DEL SUELO SECO (g)		12.1	12.0	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)		20.3	20.2	



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	32
LIMITE PLASTICO	20
INDICE DE PLASTICIDAD	12

Observaciones: _____

LAB. TECNILAB S.A.C
 SUELO - CONCRETO - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ
 JEFE DE LABORATORIO
 ING. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
 CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085



ENSAYO PROCTOR MODIFICADO
(NORMA MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

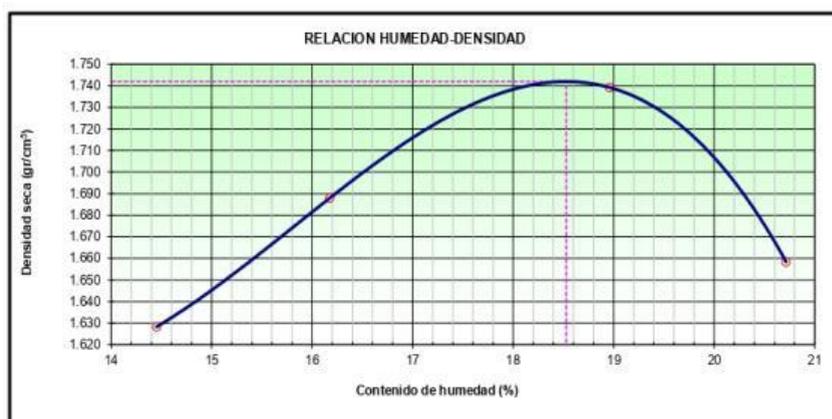
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS	: EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE : DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO
UBICACIÓN	: DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO
BACHILLER	: PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER
FECHA	: SETIEMBRE DEL 2023

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: 02
MUESTRA	: TERRENO NATURAL
PROF. (m)	: 1.50 mts.

METODO DE COMPACTACION : C

Peso suelo + molde	gr	7667	7875	8105	7962	
Peso molde	gr	3688.0	3688.0	3688.0	3688.0	
Peso suelo húmedo compactado	gr	3979.0	4186.7	4417.3	4274.3	
Volumen del molde	cm ³	2135.0	2135.0	2135.0	2135.0	
Peso volumétrico húmedo	gr	1.864	1.961	2.069	2.002	
Recipiente Nº		1	2	3	4	
Peso del suelo húmedo+tara	gr	508.4	535.8	514.5	505.8	
Peso del suelo seco + tara	gr	444.2	461.2	432.5	419.0	
Tara	gr	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr	64.2	74.6	82.0	86.8	
Peso del suelo seco	gr	444.2	461.2	432.5	419.0	
Contenido de agua	%	14.45	16.18	18.96	20.72	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.628	1.688	1.739	1.658	
<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>						1.742
<i>Humedad óptima (%)</i>						18.5



Observaciones:

LAB. TECNILAB S.A.C
SUELO - CONCRETO - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085

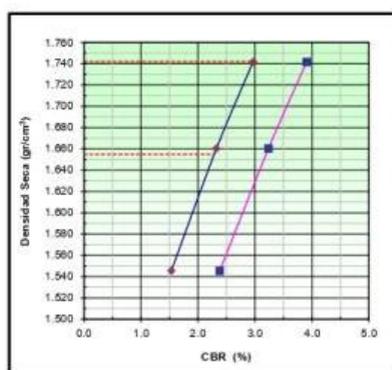


RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C. B. R.)
(NORMA MTC E-132, ASSHTO T-193, ASTM D 1883)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESES	: EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLIMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE
O	: DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO
UBICACIÓN	: DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO
BACHILLER	: PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER
FECHA	: SETIEMBRE DEL 2023

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: 02
MUESTRA	: TERRENO NATURAL
PROF. (m)	: 1.50 mts.

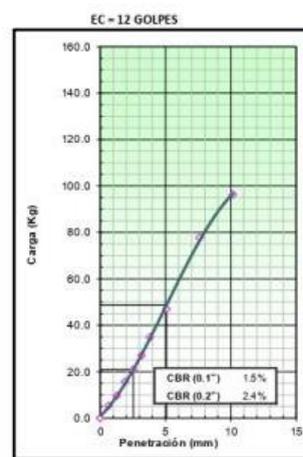
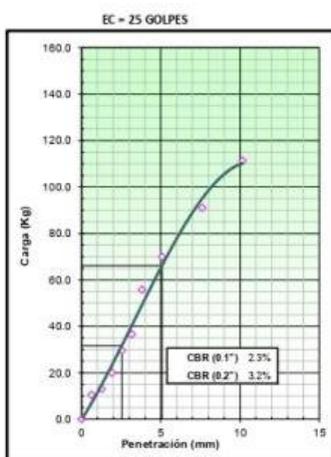
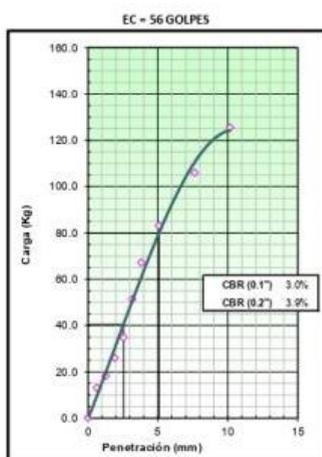


METODO DE COMPACTACION	: ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 1.742
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 18.5
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 1.655

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1": 3.0	0.2": 4.0
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1": 2.3	0.2": 3.2

RESULTADOS:
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 3.0 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 2.3 (%)

OBSERVACIONES:



LAB. TECNILAB S.A.C
 SUELO - CONCRETO - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ
 JEFE DE LABORATORIO
 ING. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
 CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085

N° TECNILAB001



TECNILAB

LABORATORIO DE SUELOS S.A.C

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio de ingeniería.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(NORMA MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS : EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE
: DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO

UBICACIÓN : DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO

BACHILLER : PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER

FECHA : SETIEMBRE DEL 2023

DATOS DE LA MUESTRA

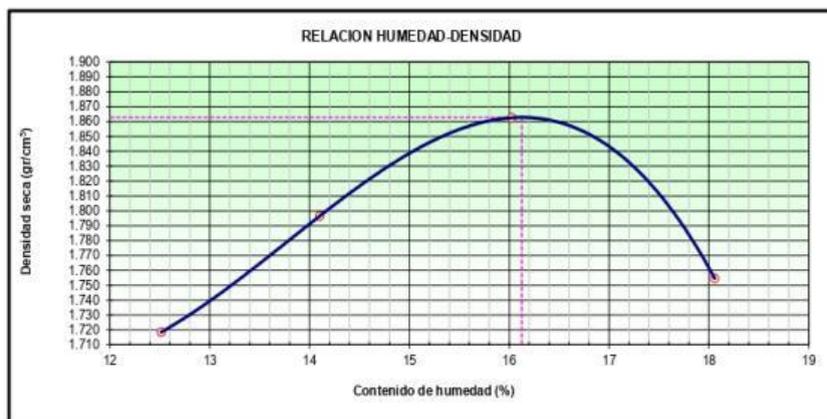
CALICATA : C-02 + 6 % plástico reciclado (PET)

MUESTRA : TERRENO NATURAL

PROF. (m) : 1.50 mts.

METODO DE COMPACTACION : C

Peso suelo + molde	gr	7445.0	7702.0	7948.0	7750.0	
Peso molde	gr	3170.0	3170.0	3170.0	3170.0	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4275.0	4532.0	4778.0	4580.0	
Volumen del molde	cm ³	2211.0	2211.0	2211.0	2211.0	
Peso volumétrico húmedo	gr	1.934	2.050	2.161	2.071	
Recipiente Nº		1	2	3	4	
Peso del suelo húmedo+tara	gr	425.3	512.2	478.6	514.5	
Peso del suelo seco + tara	gr	378.0	448.9	412.5	435.8	
Tara	gr	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr	47.3	63.3	66.1	78.7	
Peso del suelo seco	gr	378.0	448.9	412.5	435.8	
Contenido de agua	%	12.51	14.10	16.02	18.06	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.718	1.796	1.863	1.755	
<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>						1.863
<i>Humedad óptima (%)</i>						16.1



Observaciones:

LAB. TECNILAB S.A.C
SUELO - CONCRETO - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085

N° TECNILAB002



TECNILAB

LABORATORIO DE SUELOS S.A.C

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio de ingeniería.

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA MTC E-132, ASSHTO T-193, ASTM D 1883)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS : EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLIMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE
: DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO
UBICACIÓN : DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO
BACHILLER : PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER
FECHA : SETIEMBRE DEL 2023

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-02 + 6 % plastico reciclado (PET)
MUESTRA : TERRENO NATURAL
PROF. (m) : 1.50 mts.

COMPACTACION

	12		13		14	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Molde N°	12		13		14	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12258.0	12342.0	11878.0	11920.0	11545.0	11760.0
Peso de molde (g)	7734.0	7734.0	7503.0	7503.0	7616.0	7616.0
Peso del suelo húmedo (g)	4524.0	4608.0	4375.0	4417.0	3929.0	4144.0
Volumen del molde (cm ³)	2092.0	2092.0	2127.0	2127.0	2094.0	2094.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.163	2.203	2.057	2.111	1.876	1.981
Tara (N°)						
Peso suelo húmedo + tara (g)	325.6	245.2	264.0	521.3	412.0	468.2
Peso suelo seco + tara (g)	280.5	207.4	227.4	432.1	354.6	382.2
Peso de tara (g)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de agua (g)	45.1	37.8	36.6	89.2	57.4	86.0
Peso de suelo seco (g)	280.5	207.4	227.4	432.1	354.6	382.2
Contenido de humedad (%)	16.1	18.2	16.1	20.6	16.2	22.5
Densidad seca (g/cm ³)	1.863	1.863	1.772	1.721	1.615	1.615

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
0/01/1900	9:20 a. m.	0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0
1/01/1900	9:20 a. m.	24	36.0	0.36	0.2	52.0	0.52	0.3	70.0	0.70	0.4
2/01/1900	9:20 a. m.	48	46.0	0.46	0.3	68.0	0.68	0.4	88.0	0.88	0.5
3/01/1900	9:20 a. m.	72	52.0	0.52	0.3	84.0	0.84	0.5	114.0	1.14	0.6
4/01/1900	9:20 a. m.	96	68.0	0.68	0.4	102.0	1.02	0.6	142.0	1.42	0.8

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N° 12			MOLDE N° 13			MOLDE N° 14			
		CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	Dial (div)	kg	kg	Dial (div)	kg	kg	
0.000			0.0			0.0			0.0		
0.635			55.5			37.6			25.6		
1.270			79.5			55.5			37.6		
1.905			103.4			73.5			49.6		
2.540	70.5		139.3	171.2	12.6	97.4	117.5	8.6	67.5	80.8	5.9
3.170			199.1			133.3			91.4		
3.810			282.8			193.1			133.3		
5.080	105.7		360.6	313.5	15.3	240.9	210.7	10.3	163.2	143.0	7.0
7.620			378.5			252.9			169.2		
10.160			510.2			342.6			229.0		

Observaciones _____

LAB. TECNILAB S.A.C
SUELO - CONCRETO - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ
JEFE DE LABORATORIO
NG. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085

N° TECNILAB003

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

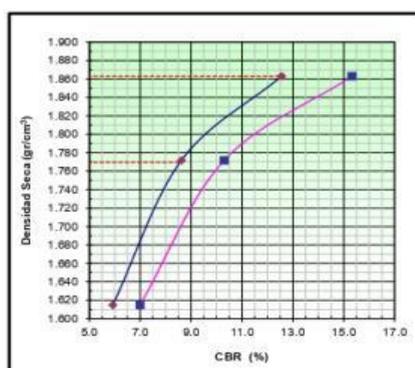
(NORMA MTC E-132, ASSHTO T-193, ASTM D 1883)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS : EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE
 : DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO
 UBICACIÓN : DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO
 BACHILLER : PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER
 FECHA : SETIEMBRE DEL 2023

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-02 + 6 % plastico reciclado (PET)
 MUESTRA : TERRENO NATURAL
 PROF. (m) : 1.50 mts

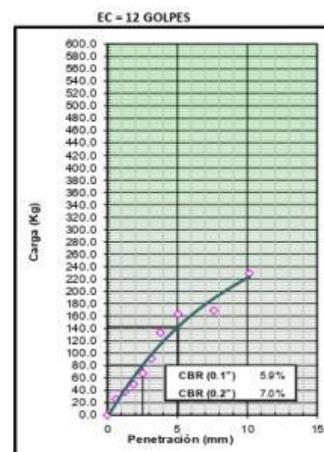
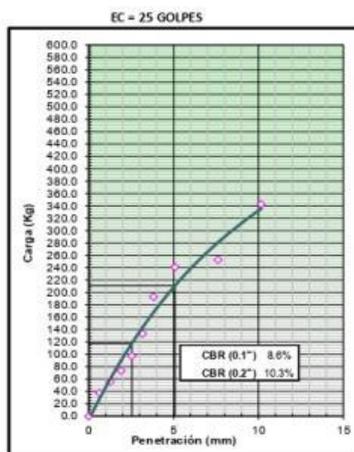
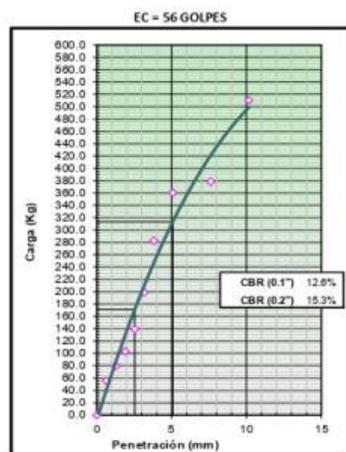


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.863
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 16.1
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.770

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	12.6	0.2":	15.3
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	8.6	0.2":	10.2

RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 12.6 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 8.6 (%)

OBSERVACIONES:

LAB. TECNILAB S.A.C
 SUELO - CONCRETO - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ
 JEFE DE LABORATORIO
 ING. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
 CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085

N° TECNILAB001-CBR



PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-115, ASTM D-1557, AASHTO T-180)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESIS : EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLIMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE
 : DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO
UBICACIÓN : DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO
BACHILLER : PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER
FECHA : SETIEMBRE DEL 2023 **LADO** : Izquierdo

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-02 + 9 % plastico reciclado (PET)
MUESTRA : N° 01
PROF. (m) : 1,30

Metodo de Compactacion : C
Numero de Golpes : 56
Numero de Capas : 5

Peso suelo + molde	gr	10459.0	10678.0	10835.0	10825.0
Peso molde	gr	6272.0	6272.0	6272.0	6272.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	4187.0	4406.0	4563.0	4553.0
Volumen del molde	cm ³	2138.0	2138.0	2138.0	2138.0
Peso volumétrico húmedo	gr	1.958	2.061	2.134	2.130
Recipiente N°		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo+tara	gr	593.0	581.0	576.0	593.0
Peso del suelo seco + tara	gr	552.0	532.0	517.0	522.0
Tara	gr	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de agua	gr	41.0	49.0	59.0	71.0
Peso del suelo seco	gr	552.0	532.0	517.0	522.0
Contenido de humedad	%	7.43	9.21	11.41	13.60
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.823	1.887	1.916	1.875

Densidad máxima (gr/cm³) : 1.916
 Humedad óptima (%) : 11.3



Observaciones: _____

TECNILAB S.A.C
 - CONCRETO. - ASFALTO
 ANUEL CASTILLO LOPEZ
 EFE DE LABORATORIO
 L DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
 CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085

N° TECNILAB002-CBR

TECNILAB													
LABORATORIO DE SUELOS S.A.C													
Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio de ingeniería.													
RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)													
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-132, ASSHTO T-193, ASTM D 1883													
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS													
TESIS	: EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLÍMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MÓDULO DE SOPORTE												
UBICACIÓN	: DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO												
BACHILLER	: PEREZ QUINTANO, MILENA ESTHER												
FECHA	SEPTIEMBRE DEL 2023												
LADO	: Izquierdo												
23/11/1984													
DATOS DE LA MUESTRA													
CALICATA	: C-02 + 9 % plastico reciclado (PET)												
MUESTRA	: N° 01												
PROF. (m)	: 1,30												
COMPACTACION													
Molde N°	11	8	7										
Capas N°	5	5	5										
Golpes por capa N°	56	25	12										
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO	SATURADO							
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12824.0	12960.0	12728.0	12924.0	12022.0	12285.0							
Peso de molde (g)	8259.0	8259.0	8409.0	8409.0	7927.0	7927.0							
Peso del suelo húmedo (g)	4565.0	4701.0	4319.0	4515.0	4095.0	4358.0							
Volumen del molde (cm ³)	2141.0	2141.0	2123.0	2123.0	2124.0	2124.0							
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.132	2.196	2.034	2.109	1.928	2.035							
Tara (N°)													
Peso suelo húmedo + tara (g)	593.1	450.6	512.0	326.3	590.0	412.5							
Peso suelo seco + tara (g)	533.1	393.2	460.0	280.6	530.0	348.3							
Peso de tara (g)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
Peso de agua (g)	60.0	57.4	52.0	45.7	60.0	64.2							
Peso de suelo seco (g)	533.1	393.2	460.0	280.6	530.0	348.3							
Contenido de humedad (%)	11.3	14.6	11.3	16.3	11.3	18.4							
Densidad seca (g/cm ³)	1.916	1.916	1.828	1.829	1.732	1.732							
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
19/11/1984	14:40	0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0		
20/11/1984	14:40	24	54.0	0.54	0.3	62.0	0.62	0.3	70.0	0.70	0.4		
21/11/1984	14:40	48	60.0	0.60	0.3	72.0	0.72	0.4	81.0	0.81	0.5		
22/11/1984	14:40	72	67.0	0.67	0.4	88.0	0.88	0.5	95.0	0.95	0.5		
23/11/1984	14:40	96	70.0	0.70	0.4	92.0	0.92	0.5	96.0	0.96	0.5		
PENETRACION													
PENETRACION	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N° 11				MOLDE N° 8				MOLDE N° 7			
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		10	67.5			7	49.6			5	35.6		
1.270		19	121.3			12	79.5			8	55.5		
1.905		26	163.2			19	121.3			13	83.4		
2.540	70.5	34	211.0	248.1	17.3	25	157.2	192.8	13.5	17	107.4	130.3	9.1
3.170		48	294.8			36	223.0			24	151.2		
3.810		61	372.6			50	306.7			33	207.0		
5.080	105.7	75	456.3	433.2	20.2	64	390.5	366.5	17.1	43	262.9	246.1	11.5
7.620		88	534.1			77	468.3			51	314.7		
10.160		111	671.7			99	599.9			66	402.5		

LAB. TECNILAB S.A.C

SUELO - CONCRETO. - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ

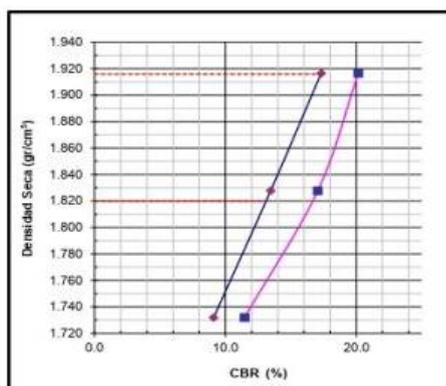
JEFE DE LABORATORIO

ING. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085

N° TECNILAB003-CBR

 <p>TECNILAB LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.</p> <p>Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio de ingeniería.</p>	
RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: MTC E-132, ASSHTO T-193, ASTM D 1683	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
TESIS : EFECTIVIDAD TECNICA-ECONOMICA DE POLIMEROS RECICLADOS(PET) EN EL MODULO DE SOPORTE : DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS EN VENTANILLA - CALLAO	
UBICACIÓN : DISTRITO DE VENTANILLA - CALLAO BACHILLER : PEREZ QUINTANO, MILÉNA ESTHER FECHA : SETIEMBRE DEL 2023	LADO : Izquierdo
DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA : C-02 + 9 % plastico reciclado (PET) MUESTRA : N° 01 PROF. (m) : 1,30	

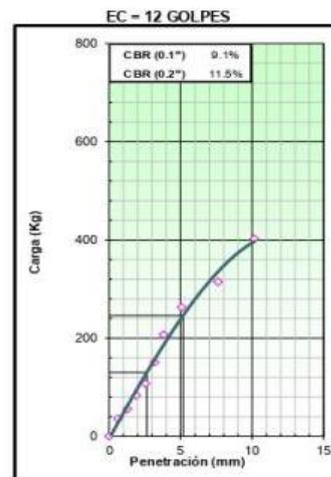
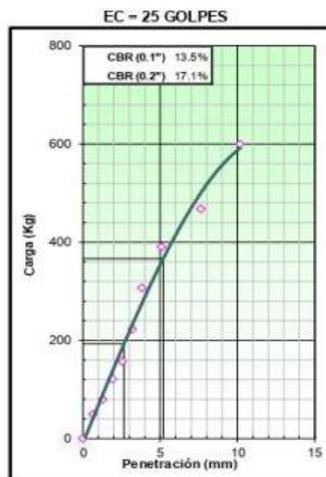
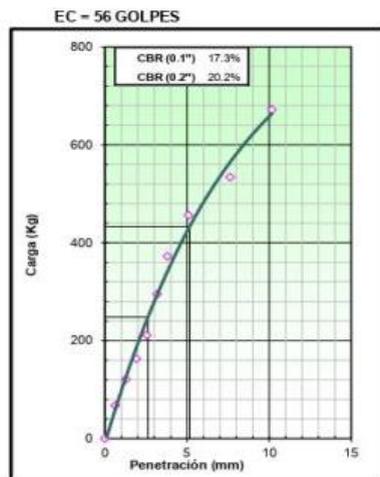


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.916
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 11.3
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.82

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	17.3	0.2":	20.2
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	13.1	0.2":	16.7

RESULTADOS:
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D. = 17.3 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D. = 13.1 (%)

OBSERVACIONES:



LAB. TECNILAB S.A.C
SUELO - CONCRETO. - ASFALTO

VICTOR MANUEL CASTILLO LOPEZ
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL DE MATERIALES 208697

CA A MZ K.1 LOTE 32 URB. PACHACAMAC VILLA EL SALVADOR
CORREO: LABORATORIO_TECNILAB@HOTMAIL.COM CEL. 955340085

ANEXO II: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017



Certificado de Calibración

TC - 00592 - 2023

Proforma : 16760A Fecha de Emisión : 2022-01-06

Solicitante : LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C
Dirección : CALLE A CON CALLE 38 MZ.B LT.27 URB. PACHACAMAC GESTOR 1 BARRIO 2 4TA ETAPA LIMA-LIMA-VILLA EL SALVADOR

Equipo : Horno
Marca : ORION
Modelo : NO INDICA
Número de Serie : 20231986
Identificación : NO INDICA
Procedencia : PERÚ
Circulación del aire : Ventilación natural
Ubicación : LABORATORIO
Fecha de Calibración : 2023-01-04

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Instrumento de Medición del Equipo :

	Tipo	Alcance	Resolución
Termómetro	DIGITAL	0 °C a 250 °C	0,1 °C
Selector	DIGITAL	NO INDICA	0,1 °C

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Lugar de calibración
Instalaciones de LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C

Método de calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-018 2da edición, Junio 2009: "Procedimiento para la calibración o caracterización de medios isotermos con aire como medio termostático" publicada por el SNM/ INDECOPI.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Condiciones de calibración

	Temperatura	Humedad	Tensión
Inicial	21,2 °C	57 %hr	220 V
Final	21,1 °C	58 %hr	220 V

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 05296 - 2023

PROFORMA : 17163

Fecha de emisión : 2023 - 03 - 15

Página : 1 de 3

SOLICITANTE : LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C

Dirección : Cal.A Mza. K1 Lote. 32 P.J. Pachacamac Ba 2 Etp4 Sec1 Lima-Lima-Villa El Salvador

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : TAMIZ

Marca : NO INDICA

Modelo : NO INDICA

N° de serie : NO INDICA

N° de tamiz : No. 12

Tamaño de abertura : 1,7 mm

Identificación : NO INDICA

Procedencia : NO INDICA

Ubicación : LABORATORIO

Fecha de Calibración : 2023-03-14

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa utilizando patrones calibrados y trazables al sistema internacional de unidades, tomando como referencia la norma ASTM E11.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	22,3 °C	22,2 °C
HUMEDAD RELATIVA	58,5%	57,4%

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP : 0316

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 05297 - 2023

PROFORMA : 17163

Fecha de emisión : 2023 - 03 - 15

Página : 1 de 3

SOLICITANTE : LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C

Dirección : Cal.A Mza. K1 Lote. 32 P.J. Pachacamac Ba 2 Etp4 Sec1 Lima-Lima-Villa El Salvador

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : TAMIZ

Marca : NO INDICA
 Modelo : NO INDICA
 N° de serie : NO INDICA
 N° de tamiz : 5/8"
 Tamaño de abertura : 16 mm
 Identificación : NO INDICA
 Procedencia : NO INDICA
 Ubicación : LABORTORIO
 Fecha de Calibración : 2023-03-14

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa utilizando patrones calibrados y trazables al sistema internacional de unidades, tomando como referencia la norma ASTM E11.

CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	22,5 °C	22,4 °C
HUMEDAD RELATIVA	57,4%	56,4%

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



Lic. Nicolás Ramos Paucar

Gerente Técnico

CFP : 0316

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 05298 - 2023

PROFORMA : 17163

Fecha de emisión : 2023 - 03 - 15

Página : 1 de 3

SOLICITANTE : LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C

Dirección : Cal.A Mza. K1 Lote. 32 P.J. Pachacamac Ba 2 Etp4 Sec1 Lima-Lima-Villa El Salvador

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : TAMIZ

Marca : NO INDICA
 Modelo : NO INDICA
 N° de serie : NO INDICA
 N° de tamiz : 7/16"
 Tamaño de abertura : 11,2 mm
 Identificación : NO INDICA
 Procedencia : NO INDICA
 Ubicación : LABORATORIO
 Fecha de Calibración : 2023-03-14

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa utilizando patrones calibrados y trazables al sistema internacional de unidades, tomando como referencia la norma ASTM E11.

CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	22,6 °C	22,5 °C
HUMEDAD RELATIVA	57,4%	56,4%

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



Lic. Nicolás Ramos Paucar

Gerente Técnico

CFP : 0316

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
TC - 05299 - 2023
PROFORMA : 17163

Fecha de emisión : 2023 - 03 - 15

Página : 1 de 3

SOLICITANTE : LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C

Dirección : Cal.A Mza. K1 Lote. 32 P.J. Pachacamac Ba 2 Etp4 Sec1 Lima-Lima-Villa El Salvador

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : TAMIZ

Marca : NO INDICA

Modelo : NO INDICA

N° de serie : NO INDICA

N° de tamiz : No. 4

Tamaño de abertura : 4,75 mm

Identificación : NO INDICA

Procedencia : NO INDICA

Ubicación : LABORATORIO

Fecha de Calibración : 2023-03-14

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa utilizando patrones calibrados y trazables al sistema internacional de unidades, tomando como referencia la norma ASTM E11.

CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	21,7 °C	21,8 °C
HUMEDAD RELATIVA	59,5%	58,5%

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.


Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP : 0316

Certificado de Calibración

TC - 05294 - 2023

Proforma : 17163A Fecha de emisión: 2023-03-15 Página : 1 de 2

Solicitante : LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C
 Dirección : Cal.A Mza. K1 Lote. 32 P.J. Pachacamac Ba 2 Etp4 Sec1 Lima-Lima-Villa El Salvador

Instrumento de medición : MOLDE PROCTOR MODIFICADO 6 in

Marca : No Indica
 Modelo : No Indica
 N° de Serie : No Indica
 Procedencia : No Indica
 Identificación : No Indica
 Ubicación : Laboratorio
 Fecha de Calibración : 2023-03-13

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Lugar de calibración
 Instalaciones de LABORATORIO DE SUELO TECNILAB S.A.C

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Método de calibración

La calibración se realizó por comparación directa utilizando patrones calibrados y trazables al sistema internacional de medida, tomando como referencia la norma ASTM D-1557

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Condiciones de calibración

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	22,2 °C	22,5 °C
Humedad Relativa	78,1 %HR	78,1 %HR

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolás Ramos Paucar
 Gerente Técnico
 CFP: 0316

PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía de la calicata N°1.

Elaboración propia.



Fotografía de la calicata N°2

Elaboración propia.



Fotografía de la calicata N°3

Elaboración propia



Fotografía del límite líquido.

Elaboración propia.



Fotografía del límite líquido.

Elaboración propia.



Fotografía del material extraído para el límite plástico.

Elaboración propia



Fotografía mezclando el terreno natural con el PET.

Elaboración propia.



Fotografía para poder realizar el Proctor modificado.

Elaboración propia.