



INFORME N° 23-2025-UNACH/UI/MAST

A : Dr. Ing. **Luís Alberto Orbegoso Navarro**
Presidente del jurado de tesis FCI-UNACH.

ASUNTO : Constancia de Originalidad de Turnitin de **ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN**.

FECHA : Colpa Matara, 21 de julio del 2025.

REFERENCIA: i) Carta N°059-2025-UNACH-LON/JT / Envío de tesis en digital en su versión final
ii) Carta N°058-2025-UNACH-LON/JT / Conformidad por parte del presidente del jurado de tesis.
iii) Carta N° 008-2025- DGCD-JT-DEPIC/UNACH / Conformidad por parte del secretario del jurado de tesis.
iv) Carta N° 053-2025-UNACH-CRCR / Conformidad por parte del vocal del jurado de tesis

De mi mayor consideración

Es grato dirigirme a Usted para expresar mi saludo, y a la vez alcanzar la constancia de originalidad de TURNITIN de la tesis denominada: **“MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024”**, elaborado por el bachiller en ingeniería civil **ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN**, para continuar con sus trámites ante la UNACH.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para reiterarle las muestras de mi distinguida consideración y estima.

Atentamente,



Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL
157732

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH

CC.
Archivo
Adjunto:

- 1) Constancia de originalidad N° 23-2025.
- 2) Reporte TURNITIN



Colpa Matara, 21 de julio del 2025.

C.O. N° 23-2025-UI-EPIC

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis titulado: **“MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024”**, elaborado por el bachiller en ingeniería civil: **ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 12% excluyendo texto citado, bibliografía y fuentes que tengan coincidencias de menos de 10 palabras; por lo tanto, cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en el acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.

Se expide la presente, en conformidad a la directiva antes mencionada, para los fines que estime pertinentes.






Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH

ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN

MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZAN...

-  Informe Final de Tesis
-  UNIDAD DE INVESTIGACION FIC 2025-1
-  Universidad Nacional Autónoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3299946450

Fecha de entrega

21 jul 2025, 9:11 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

21 jul 2025, 9:24 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

Inf.Final.Tesis.Elí.Cantera.Sivingan.Con.Lev.Observ.09.07.25.docx

Tamaño de archivo

11.7 MB

174 Páginas

34.566 Palabras

181.200 Caracteres




12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	3%
2	Internet	hdl.handle.net	1%
3	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	1%
4	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
5	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Francisco de Vitoria	<1%
7	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
8	Internet	repositorio.upla.edu.pe	<1%
9	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
10	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
11	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%

12	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
13	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
14	Trabajos del estudiante	Universidad Pontificia Bolivariana	<1%
15	Internet	www.fict.espol.edu.ec	<1%
16	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco	<1%
17	Internet	revistas.unj.edu.pe	<1%
18	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
19	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María	<1%
20	Internet	rraae.cedia.edu.ec	<1%
21	Internet	vsip.info	<1%
22	Internet	dspace.unitru.edu.pe	<1%
23	Internet	repositorio.unj.edu.pe	<1%
24	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnologica del Peru	<1%
25	Trabajos del estudiante	Instituto San Ignacio de Loyola - ISIL	<1%

26	Publicación	Alejandro Lerma Cantó. "Revalorización de subproductos procedentes de la semil..."	<1%
27	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%
28	Internet	core.ac.uk	<1%
29	Publicación	D. M. Carlos, M. Pinho-Lopes, M. L. Lopes. "Evaluation of Penetration Resistance o..."	<1%
30	Internet	repositorio.uwiener.edu.pe	<1%
31	Trabajos del estudiante	uarm	<1%
32	Trabajos del estudiante	Systems Link	<1%
33	Trabajos del estudiante	Universidad Catolica San Antonio de Murcia	<1%
34	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC	<1%
35	Internet	1library.co	<1%
36	Internet	repositorio.ucp.edu.pe	<1%
37	Internet	repositorio.upao.edu.pe	<1%
38	Trabajos del estudiante	Aliat Universidades	<1%
39	Internet	www.slideshare.net	<1%

40	Internet	patents.google.com	<1%
41	Internet	prezi.com	<1%
42	Publicación	Pocchuanca Aguilar, Roger Oswaldo. "Producción de Cladophora crispata "Ilaska...	<1%
43	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE	<1%
44	Internet	academia-lab.com	<1%
45	Internet	tesis.pucp.edu.pe:8080	<1%
46	Internet	uvadoc.uva.es	<1%
47	Internet	www.scielo.org.ar	<1%
48	Trabajos del estudiante	Universidad Continental	<1%
49	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
50	Internet	es.slideshare.net	<1%
51	Internet	espartaco.azc.uam.mx	<1%
52	Internet	repositorio.puce.edu.ec	<1%
53	Internet	repositorio.unsa.edu.pe	<1%

54	Internet	repository.udistrital.edu.co	<1%
55	Internet	www.repositorio.upla.edu.pe	<1%
56	Internet	www.researchgate.net	<1%
57	Publicación	Delgadillo Ayala, Rick Milton. "Evaluacion de la influencia de los factores ambient...	<1%
58	Publicación	JUAN VICENTE SANTACATALINA BONET. "Contribución al estudio de la aplicación ...	<1%
59	Internet	bolivia.unfpa.org	<1%
60	Internet	cybertesis.uni.edu.pe	<1%
61	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
62	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
63	Internet	repositorio.untrm.edu.pe	<1%
64	Internet	repositorio.uprit.edu.pe	<1%
65	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
66	Internet	www.debetsschalke.com	<1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Mejoramiento de propiedades físico – mecánicas del afirmado de la cantera
Sivingan Bajo utilizando residuos de Polietileno: PET y HDPE, Chota,

2024

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Presentado por:

ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN

Asesor:

DR. ING. EDWAR CIEZA SÁNCHEZ

Chota – Perú

2025



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL – UNACH

1. DATOS DEL AUTOR:

Apellidos y Nombres: DÁVILA RIMARACHÍN ELÍ

Código del alumno: **2020051011**

Correo electrónico: 2020051011@unach.edu.pe

Teléfono: 930451589

DNI: 75927758

2. MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

Tesis

3. TÍTULO PROFESIONAL O GRADO ACADÉMICO:

Bachiller

Licenciado

Título

Magister

Segunda especialidad

Doctor

4. TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

"MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"

5. FACULTAD DE: CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

6. ESCUELA PROFESIONAL DE: INGENIERÍA CIVIL

7. ASESOR:

Apellidos y Nombres: CIEZA SÁNCHEZ EDWAR

Correo electrónico: edwarcs_2014@hotmail.com

Teléfono: 972698285

DNI: 45795431

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Autónoma de Chota publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Digital de Acceso libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNACH, versión digital son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

FIRMA: DÁVILA RIMARACHÍN ELÍ
DNI: 75927758

**MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO –
MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA
SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE
POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024**

POR:

ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN


**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título
de
INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR




Dr. Ing. Luis Alberto Orbegoso Navarro

PRESIDENTE



Mg. Ing. Donald Gorki Collantes Delgado

SECRETARIO



Dra. Ing. Carmen Rosa Cárdenas Rosales

VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 04:00 p.m. del día 12 de agosto 2025, reunidos en la de incuba- segundo piso- local central, los miembros del jurado de tesis que suscriben, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por el Bachiller: **Elí Dávila Rimarachín**, denominada: **“MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024”**; escuchada la sustentación, y absueltas las preguntas a las observaciones formuladas, la declaramos:

CON EL CALIFICATIVO (*)

APROBADO
MENCION HONROSA
15 (QUINCE)

En consecuencia, se le declara **EXPEDITO** para conferirle el Título de Ingeniero civil, elevando la presente acta al coordinador de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería a fin de que se emita el acto resolutivo, en conformidad con la ley universitaria y el estatuto de la Universidad.

Chota, 12 de agosto 2025.



Dr. Luis Alberto Orbegoso Navarro.
PRESIDENTE



Mg. Donald Gorki Collantes Delgado
SECRETARIO



Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
VOCAL



Dr. Edwar Cieza Sánchez
ASESOR

(*) De acuerdo al reglamento específico del proyecto y tesis de investigación de la EPIC, aprobada con Resolución de coordinación N° 141-2020, Artículo 21, cuya calificación es: (20 Summa Cum Laude); (18-19: Aprobado con excelencia); (15-17: Aprobado con mención honrosa); (12-14: Aprobado); (0-11: Desaprobado).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la Tesis denominada: **“MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024”** presentado por el Bachiller: **Elí Dávila Rimarachín**, sustentada el día 12 de agosto 2025, según Resolución N°185-2025-FCI/UNACH, la declaramos **CONFORME**.


Chota, 20 de agosto de 2025.



Dr. Luis Alberto Orbegoso Navarro.
PRESIDENTE



Mg. Donald Gorki Collantes Delgado
SECRETARIO



Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
VOCAL



Dr. Edwar Cieza Sánchez
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, fuente de fortaleza, sabiduría y perseverancia, por iluminar mi camino y darme la capacidad de superar cada desafío y culminar este proyecto.

A mis padres, por su amor incondicional y su apoyo inquebrantable. Gracias por enseñarme, con su ejemplo, que el esfuerzo y la dedicación son la clave para alcanzar cualquier meta. Su sacrificio y confianza en mí han sido mi mayor inspiración.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi familia, cuyo aliento incondicional y confianza en mí fueron el motor que me impulsó en cada etapa de esta investigación. A mi asesor y docentes, por su paciencia, orientación y valiosos aportes que enriquecieron este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Formulación del problema	18
1.2.1. Problema general	18
1.2.2. Problemas específicos.....	18
1.3. Justificación	19
1.4. Objetivos	20
1.4.1. Objetivo general.....	20
1.4.2. Objetivos específicos	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes	21
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales	28
2.1.3. Antecedentes regionales	32
2.2. Bases teórico – científicas	36
2.2.1. Comportamiento del suelo reforzado con fibras.....	36
2.2.2. Teoría de la sostenibilidad y su relación con el uso de plásticos reciclados en la producción de material granular reforzado para carreteras	38
2.3. Marco conceptual	41
2.3.1. Plásticos	41
2.3.2. PET	44
2.3.3. Polietileno de alta densidad HDPE o PEAD	47
2.3.4. Cantera.....	50
2.3.5. Suelo	52
2.3.6. Propiedades físicas del suelo	55
2.3.7. Propiedades mecánicas del suelo.....	57

2.3.8. Requisitos técnicos del material de afirmado	59
2.4. Hipótesis.....	61
2.4.1. Hipótesis general	61
2.4.2. Hipótesis específicas.....	61
2.5. Operacionalización de variables	62
2.5.1. Variable independiente: Residuos de polietileno PET y HDPE.....	62
2.5.2. Variable dependiente: Propiedades físico – mecánicas del afirmado.....	63
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	65
3.1. Tipo y nivel de investigación	65
3.2. Diseño de investigación	66
3.3. Métodos de investigación.....	66
3.4. Población, muestra y muestreo	68
3.4.1. Población	68
3.4.2. Muestreo	68
3.4.3. Muestra	69
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	70
3.5.1. Técnicas de recolección de los datos	70
3.5.2. Instrumentos para la recolección de los datos	70
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	72
3.6.1. Proceso de obtención de los datos	72
3.6.2. Procesamiento de datos.....	90
3.6.3. Análisis de datos	91
3.7. Aspectos éticos	92
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	94
4.1. Descripción de resultados.....	94
4.1.1. Propiedades físicas del material de afirmado con PET y HDPE.....	94
4.1.2. Propiedades mecánicas del material de afirmado con PET y HDPE.....	121
4.1.3. Comparación de las propiedades del material de afirmado con PET y HDPE.	144
4.2. Contrastación de hipótesis.....	156
4.2.1. Hipótesis de la Investigación	156

4.2.2. Análisis descriptivo	156
4.2.3. Criterio de aceptación de la hipótesis	158
4.2.4. Prueba de normalidad y criterios	158
4.2.5. Prueba de correlación de Pearson	160
4.2.6. Análisis ANOVA para diferencia de medias	162
4.2.7. Prueba t-student	163
4.3. Discusión de resultados.....	167
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	174
5.1. Conclusiones	174
5.2. Recomendaciones y/o sugerencias	176
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS	177
CAPÍTULO VII. ANEXOS	187
Anexo A. Matriz de consistencia.....	187
Anexo B. Panel fotográfico	188
Anexo C. Resultado de ensayos de laboratorio	197

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	HDPE: Propiedades Físicas.....	47
Tabla 2	HDPE: Propiedades Químicas	47
Tabla 3	HDPE: Propiedades Mecánicas.....	48
Tabla 4	HDPE: Propiedades Térmicas	48
Tabla 5	Clasificación SUCS.....	53
Tabla 6	Sistema de Clasificación AASHTO	54
Tabla 7	Clasificación según el Índice de Plasticidad	56
Tabla 8	Requisitos Técnicos del Material para Afirmado.....	60
Tabla 9	Matriz de Operacionalización de Variables	64
Tabla 10	Número de Especímenes para Ensayos en Afirmado de Cantera con PET.....	69
Tabla 11	Número de Especímenes para Ensayos en Afirmado de Cantera con HDPE	69
Tabla 12	Fuentes, Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos de Cada Variable... 71	
Tabla 13	Propiedades Físicas del Material de Afirmado con PET.....	95
Tabla 14	Contenido de Humedad del Material de Afirmado con PET	97
Tabla 15	Datos para la Curva Granulométrica para el Huso A del Material de Afirmado con PET	99
Tabla 16	Límite Líquido del Material de Afirmado con PET	102
Tabla 17	Límite Plástico del Material de Afirmado con PET	103
Tabla 18	Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con PET	105
Tabla 19	Propiedades Físicas del Material de Afirmado con HDPE	108
Tabla 20	Contenido de Humedad del Material de Afirmado con HDPE	110
Tabla 21	Datos para la Curva Granulométrica para el Huso A del Material de Afirmado con HDPE	113
Tabla 22	Límite Líquido del Material de Afirmado con HDPE.....	115
Tabla 23	Límite Plástico del Material de Afirmado con HDPE.....	118
Tabla 24	Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con HDPE.....	120
Tabla 25	Propiedades Mecánicas del Material de Afirmado con PET	122
Tabla 26	Compactación del Material de Afirmado con PET	125
Tabla 27	Máxima Densidad Seca del Material de Afirmado con PET	125
Tabla 28	Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con PET	126
Tabla 29	Capacidad de Soporte del Material de Afirmado con PET	127
Tabla 30	CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con PET	127
Tabla 31	CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con PET	128
Tabla 32	CBR al 95% MDS del Material de Afirmado con PET.....	129

Tabla 33	Porcentaje de Desgaste por Abrasión del Material de Afirmado con PET	130
Tabla 34	Propiedades Mecánicas del Material de Afirmado con HDPE	133
Tabla 35	Compactación del Material de Afirmado con HDPE	136
Tabla 36	Máxima Densidad Seca del Material de Afirmado con HDPE	136
Tabla 37	Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con HDPE	137
Tabla 38	Capacidad de Soporte del Material de Afirmado con HDPE	138
Tabla 39	CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con HDPE	139
Tabla 40	CBR al 95% MDS del Material de Afirmado con HDPE	140
Tabla 41	Porcentaje de Desgaste por Abrasión del Material de Afirmado con HDPE	143
Tabla 42	Humedad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	144
Tabla 43	Límite Líquido del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	145
Tabla 44	Límite Plástico del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	147
Tabla 45	Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	148
Tabla 46	Máxima Densidad Seca del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE ...	149
Tabla 47	Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	151
Tabla 48	Desgaste a Abrasión del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	152
Tabla 49	CBR al 95% MDS del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	153
Tabla 50	CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	155
Tabla 51	Propiedades Físico Mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo para el Análisis Estadístico	157
Tabla 52	Correlación de Pearson Calificación	160
Tabla 53	Correlaciones del material de Afirmado de la Cantera Sivingan Bajo con PET	161
Tabla 54	Correlaciones del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo con HDPE	161
Tabla 55	Prueba ANOVA para las Propiedades Físico Mecánicas del Suelo	162
Tabla 56	Prueba t-student para Límite Líquido del Suelo con Adición de Residuos PET y HDPE	164
Tabla 57	Prueba t-student para Índice de Plasticidad del Suelo	164
Tabla 58	Prueba t-student para Porcentaje de Desgaste por Abrasión del Suelo	165
Tabla 59	Prueba t-student para CBR del Suelo	166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Clasificación e Ilustración del Mecanismo de Refuerzo de Fibra del Suelo	36
Figura 2	Representación de una Unidad de Fibra Distribuida Aleatoriamente en: el Suelo.....	37
Figura 3	Diagrama del Desarrollo Sostenible	39
Figura 4	Tipos de Plásticos y como se Reciclan	43
Figura 5	Frasco Típico y Símbolo de Reciclaje PET	45
Figura 6	Ciclo del Plástico	46
Figura 7	Flujograma del Reciclado de Polietileno de Alta Densidad	49
Figura 8	Cantera a Cielo Abierto	50
Figura 9	Tipos de Canteras	51
Figura 10	Huso Granulométrico del Afirmado A-1	60
Figura 11	Diseño de Investigación.....	67
Figura 12	Ubicación de la Cantera de Afirmado Sivingan Bajo ubicada en el Distrito de Chota, Cajamarca.....	68
Figura 13	Flujograma del Proceso de Obtención de Datos	73
Figura 14	Proceso de Obtención del plástico HDPE y PET.....	77
Figura 15	Proceso de Limpieza del plástico HDPE y PET	77
Figura 16	Cantera Sivingan Bajo	80
Figura 17	Muestreo de Suelo de Afirmado en la Cantera Sivingan Bajo	80
Figura 18	Realización del Ensayo de Contenido de Humedad	83
Figura 19	Realización del Ensayo de Análisis Granulométrico: 100% Material de Cantera.....	84
Figura 20	Realización del Ensayo de Análisis Granulométrico: 95% Material de Cantera y 5% HDPE	84
Figura 21	Realización del Ensayo de Límites de Consistencia: 100% Material de Cantera – Límite Líquido	85
Figura 22	Realización del Ensayo de Límites de Consistencia: 100% Material de Cantera - Límite Plástico	86
Figura 23	Realización del Ensayo de Proctor modificado	87
Figura 24	Realización del Ensayo de CBR de Laboratorio – 56 Golpes	88
Figura 25	Realización del Ensayo de Abrasión Los Ángeles	89
Figura 26	Límite Líquido del Material de Afirmado con PET	96
Figura 27	Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con PET.....	96
Figura 28	Humedad del Material de Afirmado con PET	97
Figura 29	Curva Granulométrica para el Huso A del Material de Afirmado con PET	100
Figura 30	Curva de Fluidez del Material de Afirmado con PET	102
Figura 31	Límite Líquido del Material de Afirmado con PET	102

Figura 32 Límite Plástico del Material de Afirmado con PET	104
Figura 33 Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con PET.....	106
Figura 34 Límite Líquido del Material de Afirmado con HDPE	109
Figura 35 Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con HDPE	109
Figura 36 Humedad del Material de Afirmado con HDPE.....	111
Figura 37 Curva Granulométrica para el Huso A del Material de Afirmado con HDPE.....	114
Figura 38 Curva de Fluidez del Material de Afirmado con HDPE	116
Figura 39 Límite Líquido del Material de Afirmado con HDPE	116
Figura 40 Límite Plástico del Material de Afirmado con HDPE	118
Figura 41 Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con HDPE	120
Figura 42 CBR del Material de Afirmado con PET.....	123
Figura 43 Desgaste del Material de Afirmado con PET	123
Figura 44 Curva de Compactación del Material de Afirmado con PET	125
Figura 45 Máxima Densidad Seca del Material de Afirmado con PET	126
Figura 46 Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con PET.....	126
Figura 47 CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con PET	128
Figura 48 CBR al 95% MDS del Material de Afirmado con PET	129
Figura 49 Desgaste por Abrasión del Material de Afirmado con PET	131
Figura 50 CBR del Material de Afirmado con HDPE	134
Figura 51 Desgaste del Material de Afirmado con HDPE	134
Figura 52 Curva de Compactación del Material de Afirmado con HDPE.....	136
Figura 53 Máxima Densidad Seca del Material de Afirmado con HDPE.....	137
Figura 54 Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con HDPE	137
Figura 55 CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con HDPE.....	140
Figura 56 CBR al 95% MDS del Material de Afirmado con HDPE.....	141
Figura 57 Desgaste por Abrasión del Material de Afirmado con HDPE	143
Figura 58 Humedad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	144
Figura 59 Límite Líquido del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE.....	146
Figura 60 Límite Plástico del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE.....	147
Figura 61 Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE.....	148
Figura 62 Máxima Densidad Seca del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE..	150
Figura 63 Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	151
Figura 64 Desgaste a Abrasión del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	153
Figura 65 CBR al 95% MDS del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	154
Figura 66 CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE	155

Figura 67 Prueba de Normalidad para las Propiedades del Material de Afirmado de la Cantera Sivingan Bajo con PET	159
Figura 68 Prueba de Normalidad para las Propiedades del Material de Afirmado de la Cantera Sivingan Bajo con HDPE.....	159

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adición de residuos de polietileno (PET y HDPE) en la mejora de las propiedades físico-mecánicas del afirmado de la cantera Sivingan Bajo, Chota. Se realizaron ensayos de granulometría, límites de consistencia, compactación (Proctor modificado), CBR y desgaste Los Ángeles con adiciones de 0%, 5% y 10% de PET y HDPE. Los resultados indican que el HDPE reduce más la plasticidad, alcanzando un índice de plasticidad de 6.77% con 10% de adición, mientras que el PET solo llega a 9.84%. En términos de capacidad de soporte, el HDPE con 5% de adición logra un CBR del 46.91%, superior al 43.78% obtenido con PET. Además, el desgaste por abrasión se reduce significativamente en ambos casos, siendo más efectivo el HDPE. Se concluye que el HDPE es la mejor opción para mejorar la estabilidad y resistencia del afirmado, debido a que mejora su comportamiento mecánico para aplicaciones en infraestructura vial.

Palabras clave: afirmado, PET, HDPE, capacidad de soporte, plasticidad.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of adding polyethylene waste (PET and HDPE) on improving the physical and mechanical properties of the pavement at the Sivingan Bajo quarry in Chota. Tests were carried out on particle size, consistency limits, compaction (modified Proctor), CBR, and Los Angeles abrasion with additions of 0%, 5%, and 10% PET and HDPE. The results indicate that HDPE reduces plasticity more, reaching a plasticity index of 6.77% with a 10% addition, while PET only reaches 9.84%. In terms of bearing capacity, HDPE with a 5% addition achieves a CBR of 46.91%, higher than the 43.78% obtained with PET. In addition, abrasion wear is significantly reduced in both cases, with HDPE being more effective. It is concluded that HDPE is the best option for improving the stability and strength of the pavement, as it improves its mechanical performance for road infrastructure applications.

Key words: pavement, PET, HDPE, bearing capacity, plasticity.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Muchas veces los materiales de cantera por sí solos no cumplen con los requisitos técnicos para su uso como afirmado de carreteras, y requieren ser mezclados con otros materiales (Hartman & Williams, 2024). Paralelamente, el manejo inadecuado de residuos plásticos, como el polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno tereftalato (PET) ha ocasionado la acumulación de millones de toneladas de plástico en ecosistemas terrestres y marinos (Pilapitiya & Ratnayake, 2024). No obstante, estos materiales poseen propiedades físicas y mecánicas que podrían mejorar la capacidad de soporte del material de afirmado, lo que abre la posibilidad de su aprovechamiento (Azam et al., 2024). Mientras que, el PET es reconocido por su alta firmeza y dureza (Dandin et al., 2024), el HDPE se destaca por su alta densidad y resistencia a impactos y productos químicos (Karakı et al., 2024). Siendo así, hay una oportunidad única para investigar el potencial del uso de plásticos triturados como una solución para mejorar las propiedades del afirmado de cantera (Kumar et al., 2024), pero a pesar de su potencial, aún hay pocas investigaciones que evalúen comparativamente el PET y HDPE triturado en el afirmado, lo que limita la comprensión de sus beneficios y su uso en la mejora del afirmado de cantera (Suthar et al., 2024).

A nivel nacional, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014) especifica los lineamientos técnicos que debe efectuar un material de afirmado para carreteras, y a la vez también rige la combinación granulométrica de varias canteras cuando no cumplen con los requisitos normados. Sin embargo, la extracción de material de cantera es un proceso que genera un gran impacto

ambiental, y al requerir la extracción no solo de una cantera sino de varias para conseguir el material de afirmado idóneo, se incrementaría este impacto, trayendo consigo un serio problema de sostenibilidad ambiental (Aguilar-Condori, 2024). Frente a ello, la combinación del material de cantera con otro tipo de material residual se presenta como una solución innovadora (Castro, 2024).

A nivel local, la Municipalidad Provincial de Chota (MPCH, 2018) ha manifestado su inquietud por el creciente aumento de los residuos plásticos. Del total de residuos sólidos (0.355 kg de residuos por habitante y 6,838.7 kg diarios a nivel de predio) que se producen en la ciudad de Chota, el 2.5% corresponde a plásticos duros, el 1.81% a plástico PET, el 0.43% a tetra packs de HDPE, el 6.95% a bolsas de LDPE, y el 1.57% a otros tipos de plásticos (MPCH, 2018). En este contexto, resulta conveniente la reutilización de estos residuos en la industria de la construcción, con el objetivo de prolongar su vida útil. Suthar et al. (2024) proponen, por ejemplo, el uso de residuos plásticos en el afirmado para perfeccionar sus propiedades físico-mecánicas. Sin embargo, es sustancial tener en cuenta la variabilidad de las características del afirmado en función de las condiciones locales y el origen del suelo y/o rocas, por lo que cada estudio de mejoramiento y/o estabilización debe centrarse en un contexto específico.

En Chota, las canteras de material granular utilizadas en el afirmado de carreteras generalmente si bien cumplen con la capacidad de soporte (CBR), no están logrando cumplir otras propiedades importantes como el índice de plasticidad, la expansión, la abrasión y/o la granulometría (Ticlla, 2021). De allí, la importancia de mejorar las características físico mecánicas del material de cantera ubicada en la comunidad de Sivingan Bajo con el uso de residuos plásticos para lograr que este cumpla con las necesidades de un material de afirmado. Así,

como lo argumentó Tamay (2022) que logró incrementar notablemente las propiedades de la cantera Chuyabamba al mezclarlo con residuos PET triturados, sin embargo, a pesar del notable incremento este no fue suficiente para adquirir la capacidad de soporte (CBR) de una base granular, por lo que, el autor recomendó que en futuras investigaciones se analicen otro tipo de plásticos (HDPE), siendo este aspecto el que, ha sido tomado en cuenta para plantear el presente estudio.

El afirmado de la cantera Sivingan Bajo ubicada a las afueras de la ciudad de Chota, específicamente en la comunidad de Sivingan Bajo, es utilizado actualmente como material de afirmado para la conformación de la capa de rodadura no pavimentada de las carreteras de tercera clase que conectan a distintas comunidades del oeste de Chota con la comunidad de Sivingan Bajo, tal como, la carretera Chota – Túnel Conchano de las progresivas Km 4+000 al Km 10+000, por administración directa por parte del área de mantenimiento vial de la Municipalidad Provincial de Chota; pero considerando que, según explica Roimer Rojas Nuñez encargado de esta área municipal, para este mantenimiento solo se requieren fichas de inversión y no expediente técnico, no se ha realizado una evaluación técnica del material de afirmado de esta cantera, siendo así se desconoce si este afirmado llega a cumplir con los requisitos de un material de afirmado especificados por el MTC (2014). Asimismo, estudios anteriores en vías cercanas, como el de Idrogo (2022) han demostrado que, la capacidad de soporte de estas vías es menor a 6% de CBR, y, por ende, requieren un material granular de alta capacidad de soporte, es decir materiales de afirmado de cantera con capacidad de soporte superior a 40%, pero tal como se ha demostrado en investigaciones anteriores (Ticlla, 2021) en otras canteras del ámbito local, el material de afirmado no logra superar el CBR de 40%. Es decir, el material de

afirmado que se utilice en estas canteras debería tener el mayor CBR posible para que contribuya al aumento del módulo de reacción de la subrasante de estas carreteras, y esto se puede lograr mediante el mejoramiento del afirmado de la cantera con el uso de residuos plásticos.

Por tanto, el uso de PET y HDPE triturado en el afirmado de cantera representa una solución prometedora para mejorar las propiedades del afirmado mientras se gestionan los residuos plásticos de manera sostenible. Cada tipo de plástico triturado aporta propiedades únicas que pueden ser aprovechadas según las necesidades específicas de la aplicación. Pero, la selección del tipo de plástico adecuado debe basarse en un equilibrio entre las propiedades físicas, tales como: granulometría, límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP), y las propiedades mecánicas, tales como, capacidad de soporte (CBR) y compactación por Proctor ajustado para establecer la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo, correspondientes al afirmado mejorado. Siendo este aspecto el que, se busca resolver con la presente investigación mediante la comparación del uso de estos dos tipos de plástico triturado en el afirmado de la cantera Sivingan Bajo del distrito de Chota.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Mejorarán las propiedades físicas y mecánicas del afirmado de la cantera Sivingan Bajo, utilizando diferentes dosis de polietileno triturado: PET y HDPE?

1.2.2. Problemas específicos

– ¿Mejorarán las propiedades físicas: (LL) y (LP) del afirmado de la cantera Sivingan Bajo utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado

con tamaño máximo nominal de 3/8" por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE)?

- ¿Mejorarán las propiedades mecánicas: Proctor modificado y CBR de laboratorio del afirmado de la cantera Sivingan Bajo utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8" por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE)?
- ¿Cuál es el tipo de polietileno (PET o HDPE) que logra menor índice de plasticidad y mayor aforo de soporte (CBR) al ser utilizado para mejorar las propiedades del afirmado de la cantera Sivingan Bajo en Chota?

1.3. Justificación

La investigación busca mejorar las propiedades físico-mecánicas del afirmado en la cantera Sivingan Bajo mediante la incorporación de residuos plásticos reciclados, específicamente PET y HDPE. Este estudio aborda tanto la necesidad de fortalecer la calidad del afirmado, esencial para la infraestructura vial, como la gestión sostenible de los residuos plásticos, cuya acumulación representa un desafío ambiental. La aplicación de estos materiales reciclados permite evaluar su efecto en parámetros clave como la granulometría, los límites de consistencia, la densidad máxima y el CBR, lo que contribuye a entender su comportamiento en el mejoramiento de suelos.

Además, este estudio proporciona datos empíricos que pueden ser utilizados en otras regiones con condiciones geológicas y climáticas similares, facilitando la aplicación de nuevas estrategias en la construcción y mantenimiento de vías. Desde una perspectiva ambiental, la integración de plásticos reciclados en la infraestructura vial no solo reduce la contaminación, sino que también

fomenta prácticas sostenibles en la ingeniería civil. Este enfoque puede servir como base para la formulación de políticas públicas que promuevan el uso de materiales reciclados en proyectos de infraestructura, estableciendo un modelo para la gestión responsable de residuos y la construcción sostenible.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Mejorar las propiedades físico – mecánicas del afirmado de la cantera Sivingan Bajo utilizando residuos de Polietileno: PET y HDPE, Chota, 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- Mejorar las propiedades físicas: límite líquido y límite plástico del afirmado de la cantera Sivingan Bajo utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8” por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE).
- Mejorar las propiedades mecánicas: Proctor modificado y CBR de laboratorio del afirmado de la cantera Sivingan Bajo utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8” por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE).
- Determinar el tipo de polietileno (PET o HDPE) que logra menor índice de plasticidad y mayor capacidad de soporte (CBR) al ser utilizado para mejorar las propiedades del afirmado de la cantera Sivingan Bajo en Chota.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Tabassum & Bheemasetti (2024) en su artículo científico “Efectos de la geometría y las formas de los plásticos reciclados sobre las propiedades de resistencia de los suelos limosos” tuvieron como objetivo analizar el uso de plásticos reciclados de HDPE con variaciones en sus formas, tamaños, contenido de dosificación (1%, 2%, 4%, 8% y 12% en peso seco del suelo) y contenido de cemento (9%, 12% y 15% en peso seco del suelo) para mejorar los tipos de resistencia-deformación de los limos de alto plástico. Los efectos de las pruebas mostraron que la inclusión de 4% de copos de plásticos triturados con 9% de contenido de cemento aumentó la resistencia del afirmado hasta un 193% más que el afirmado de control. Los resultados también mostraron que el índice de ductilidad de las muestras con 15% de cemento aumentó de 6 a 7.5 a medida que el contenido de hojuelas de remolido aumentó de 4% a 12%. Concluyeron que, la inclusión de plásticos reciclados de HDPE en combinación con cemento mejora significativamente la resistencia y ductilidad de los suelos limosos, sobre todo si se utiliza porcentajes de 4% a 8% de HDPE.

Hyder & Altaf (2024) en su investigación “La construcción de carreteras con plástico: un avance reciente en la gestión de residuos” tuvieron como objetivo utilizar los residuos plásticos de la India como aditivo en las superficies de las carreteras. Utilizaron polietileno LDPE y HDPE, así como polipropileno en porcentajes de 0%, 1%, 2%, 3%, 8% y 10%. Obtuvieron como resultado que, debido al revestimiento plástico, la gravedad específica del árido aumenta de 2.45

para el espécimen de control a 2.6 para PP8 y 2.78 g/cm³ para PP10 (proporción). Para PP8 y PP10, el valor de desprendimiento fue cero, por debajo del 8% del espécimen de control; esto demuestra que los áridos revestidos funcionan mejor que los áridos simples en la construcción bituminosa. La absorción de agua de PP8 y PP10 también es cero, frente al 1.7% del espécimen de control. En cuanto a la abrasión, se descubrió que el valor del espécimen de control era del 13.42%. En el caso del PP8, el recubrimiento de polímero sobre el árido mejoró el valor de abrasión en un 19.97%, y en el caso del PP10, aumentó en un 29.88%. Concluyeron que, los áridos mezclados con plástico son más resistentes que los áridos convencionales.

Carlos et al. (2024) en su investigación “Evaluación de la resistencia a la penetración de suelos reforzados con geo sintéticos mediante ensayos CBR” tuvieron como objetivo analizar el mejoramiento del CBR del suelo con geo sintéticos. Utilizaron dos tipos de suelos: suelo 1, un suelo residual de granito; suelo 2, un suelo fino (de una salina en la laguna de Aveiro, Portugal), según SUCS el suelo 1 es SW-SM, arena bien graduada con limo, o A-2, respectivamente, y el suelo 2 es ML, limo arenoso, o A-4, respectivamente. Utilizaron tres geo sintéticos: geomalla (GGR), compuesta por hilos de poliéster (PET) de alta tenacidad cubiertos con un revestimiento polimérico negro tejido en una estructura de rejilla (aberturas de 25 mm × 25 mm); geo compuesto de refuerzo (GCR), geo compuesto uniaxial compuesto por fibras de PET de alto módulo unidas a un soporte geotextil no tejido de filamento continuo; geotextil (GTX), compuesto por filamentos continuos de polipropileno (PP) termosellados. La repetibilidad de los valores CBR se encontró adecuada, con solo pequeñas diferencias, mayores para el suelo 1 (S1) que para el suelo 2 (S2): para S1 = 11.5%

CBR 2.5 varió entre 22.1% y 21.4% y CBR 5.0 varió entre 25.1% y 24.7%; para S2 = 11.9% CBR 2.5 varió entre 9.5% y 9.7% y CBR 5.0 varió entre 10.0% y 10.1%. Obtuvieron como resultado que, el uso de una capa de GGR produjo un aumento del CBR 2.5 entre el 10.6% (suelo 1) y el 49.2% (suelo 2), el correspondiente aumento de la fuerza de penetración máxima, F_{max} , osciló entre el 26.7% (suelo 1) y el 42.8% (suelo 2). Concluyeron que, las soluciones de refuerzo (geo sintético, número de capas de refuerzo) tuvieron un impacto significativo en las respuestas de carga-penetración medidas.

Ali et al. (2024) en su investigación “Rigidez y resistencia de una arcilla reforzada con residuos de PET triturados cementada artificialmente” tuvieron como objetivo explorar si los fragmentos de botellas de tereftalato de polietileno (PETBS) podrían ser un aditivo alternativo viable para reducir el uso de cemento tradicional en proyectos de transporte. Para ello estabilizaron el suelo arcilloso con cantidades variables (0.1-1 % de masa sólida) de PETBS de dos rangos de tamaño diferentes; eligieron las dosis óptimas, seguidas de pruebas adicionales que incorporaron pequeñas cantidades de mejora del cemento (5, 7 y 10% de masa sólida); después de períodos de curado de 7 y 28 días, los efectos de los ensayos de CBR y de velocidad de pulso ultrasónico (UPV) revelaron que la adición de PETBS mejoró los valores de CBR y el módulo de corte inicial (G_0) tanto en muestras simples como tratadas con cemento. Obtuvieron como resultados que el PETBS de tamaño 2–4.75 mm exhibió un rendimiento superior en comparación con el tamaño 0.42–0.841 mm, con un rango de contenido óptimo de 0.6–0.8%. Concluyeron que la adición de PETBS al suelo cementado artificialmente mejoró los valores de CBR hasta en un 35%, al mismo tiempo que modificó la rigidez y la fragilidad, volviendo el suelo más dúctil.

Khalid & Alshawmar (2024) en su estudio “Revisión integral de las propiedades de ingeniería geotécnica de fibras y tiras de tereftalato de polietileno reciclado para la estabilización del suelo” tuvieron como objetivo analizar bibliografía del uso de PET para perfeccionar las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Para ello analizaron, diversos estudios de investigación sobre la adición de fibras de PET para la estabilización del suelo. Obtuvieron como resultado que la adición de fibras de PET reciclado hasta un 2% y un 0.5% tiene un efecto positivo en la conductividad hidráulica y el módulo de resiliencia de los suelos arcillosos, lo que lleva a un aumento de sus valores. Además, muchos investigadores han examinado la influencia del aumento del contenido de PET reciclado en el valor CBR. Concluyeron que, el valor del CBR aumenta gradualmente con la adición de fibras de PET hasta un 1.2% y tiras hasta un 4% con una relación de aspecto de 3. Más allá de este óptimo, el valor CBR comienza a disminuir.

Suthar et al. (2024) en su investigación “Aprovechamiento de residuos plásticos en el refuerzo de suelos arenosos para aplicaciones de ingeniería sostenible” tuvieron como objetivo utilizar PET triturado para mejorar las propiedades del suelo arenoso. La arena se reforzó con porcentajes variables de escamas de desechos de plástico PET, a saber, 5, 10 y 15 %, con respecto al peso de la muestra de suelo. Obtuvieron como resultado que el espécimen de arena sin reforzar y el espécimen compuesto de arena y residuos plásticos PET reforzado con un 5% de residuos plásticos PET tienen valores CBR similares de 6.3 %. Asimismo, observaron un aumento del 15.5% en el valor CBR para la adición del 10% en peso de escamas de plástico PET en el suelo, pero cuando se agregó 15% de plástico el CBR disminuyó notablemente, por lo que, el porcentaje óptimo de

plástico triturado PET resultó ser 10% en peso del suelo. Concluyeron que, la inclusión de escamas de plástico PET mejoró varias propiedades del suelo, como la firmeza al corte y el ángulo de fricción; también mejoró el valor CBR del compuesto, haciéndolo adecuado para la construcción de pavimentos.

Karami et al. (2024) en su estudio “Efecto del tereftalato de polietileno estratificado (Geopet) para reforzar arena estabilizada con cenizas volantes” tuvo como objetivo examinar la reutilización de plástico y cenizas volantes (FA) para mejorar el suelo y alcanzar objetivos de desarrollo sostenible. Para ello, la arena del puerto de Anzali se reforzó con Geopet (GP) y se estabilizó con FA más 3% de hidróxido de sodio. Obtuvieron como resultado que la mejora en el CBR óptimo fue del 174.9%; la resistencia a compresión no confinada (UCS) aumentó un 15.25% y un 48.65% en el suelo reforzado con tres capas de GP más 15% de FA sobre aquellos que contenían 10% y 5% de FA, respectivamente. Además, el análisis actual utilizó la metodología de superficie de respuesta (RSM) para investigar el impacto del porcentaje de FA, las capas de GP y su interacción en el CBR. Los resultados resaltan la eficacia del modelo RSM utilizado, como lo demuestra el valor p significativamente bajo (<0.0001). Concluyeron que la combinación de GP y FA representa una alternativa efectiva para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, particularmente en términos de capacidad de soporte y resistencia a la compresión.

Shah & Thaker (2024) en su investigación “Utilización de botellas de agua de plástico usadas como aditivo para mejorar la capa superficial del suelo”, tuvieron como objetivo analizar el impacto del contenido y tamaño de los residuos plásticos en las propiedades mecánicas de la subrasante del suelo estabilizado mediante pruebas de compactación estándar, relación CBR, relación de expansión

y módulo resiliente. Para ello, variaron el contenido de residuos plásticos en proporciones de 0%, 0.2%, 0.4%, 0.8% y 1% respecto al peso del suelo seco, empleando dos tamaños distintos de tiras plásticas con relaciones de aspecto de 2 y 4. Obtuvieron como resultado que la mezcla óptima se obtuvo con un 0.4% de contenido de plástico y tiras de 5 mm de ancho por 10 mm de largo, evidenciando una mejora significativa en las propiedades de resistencia del suelo. Concluyeron que la adición de residuos plásticos contribuye de manera efectiva a mejorar el comportamiento de la subrasante en condiciones extremas, además de representar una alternativa sostenible para reducir el impacto ambiental de las botellas plásticas desechadas, mitigando sus efectos nocivos en los organismos vivos y el ecosistema.

Sabih & Al-Ameri (2024) en su investigación “Mejora de la capacidad de soporte del suelo arcilloso utilizando residuos de botellas de plástico”, tuvieron como objetivo evaluar el efecto del uso de residuos plásticos como material de mejora en suelos arcillosos. Para ello, realizaron dos tipos de ensayos: en primer lugar, se llevó a cabo la medición de la firmeza al corte no drenado (cohesión) en suelos con y sin mejora, adicionando plástico en proporciones del 0.5%, 1%, 1.5% y 2%. En la segunda fase, se aplicó una modelización física y una prueba CBR utilizando un 2% de plástico, determinado como el porcentaje óptimo en la investigación. Obtuvieron como resultado que la incorporación del 2% de plástico mejoró significativamente la capacidad portante del afirmado frente a la subsidencia, reflejándose en un incremento de la tensión de 405 kPa a 459 kPa al 10% de subsidencia. Concluyeron que el uso de residuos plásticos en suelos arcillosos puede ser una alternativa viable para mejorar su resistencia y

estabilidad, promoviendo al mismo tiempo la reutilización de materiales plásticos en aplicaciones geotécnicas.

Canaria e Iván (2020) en su tesis “Estudio de estabilización de material para la conformación de afirmado en terraplenes del municipio de La Primavera – Vichada, mediante la adición de polímeros sintéticos ecológicos”, tuvieron como objetivo mejorar las propiedades del material de afirmado extraído de la cantera Matiyure mediante la incorporación de polímeros sintéticos Nano Track. Para ello, realizaron un análisis de la granulometría, plasticidad y capacidad de soporte del material, comparando su comportamiento en estado natural con el obtenido tras la adición del estabilizante. Obtuvieron como resultado que el material en su estado natural no cumple con los estándares de la normativa INVIAS 2013, ya que los porcentajes de gravas y finos se encuentran fuera de los rangos permitidos. Además, aunque los valores de límite líquido e índice de plasticidad pueden llegar al mínimo exigido, la CBR del material compactado al 100% de su máxima densidad seca (MDS) es de solo 5.97%, cuando la norma exige al menos un 15%. Tras la aplicación del estabilizante y la evaluación del CBR en condiciones de inmersión, se observó que una dosificación de 1.2 litros por metro cúbico mejoró esta propiedad en un 44%, alcanzando un valor de 12.19% para el 100% MDS. Concluyeron que, si bien la adición de polímeros sintéticos Nano Track mejora significativamente la capacidad de soporte del material, esta no es suficiente para cumplir con los valores mínimos exigidos por la normativa. Por lo tanto, se podría analizar la combinación de este estabilizante con otros materiales o técnicas complementarias para lograr un afirmado que cumpla con los estándares requeridos para su aplicación en terraplenes.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Mogollon (2024) en su tesis “Incorporación de partículas de plástico reciclado (PET) para mejorar propiedades en bases granulares para pavimentos de caminos de bajo tránsito” tuvo como objetivo evaluar la incorporación de PET en el afirmado proveniente de la cantera La Obrilla y determinar si su adición mejora las propiedades físicas y mecánicas de las bases granulares utilizadas en pavimentos de caminos de bajo tránsito. Para ello, se realizó un análisis del suelo natural, el cual evidenció que no cumple con los requerimientos mínimos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), como se obtuvo un CBR del 70% para una máxima densidad seca (MDS) al 100%, mejoró sus propiedades mediante la adición de PET triturado en partículas de 2 mm, incorporándolo en tres dosificaciones distintas: 2%, 4% y 6% respecto al peso total del afirmado; en total, se llevaron a cabo 25 ensayos para evaluar su comportamiento. Obtuvo como resultado que la adición de 4% de PET respecto al peso seco del suelo natural mejoró el CBR en condiciones de máxima compactación, identificándose esta dosificación como la más adecuada. Concluyó que la incorporación de PET influye positivamente en diversas propiedades de los materiales granulares utilizados en bases y subbases de caminos de bajo tránsito, contribuyendo a la mejora de su desempeño mecánico y promoviendo el uso sostenible de residuos plásticos en la infraestructura vial.

Castro (2024) en su tesis “Influencia de organosilanos en las propiedades del afirmado de la cantera Roque - Jicamarca Anexo 22 – Lima – 2023” tuvo como objetivo examinar el impacto de los organosilanos en las características del afirmado proveniente de la cantera Roque. Para ello, se analizaron diversas propiedades del material a través de ensayos como el Análisis Granulométrico,

Límite de Consistencia, clasificación del suelo, CBR, abrasión de Los Ángeles, Proctor modificado, y determinación del contenido de sulfatos y sales solubles en el suelo. Obtuvieron como resultado que, en la evaluación de los límites de consistencia, el Índice Plástico se redujo en 0.70%, 1.5% y 2.80% en comparación con la muestra de referencia, al aplicar concentraciones de 1%, 1.25% y 1.50% de organosilanos, respectivamente. En cuanto a la máxima densidad seca, se observó un leve incremento en relación con la muestra patrón (2.267 g/cm³), alcanzando valores de 2.274 g/cm³, 2.283 g/cm³ y 2.292 g/cm³ para las muestras tratadas con 1 l/m³, 1.25 l/m³ y 1.50 l/m³ de organosilano, respectivamente. Asimismo, el análisis del porcentaje de sales solubles indicó un ligero aumento en comparación con la muestra de referencia (0.809%), registrando valores de 1.12%, 1.38% y 1.48% para las concentraciones de 1 l/m³, 1.25 l/m³ y 1.50 l/m³ de organosilano, respectivamente. Finalmente, en la evaluación del CBR, se evidenció un incremento del 5%, 17% y 25% al 95% del CBR y del 11%, 19% y 27% al 100% del CBR, en relación con la muestra patrón, para las mismas concentraciones de organosilanos. Concluyeron que la aplicación de organosilanos en el afirmado de la cantera Roque mejora significativamente algunas de sus propiedades mecánicas y de durabilidad.

Mendoza & Perez (2023) en su tesis “Influencia del afirmado de cantera en la subbase del proyecto de pavimentación del Jr. Arica, Chíncha 2022”, tuvieron como objetivo determinar las características físico-mecánicas del afirmado de la cantera Giorfino para su uso como subbase granular en un proyecto de pavimentación en Chíncha. Para ello, realizaron un análisis granulométrico del material, identificándolo como un afirmado de grava bien graduada con limo y arena, con un coeficiente de uniformidad del 70%. Además, llevaron a cabo

ensayos de límite líquido, plasticidad, abrasión de Los Ángeles y capacidad de soporte (CBR), a fin de evaluar su idoneidad estructural. Obtuvieron como resultados que el material posee un límite líquido de 12.9% y se clasifica como no plástico, lo que lo hace no expansivo y adecuado para su uso en subbases. Asimismo, el ensayo de abrasión arrojó un desgaste del 18.7%, cumpliendo con los requisitos de resistencia establecidos. En cuanto a la capacidad de soporte, el CBR obtenido en la muestra de la cantera fue de 98.1% y en la muestra tomada de la obra Jr. Arica alcanzó el 100.6%, ambos valores superiores al mínimo requerido del 40%, según las normas MTC E132, ASTM D1883 y AASHTO T193. Concluyeron que el afirmado de la cantera Giorfino posee características físico-mecánicas adecuadas para su uso como subbase granular en el proyecto de pavimentación del Jr. Arica en Chincha, ya que cumple con los estándares técnicos exigidos y proporciona una estructura estable y resistente para la infraestructura vial.

Cueva & Alvarez (2023) en su tesis “Propuesta para la estabilización de la subrasante en suelos arcillosos con el uso de plástico molido reciclado para carreteras en la zona de Lurín - Lima”, tuvo como objetivo evaluar la incorporación de plástico molido en el refuerzo de terrenos inestables, una problemática presente en diversas carreteras, principalmente en el norte y sur del Perú, así como en parte de la sierra central. Para ello, se agregó polipropileno triturado, obtenido a través de un proceso de reciclaje llevado a cabo por los investigadores. En el análisis de laboratorio, se utilizó un 4% de plástico en relación con el peso del suelo seco. Obtuvieron como resultados que el material presenta un límite líquido de 12.9% y es clasificado como no plástico, lo que lo hace no expansivo y adecuado para su uso en subbases. En cuanto a la resistencia

al desgaste, el ensayo de abrasión arrojó un valor de 18.7%, cumpliendo con los estándares establecidos. Asimismo, la capacidad de soporte del afirmado resultó ser óptima, con un CBR de 98.1% en la muestra tomada de la cantera y de 100.6% en la muestra obtenida en la obra, ambos valores superiores al mínimo requerido del 40%, según las normas MTC E132, ASTM D1883 y AASHTO T193. Concluyeron que el uso de plástico reciclado molido en suelos arcillosos genera un ligero incremento en el CBR.

Pantigozo (2023) en su tesis “Mejoramiento de la capacidad de soporte (CBR) de suelos grava arcillosas con polímeros y cemento para uso como afirmado en carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito” tuvo como objetivo evaluar una propuesta de estabilización de suelo tipo afirmado mediante la mejora de las propiedades del material extraído de la cantera Alcamenca, ubicada en la provincia de Víctor Fajardo. Para ello, se emplearon tres tipos de polímeros químicos: poliacrilamida aniónica, polímero acrílico de estireno reticulado y un homopolímero no tóxico, combinados con diferentes porcentajes de cemento; prepararon cuatro muestras de suelo estabilizado para cada polímero, utilizando la dosificación recomendada por el fabricante y adicionando cemento en proporciones del 0.5%, 1%, 1.5% y 2%. La evaluación se realizó a través del ensayo CBR. Obtuvieron como resultados que las muestras tratadas con los polímeros cumplen con los parámetros mínimos establecidos por el MTC ($CBR \geq 100\%$). Concluyó que solo es necesario agregar un 0.5% de cemento, ya que se obtuvieron valores de CBR de 163%, 133% y 151%, lo que demuestra una mejora significativa en la capacidad de soporte del suelo.

2.1.3. Antecedentes regionales

Tamay (2022) en su tesis “Análisis de las propiedades físico-mecánicas de una base granular tratada con adición de PET reciclado triturado, Cantera Chuyabamba, Chota, 2021”, tuvo como objetivo analizar las propiedades físico-mecánicas de una base granular mejorada mediante la adición de PET reciclado triturado, utilizando material de la cantera Chuyabamba. Para ello, llevó a cabo una investigación experimental en la que comparó dos tipos de muestras: una base granular natural proveniente de la cantera Chuyabamba y otra tratada con PET reciclado triturado. Se recolectaron botellas plásticas de botaderos en la ciudad de Chota, las cuales fueron lavadas, secadas y trituradas hasta alcanzar un diámetro de 2.00 mm. Luego, el material obtenido se incorporó a la base granular en proporciones de 0%, 10%, 20% y 30% en relación con el peso del afirmado natural. Obtuvo como resultado que el material de la cantera Chuyabamba no cumple con los requisitos técnicos establecidos por el MTC (2014) para su uso como base granular. No obstante, al incorporar PET reciclado en los porcentajes mencionados, se evidenció una mejora en las propiedades mecánicas de la mezcla. El CBR al 100% de la máxima densidad seca se incrementó a 76.80%, 78.20% y 77.60% para las muestras con 10%, 20% y 30% de PET, respectivamente, aunque estos valores aún quedaron ligeramente por debajo del mínimo exigido por la normativa del MTC (2014), con una diferencia reducida de solo 1.80%. Concluyó que la base granular tratada con un 20% de PET reciclado triturado mostró un mejor desempeño mecánico en comparación con la base granular natural, lo que la convierte en una alternativa viable y sostenible para la construcción y rehabilitación de carreteras en la región. Además, su implementación permitiría

reducir hasta en un 90% la cantidad de residuos plásticos en los botaderos y calles de Chota.

Mora et al. (2023) en su artículo científico “Influencia del polietileno tereftalato (PET) en el CBR de subrasantes tipo A-6 en la vía Mochenta-San Nicolás, Jaén”, tuvieron como objetivo evaluar el impacto del PET en la CBR de la subrasante tipo A-6 en la vía Mochenta-San Nicolás. Para ello, emplearon un enfoque deductivo basado en ensayos de laboratorio realizados en muestras de suelo tanto en su estado natural como con diferentes porcentajes de adición de PET. Se analizaron muestras con proporciones de 1.50%, 3.00% y 6.00% de PET, comparando su comportamiento con el suelo sin modificar. Obtuvieron como resultado que el suelo analizado corresponde a arcillas inorgánicas de mediana a baja plasticidad, clasificadas como tipo A-6, con un CBR inicial de 3.83% a 0.1” al 95% de la máxima densidad seca. Al modificar la muestra con PET, se obtuvieron valores de CBR de 3.61%, 4.65% y 2.88% para las adiciones de 1.50%, 3.00% y 6.00%, respectivamente. Concluyeron que la adición del 3.00% de PET fue la más efectiva, ya que presentó un incremento del 0.82% en el CBR en comparación con la muestra sin modificar. Sin embargo, este valor aún no alcanza el mínimo del 6.00% requerido por la normativa peruana para que la subrasante sea considerada adecuada o regular, lo que indica que el PET, en las proporciones evaluadas, no es suficiente para mejorar significativamente la capacidad de soporte del suelo tipo A-6 en esta vía.

Jave (2020) en su tesis “Propiedades físico-mecánicas de material para afirmado de la cantera El Gavilán con la adición de poliuretano en 2%, 4% y 6%” tuvo como objetivo determinar las propiedades físico-mecánicas del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” al incorporar poliuretano en proporciones del

2%, 4% y 6%. Para ello, se realizaron diversos ensayos de laboratorio, incluyendo granulometría, abrasión de Los Ángeles, Proctor modificado y CBR. Obtuvieron como resultado que la máxima densidad seca de la muestra sin modificar fue de 2.11 g/cm³, mientras que con la adición del 6% de poliuretano se redujo a 2.086 g/cm³. En cuanto al contenido óptimo de humedad, la muestra original presentó un valor del 7.5%, disminuyendo a 4.7% con la incorporación de poliuretano hasta el 6%. Respecto a la capacidad de soporte, el CBR de la muestra patrón a 0.1” de penetración fue de 7.82%, mientras que con la adición del 6% de poliuretano, la resistencia aumentó significativamente hasta alcanzar un 98.6%. Concluyó que la incorporación de poliuretano mejora sustancialmente las propiedades físico-mecánicas del material para afirmado, logrando un incremento del CBR de hasta un 90% en comparación con la muestra sin modificar.

Fustamante (2021) en su tesis “Evaluación de la capacidad de soporte del suelo adicionando polímeros reciclados (PET) en la subrasante de la calle Camino Real, progresiva Km 0+000 - Km 0+750, Chota”, tuvo como objetivo evaluar la capacidad de soporte del suelo mediante la incorporación de PET en la subrasante de la calle Camino Real, en el tramo comprendido entre el km 0+000 y el km 0+750, en Chota. Además, buscó determinar la dosificación óptima de PET que mejora la capacidad de soporte del suelo, en conformidad con las normativas del MVCS (2020) y el MTC (2014). Para ello, se llevó a cabo un proceso que incluyó la recolección, lavado, secado, trituración y tamizado de botellas plásticas hasta obtener partículas de 3/8”, 4.75 mm y 2.00 mm. Posteriormente, se realizaron ensayos de granulometría, límites de consistencia, Proctor modificado y CBR tanto en el suelo natural como en muestras con PET en proporciones del 5%, 10%, 15% y 25% del peso del suelo seco. Obtuvo como resultados que, según la

clasificación SUCS, el suelo analizado corresponde a una arcilla de alta plasticidad, mientras que, de acuerdo con AASHTO, se ubica en el grupo A-7-6. Los valores promedio de CBR obtenidos fueron de 4.767% y 5.433% al 95% y 100% de la MDS., respectivamente. Al incorporar PET triturado de 2.00 mm en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 25%, la capacidad de soporte del suelo aumentó, alcanzando valores de CBR al 95% de la M.D.S. de 5.50%, 7.90%, 8.40% y 7.10%, respectivamente. Concluyó que la dosificación óptima de PET para mejorar la capacidad de soporte del suelo en la subrasante de la calle Camino Real es del 15% de PET triturado con un tamaño máximo nominal (TMN) de 2.00 mm, ya que esta proporción presentó el mayor incremento en el CBR.

Ticlla (2021) en su tesis “Evaluación de las características geotécnicas del suelo de las principales canteras para afirmado de carreteras del distrito de Chota” tuvo como objetivo evaluar las características geotécnicas del material de afirmado proveniente de las principales canteras utilizadas en la construcción de carreteras en el distrito de Chota, con el propósito de verificar su calidad conforme a los requisitos técnicos establecidos en el MTC (2014). Obtuvo como resultado que las canteras La Torre, La Chuica, Rejopampa Alto 1 y Rejopampa Alto 2 pertenecen al grupo A-2, cumpliendo con la gradación requerida para afirmado; sin embargo, presentan límites líquidos e índices de plasticidad elevados. Por otro lado, la cantera Pingobamba Bajo se clasifica dentro del grupo A-1, con un límite líquido del 22% y un índice de plasticidad del 4%, ambos dentro de los parámetros técnicos exigidos. Concluyó que las principales canteras del distrito de Chota cumplen con la normativa para su uso en afirmado de carreteras. No obstante, la cantera Pingobamba Bajo destaca como la mejor alternativa, ya que cumple con los estándares requeridos para una subbase, alcanzando un CBR de 53.50%.

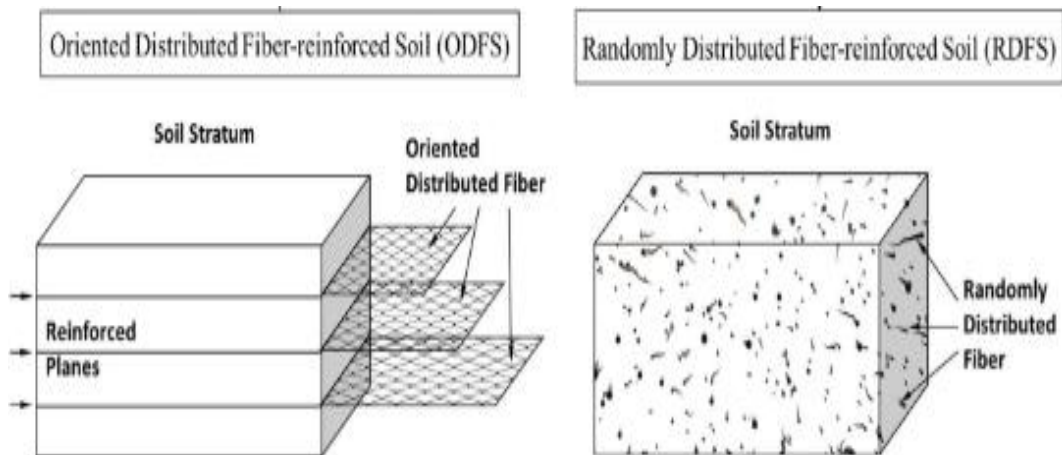
2.2. Bases teórico – científicas

2.2.1. Comportamiento del suelo reforzado con fibras

El refuerzo puede la mejora del comportamiento del suelo (Fig. 1) mediante la introducción de otros materiales (Gowthaman et al., 2018). Actualmente, las intenciones globales se han magnetizado hacia la tecnología de refuerzo de fibras naturales debido a su singularidad (Gaw et al., 2011). Las fibras incorporadas en el suelo pueden diferir en diversos aspectos como forma, textura, rigidez, cantidad, longitud y orientación. Sin embargo, en aplicaciones prácticas, los factores más relevantes suelen ser el contenido, la longitud y la orientación de las fibras (Wang et al., 2017).

Figura 1

Clasificación e Ilustración del Mecanismo de Refuerzo de Fibra del Suelo

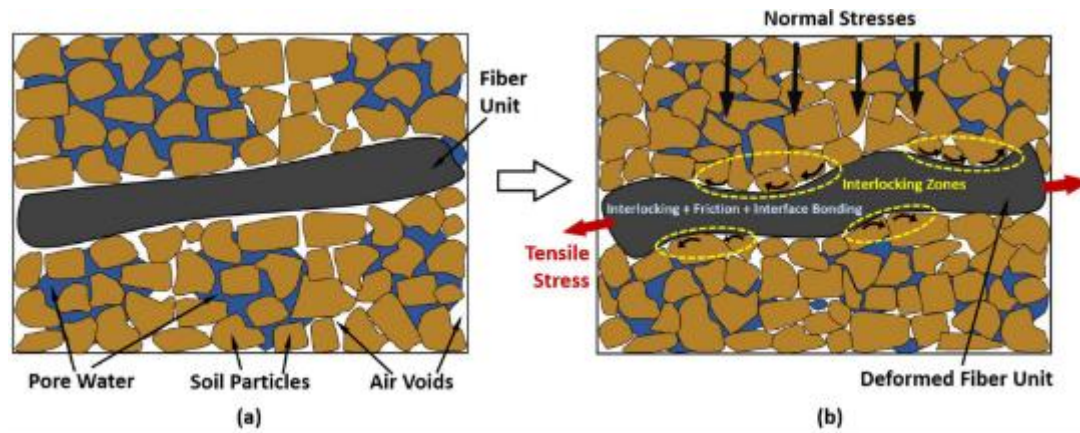


Nota: Básicamente, el suelo reforzado con fibra se puede clasificar en dos tipos según su método de aplicación: (i) Suelo reforzado con fibra distribuido orientado (ODFS) y (ii) Suelo reforzado con fibra distribuido aleatoriamente (RDFS) (Gowthaman et al., 2018).

El Suelo reforzado con fibra distribuido aleatoriamente (RDFS) se ha vuelto popular, ya que las fibras discretas cortas pueden simplemente agregarse y mezclarse al azar con el suelo, por lo tanto, puede proporcionar un aumento isotrópico en la resistencia del compuesto del suelo (Ahmad et al., 2010).

Figura 2

Representación de una Unidad de Fibra Distribuida Aleatoriamente en: el Suelo



Nota: Representación esquemática de una unidad de fibra distribuida aleatoriamente en: (a) etapa inicial y (b) etapa de deformación debido a la carga, donde el efecto de enclavamiento, fricción y unión de la interfaz induce la movilización de la tensión de tracción en la unidad de fibra (Gowthaman et al., 2018).

Inicialmente, las partículas de suelo sometidas a tensiones intentan densificarse, lo que provoca la deformación del material de fibra, posteriormente se generan fuerzas directas sobre la fibra en la etapa de entrelazamiento fibra-suelo debido a la rotación y el impacto directo de las partículas de suelo (Fig. 2) (Hejazi et al., 2012).

La longitud de la fibra es uno de los factores variables que afectan el grado de refuerzo de la fibra para mejorar el comportamiento del suelo (Gowthaman et al., 2018). La influencia y el mecanismo asociados a la longitud de la fibra se evalúan mediante el concepto de relación de aspecto (η), el cual se define como el cociente entre la longitud de la fibra (y_0) y su diámetro (d), según lo expresado en la Ecuación (1)

$$\eta = \frac{y_0}{d} \quad (1)$$

2.2.2. Teoría de la sostenibilidad y su relación con el uso de plásticos reciclados en la producción de material granular reforzado para carreteras

El término “desarrollo sostenible” surgió oficialmente en 1987 en el Informe Brundtland, definiéndose como la capacidad de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras (García L. , 2003).

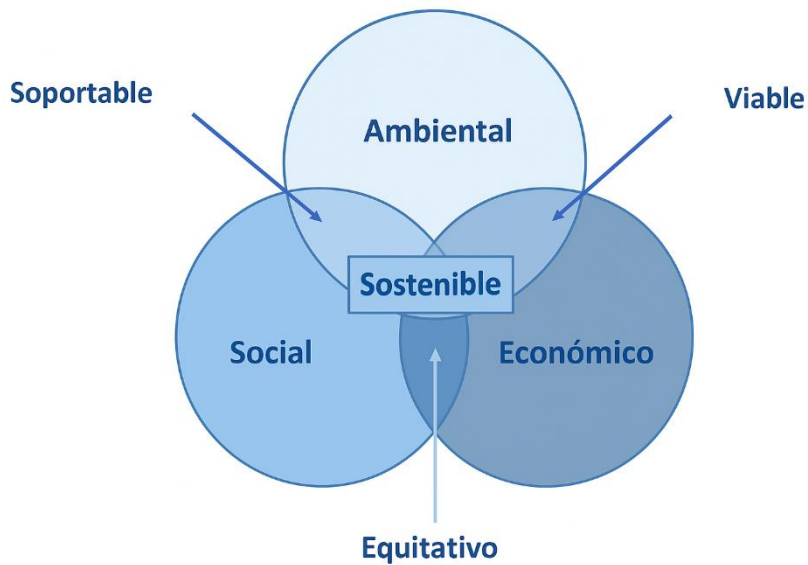
Hoy en día, existen diversas interpretaciones de este concepto, todas coincidiendo en la necesidad de acciones económicamente viables, ambientalmente racionales y socialmente equitativas (Artaraz, 2002); pero a pesar de reconocer la importancia de integrar estas tres dimensiones, se requieren cambios significativos en las políticas y programas actuales.

Los objetivos básicos que implican a la sociedad en su conjunto son, por tanto, el respeto del equilibrio ecológico, una comprensión fundamental de la interrelación e interacción entre los seres humanos y el medio ambiente, y la elección correcta del reciclaje en el contexto de una economía circular, equilibrando las necesidades de la economía, medio ambiente y bienestar social (Giral, 1995).

La teoría de la sostenibilidad se fundamenta en el principio de atender las necesidades actuales sin poner en riesgo la capacidad de las futuras generaciones para cubrir las propias. Esta teoría se articula en torno a tres pilares fundamentales: ambiental, económico y social, pero cada dimensión presenta aportes específicos que, en conjunto, permiten disminuir el uso de recursos, disminuir costos y fomentar la responsabilidad ambiental y social en el desarrollo de infraestructuras sostenibles (López et al., 2018).

Figura 3

Diagrama del Desarrollo Sostenible



Nota: (López et al., 2018).

2.2.2.1. Dimensión ambiental.

Reducción de residuos plásticos: El uso de plásticos reciclados en la construcción de carreteras ayuda a mitigar el problema de la acumulación de residuos plásticos (López et al., 2018).

Conservación de recursos naturales: Al incorporar plásticos reciclados, se reduce la necesidad de extraer y procesar materiales naturales, como agregados vírgenes para las bases granulares (López et al., 2018).

Reducción de la huella de carbono: La producción de plásticos reciclados generalmente consume menos energía y genera menos emisiones de CO₂ comparada con la producción de plásticos nuevos (López et al., 2018).

2.2.2.2. Dimensión económica.

Costos reducidos: Los plásticos reciclados pueden ser una alternativa más económica comparada con algunos materiales tradicionales. La reducción de

costos en la materia prima puede traducirse en menores costos totales (López et al., 2018).

Ciclo de vida del producto: Los materiales plásticos tienen una durabilidad considerable. Incorporarlos en la construcción de carreteras puede extender la vida útil de las mismas, reduciendo los costos de mantenimiento (López et al., 2018).

Estimulación del mercado del reciclaje: La demanda de plásticos reciclados puede incentivar el desarrollo del mercado de reciclaje, creando oportunidades económicas y empleo en este sector (López et al., 2018).

2.2.2.3. Dimensión social.

Mejora de la calidad de vida: La construcción de carreteras más duraderas y eficientes mejora la infraestructura de transporte, facilitando el acceso a servicios y oportunidades económicas (López et al., 2018).

Consciencia ambiental: El uso de materiales reciclados en proyectos de infraestructura puede agrandar la consciencia pública sobre la importancia del reciclaje y la sostenibilidad, fomentando prácticas más responsables y sostenibles (López et al., 2018).

Generación de empleo: La recolección, procesamiento y reutilización de plásticos reciclados puede generar empleo en sectores relacionados con la gestión de residuos y el reciclaje, beneficiando económicamente a las comunidades (López et al., 2018).

2.2.2.4. Relación con la producción de material granular reforzado para carreteras.

La incorporación de plásticos reciclados en la producción de material granular reforzado para carreteras es un claro ejemplo de cómo los principios de la sostenibilidad pueden ser aplicados en la ingeniería civil (López et al., 2018).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Plásticos

El plástico es un material compuesto principalmente por polímeros sintéticos o semisintéticos; son conocidos por su capacidad para ser moldeados y formados bajo calor y presión, lo que les permite adoptar una amplia variedad de formas y aplicaciones. Estas propiedades de flexibilidad, durabilidad, resistencia a la humedad y a los químicos, junto con su bajo costo de producción, han hecho que los plásticos sean ampliamente utilizados en innumerables productos y sectores, desde envases y embalajes hasta productos industriales y de consumo diario (Calcina & Delgado, 2019)

El plástico es un polímero termoplástico artificial producido mediante la polimerización del etileno. Los distintos tipos de plásticos disponibles en el mercado resultan de variaciones en las condiciones de operación durante el proceso de polimerización. Esto da lugar a variantes como el HDPE o PEAD, LDPE, PETE, PP, PS, entre otros (Calcina & Delgado, 2019).

2.3.1.1. Clasificación.

Los plásticos se pueden clasificar de diversas maneras, principalmente en función de su estructura química y comportamiento térmico. Las dos clasificaciones principales son: (Barcala, 2003)

Termoplásticos: Se ablandan al calentarse y se pueden moldear repetidamente. Ejemplos: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC).

Termoestables: Una vez moldeados, no se pueden volver a fundir ni remodelar. Ejemplos: resinas epoxi, melamina, poliéster.

Elastómeros: Caucho natural y sintético: usado en neumáticos, guantes, juntas.

2.3.1.2. Tipos de plástico.

Polietileno Tereftalato (PET o PETE):

- Uso: Botellas de bebidas, envases de alimentos.
- Características: Transparente, resistente y reciclable.

Polietileno de Alta Densidad (HDPE):

- Uso: Envases de leche, detergentes, bolsas de supermercado.
- Características: Fuerte, resistente a impactos y reciclable.

Policloruro de Vinilo (PVC):

- Uso: Tuberías, revestimientos de cables, juguetes.
- Características: Flexible, duradero, difícil de reciclar.

Polietileno de Baja Densidad (LDPE):

- Uso: Bolsas de plástico, envolturas, botellas exprimibles.
- Características: Flexible, resistente y reciclable.

Polipropileno (PP):

- Uso: Tapas de botellas, envases de yogur, pajitas.
- Características: Resistente al calor, fuerte y reciclable.

Poliestireno (PS):

- Uso: Vasos desechables, platos, embalajes de protección.
- Características: Ligero, aislante, difícil de reciclar.

Otros (O):

- Uso: CDs, gafas de sol, productos electrónicos.
- Características: Varía según la mezcla de polímeros, difícil de reciclar.

Figura 4

Tipos de Plásticos y como se Reciclan



Nota: (De Pedro, 2019).

2.3.1.3. Reciclaje del plástico.

El reciclaje de plásticos es fundamental para lograr una economía circular y reducir la contaminación ambiental. Algunas alternativas de reciclaje incluyen: reciclaje mecánico y reciclaje químico (Valarezo & Ruiz, 2002).

El reciclaje de plásticos es fundamental para reducir el impacto ambiental. El proceso general incluye: (Valarezo & Ruiz, 2002)

- **Recolección:** Los plásticos se recogen a través de programas de reciclaje en hogares, negocios y centros de acopio.
- **Clasificación:** Se separan según el tipo de resina (número de reciclaje).
- **Limpieza:** Los plásticos se lavan para eliminar residuos de alimentos, etiquetas y otros contaminantes.
- **Trituración:** Los plásticos limpios se trituran en pequeños fragmentos.
- **Fundición y moldeo:** Los fragmentos se funden y moldean en nuevos productos.

2.3.2. *PET*

El PET “es un polímero plástico, lineal con alto grado de cristalinidad y termoplástico en un comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado” (Arteaga, 2018).

Los plásticos PET son polímeros compuestos de tereftalato de polietileno, identificados con el número "uno" en la base del envase. Están elaborados con un material transparente, resistente, lavable y duradero, destacando por su facilidad de transporte y su baja absorción de humedad. Entre sus principales propiedades se encuentran su alta resistencia al desgaste y la corrosión, así como su buena estabilidad química y térmica (Capia, 2020).

Este material se encuentra en una variedad de productos como juguetes, revestimientos de cables, botellas, películas de embalaje y aplicaciones agrícolas, entre otros. Sin embargo, la mayor parte de este plástico se destina a la fabricación de botellas para bebidas mediante el proceso de inyección y soplado (Capia, 2020).

Las botellas de plástico PET (tereftalato de polietileno) están fabricadas con un material resistente y duradero. Su principal aplicación es en la producción de envases para refrescos, bebidas deportivas, agua y jugos, así como recipientes para aderezos, medicamentos, agroquímicos y otros productos (Ramos, Mejoramiento de subrasantes de baja capacidad de soporte mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, Paucará Huancavelica 2014, 2014).

Figura 5

Frasco Típico y Símbolo de Reciclaje PET



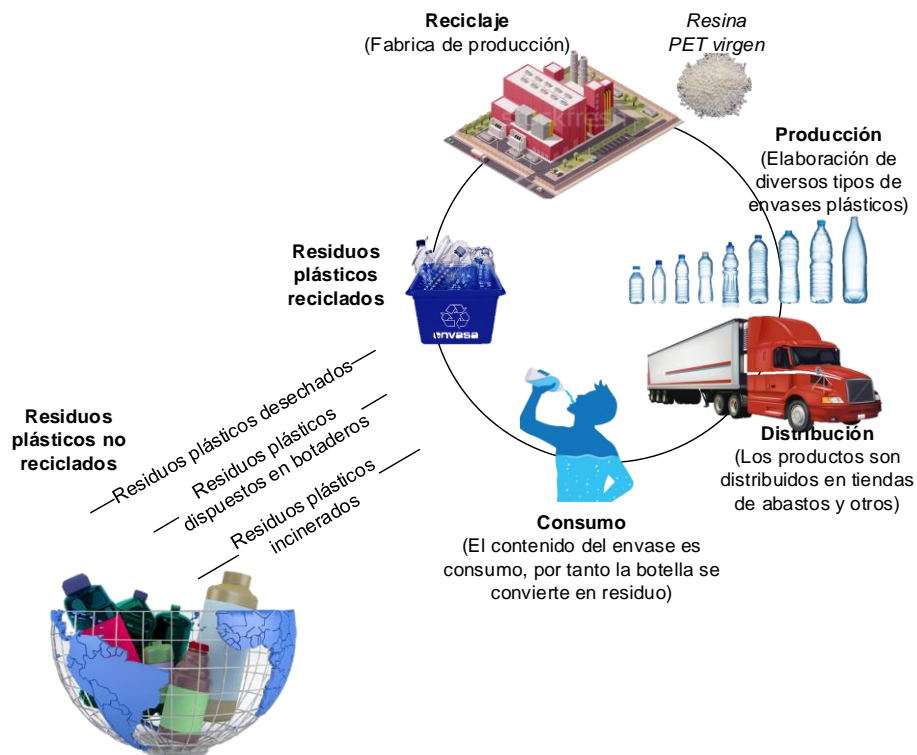
Nota: (Capia, 2020).

El reciclaje de plásticos es un procedimiento físico-químico o mecánico que implica someter un material o producto previamente utilizado a un proceso de tratamiento, ya sea total o parcial, con el propósito de generar un nuevo producto (Valdez, 2012). Existen varios métodos para llevar a cabo este tratamiento: (Arandes et al., 2004)

- Tratamiento primario: Implica procesos mecánicos destinados a obtener un material con características similares al producto original.
- Tratamiento secundario: Consiste en la fusión de los desechos plásticos para transformarlos en productos con distintas formas y una mayor variedad de aplicaciones.
- Tratamiento terciario: Se basa en la solvólisis o descomposición química del material, la cual puede llevarse a cabo mediante metanólisis, glicólisis, hidrólisis o aminólisis.
- Tratamiento cuaternario: Involucra la incineración del plástico como método de eliminación.

Figura 6

Ciclo del Plástico



Nota: (Fustamante, 2021).

2.3.2.1. Proceso de reciclado de plásticos (PET) para su uso en ingeniería civil.

Sin embargo, para que los materiales plásticos PET puedan reciclarse y emplearse en la construcción, deben someterse a un proceso que incluye lavado, secado, molienda y clasificación (Caraschi & Lopes, 2002).

- **Lavado y secado.** Este proceso de purificación influye directamente en la calidad y el uso final del material reciclado (Franco-Urquiza, et al., 2016).
- **Molienda o cortado.** El material puede ser cortado en dimensiones variadas e irregulares mediante el uso de cizallas o utilizando maquinaria especializada, como la "Trituradora PET G-34" (Ramos, 2014).
- **Clasificación o separación.** Para clasificar y uniformizar el material, se emplea el proceso de tamizado, el cual permite determinar la granulometría del PET triturado (Franco et al., 2016).

2.3.3. Polietileno de alta densidad HDPE o PEAD

Conocido como Polietileno de Alta Densidad, es un tipo específico de polímero termoplástico que se distingue por su elevada densidad molecular (mayor a 0.941 g/cm^3). Debido a su resistencia a la tracción, rigidez y durabilidad, se utiliza en la producción de envases de detergente, tuberías para agua y gas, recipientes para alimentos, juguetes, muebles de jardín y otros productos (Merino, 2014).

2.3.3.1. Características del HDPE.

El HDPE tiende a ser transparente solamente en secciones delgadas, siendo comúnmente blanco y translúcido en apariencia. Destaca por sus notables propiedades de tenacidad y flexibilidad a temperatura ambiente (Mere, 2014).

Tabla 1

HDPE: Propiedades Físicas

Propiedades	Unidades	Valor
Densidad	g/cm^3	0.941 – 0.965
Elongación o punto de ruptura	%	1000
Absorción de agua	mg a 96 h	<0.5
Resistencia a la tensión o al cede	N/mm^2	18 – 35
Contracción	%	1.5 – 3
Resistencia dieléctrica	KV/cm	>600

Nota: (Leiro & Blanco, 1990).

Tabla 2

HDPE: Propiedades Químicas

Reactivo	Resistencia
Ácidos concentrados y diluidos	Buena
Álcalis	Buena
Alcoholes	Buena
Halógenos	Mala
Hidrocarburos Aromáticos	Aceptable – Buena

Nota: (Mentzer, 2005).

Tabla 3*HDPE: Propiedades Mecánicas*

Propiedades	Unidades	Valor
Coefficiente de fricción		0.29
Módulo de tracción	GPa	0.5-1.2
Resistencia a la tracción	MPa	15-40
Relación de Poisson		0.46

Nota: (Mentzer, 2005).

Tabla 4*HDPE: Propiedades Térmicas*

Propiedades	Unidades	Valor
Conductividad térmica	a 23 °C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0.45-0.52
Dilatación térmica	x10 ⁻⁶ K ⁻¹	100-200
Temperatura de deflexión en caliente – 0.45 MPa	°C	75

Nota: (Merino, 2014).

2.3.3.2. Usos.

El HDPE tiene diversos usos debido a sus propiedades mecánicas y térmicas (Barboza & Rimapa, 2017).

- Envases y embalajes: Se usa en botellas, recipientes y envases para diversos productos (Barboza & Rimapa, 2017).
- Envases de productos farmacéuticos y cosméticos: Es seguro y no tóxico, ideal para estos envases (Barboza & Rimapa, 2017).
- Industria automotriz y de construcción: Se emplea en tanques de combustible, parachoques, tuberías y techos (Barboza & Rimapa, 2017).
- Tuberías para agua y gas: Por su alta resistencia, se usa en redes de agua potable, drenaje y riego (Gastezzi, 2015).
- Nuevos materiales: Se mezcla con otros compuestos para reducir el impacto ambiental (Munar, 2019).

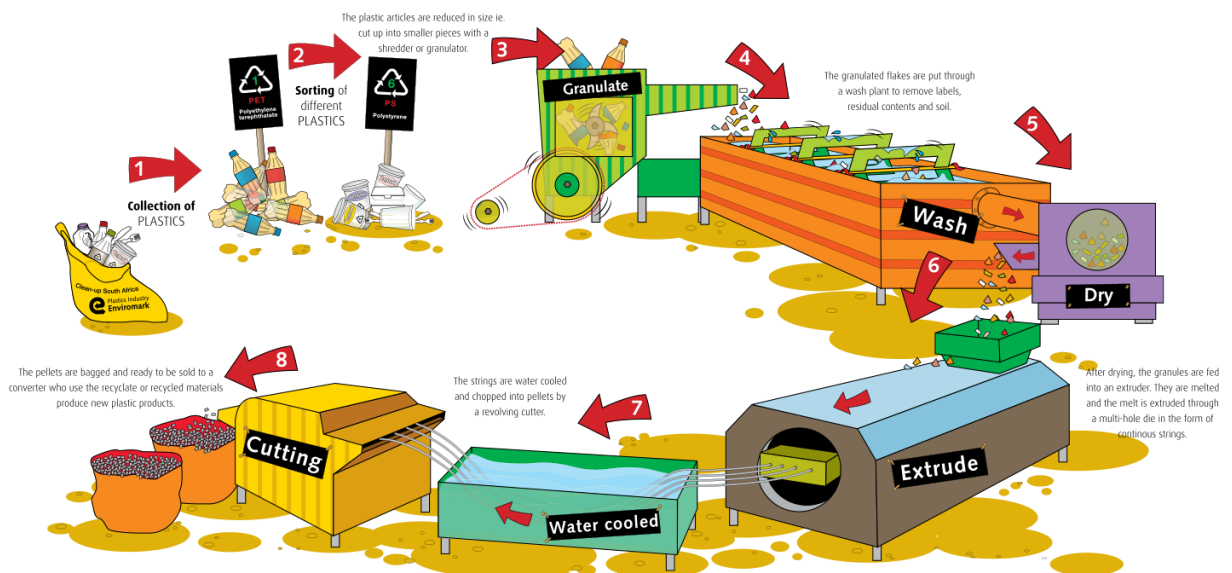
2.3.3.3.Sostenibilidad y reciclaje del HDPE.

El HDPE es más sostenible que otros plásticos por su alta reciclabilidad, permitiendo su reutilización y reduciendo la necesidad de plástico virgen (Ibrahim et al., 2023).

El reciclaje del HDPE inicia con la recolección y clasificación, eliminando impurezas. Luego, se tritura, lava y seca para retirar residuos. Posteriormente, se funde y extruye en gránulos reciclados, que se empaquetan y distribuyen para fabricar nuevos productos plásticos (Calcina & Delgado, 2019).

Figura 7

Flujograma del Reciclado de Polietileno de Alta Densidad



Nota: La imagen representa el proceso de reciclaje de plástico, desde la recolección de desechos hasta la fabricación de productos reciclados. Comienza con la recolección de desechos plásticos de diversas fuentes, los cuales son clasificados por tipo. Luego, los plásticos son triturados, lavados y secados antes de ser fundidos y moldeados en forma de gránulos. Adaptado de (Calcina & Delgado, 2019).

2.3.4. *Cantera*

Una cantera es un recurso natural de donde se obtienen materiales utilizados en la construcción, la restauración y la mejora de carreteras (MTC, 2018).

Una cantera es un lugar de extracción de materiales como piedra, arena, grava o arcilla, los cuales son habitualmente empleados en proyectos de construcción (García J. , 2005).

En el pasado, la extracción de materiales de cantera era de poco interés, pero en la actualidad, los requerimientos técnicos han aumentado considerablemente, principalmente debido a las responsabilidades ambientales (Quispe & Yody, 2021).

La cantera a cielo abierto es un tipo de minería a gran escala donde se extraen materiales de construcción, como piedra, grava y arena, directamente de la superficie terrestre. Estas canteras, que están al aire libre, proporcionan materiales comúnmente utilizados en la construcción de vías, edificios y obras civiles, donde el término “afirmado” se refiere al material usado para crear una base firme y nivelada en estas construcciones (Ticlla, 2021).

Figura 8

Cantera a Cielo Abierto



Nota: figura tomada de (Ticlla, 2021).

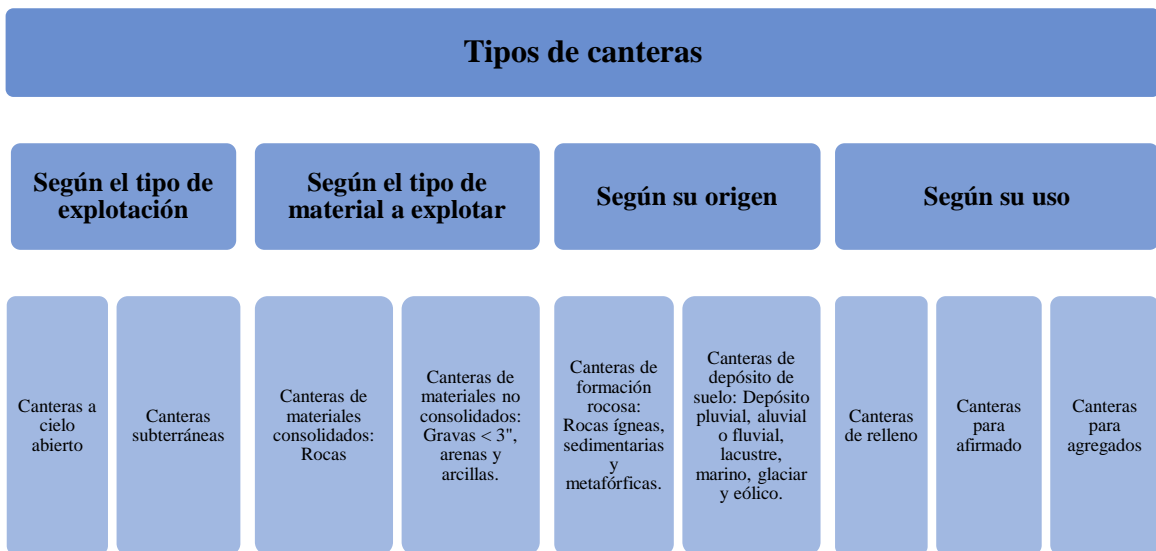
2.3.4.1. Tipos de canteras.

La clasificación de las canteras se refiere a la organización de estas según diferentes criterios, como la composición mineralógica de los materiales que se extraen, la localización geográfica, y el método de explotación, entre otros (García J. , 2005).

Las canteras son lugares donde se extraen distintos tipos de materiales, ya sean rocas consolidadas o materiales no solidificados como áridos, superficies, terrazas aluviales y arcillas. Según (Reategui & Zavaleta, 2020), las canteras pueden ser clasificadas de diversas formas, incluyendo el tipo de uso, el tipo de material extraído, su origen y su destino.

Figura 9

Tipos de Canteras



Nota: Los tipos de cantera se clasifican según diferentes criterios como el tipo de explotación, el tipo de material a explotar, su origen y su uso. Tomado de (Lorres, 2018).

2.3.5. *Suelo*

El suelo es un sistema natural compuesto por materiales minerales y orgánicos, así como por aire, agua y organismos vivos, que se forman a partir de la desintegración de rocas superficiales y de materia orgánica en la superficie terrestre, modificados por la influencia del clima y de los organismos. Este proceso resulta en la creación de partículas minerales que se forman debido a la destrucción mecánica o química de rocas, dando lugar a depósitos sueltos y granulares (Palli, 2015).

La meteorización de rocas forma el suelo, influenciado por factores químicos y biológicos. Específicamente, según la clasificación de AASHTO, los suelos se dividen en dos categorías principales: suelos granulares y suelos limo-arcillosos de grano fino, siendo estos últimos más problemáticos para la construcción de pavimentos (Ariza et al., 2016).

Clasificación AASHTO “Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes”

Esta clasificación es ampliamente utilizada para categorizar los suelos en el ámbito de la construcción de carreteras. En esta metodología, los suelos se dividen en siete grupos principales, que van del A-1 al A-7 (Bañon & Beviá, 2000).

Clasificación SUCS “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos”

De acuerdo con las normativas IRAM 10509 y ASTM D 2487 y 2488, este sistema es el más comúnmente usado en la ingeniería geotécnica. Se basa en la gradación de los suelos y en sus límites de consistencia líquida y plástica, siendo especialmente útil en el diseño de cimentaciones (Briones & Irigoín, 2015).

Tabla 5

Clasificación SUCS

Finos $\geq 50\%$ pasa malla #200 (0.08 mm)						
Tipo de suelo	Símbolo	Límite líquido	Índice de plasticidad (IP)			
Limos inorgánicos	ML	<50	<0.73 (WI-20) o <4			
Arcillas inorgánicas	MH	<50	<0.73 (WI-20)			
Arcillas inorgánicas	CL	<50	<0.73 (WI-20) y <7			
Arcillas inorgánicas	CH	<50	>0.73 (WI-20)			
Limos arcillas orgánicas	OL	<50	** WI seco al horno $\leq 75\%$ del WI seco al aire			
Arcillas orgánicas	OH	<50				
Orgánicos	PI	Material orgánico fibroso				
Gruesos < 50% pasa malla #200 (0.08 mm)						
Tipo de suelo	Símbolo	% Ret. malla N° 4	% pasa malla 200	CU	CC	**IP
Gravas	GW			>4	1 a 3	
	GP		<5	≤ 4	<16>3	
	GM	>50% de lo ret.				<0.73 (wl-20) o <4
	GC	En 0.08 mm	>12			<0.73 (wl-20) o <4
Arenas	SW			>6	1 a 3	
	SP		<5	≤ 6	<16>3	
	SM	< 50% de lo ret.				<0.73 (wl-20) o <4
	SC	en 0.08 mm	>12			<0.73 (wl-20) o <4

Nota: (Borselli, 2019).

Tabla 6

Sistema de Clasificación AASHTO

Clasificación general	Granulares (<35% pasa por el tamiz N° 200)						Limoso arcilloso (>35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo:	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6	
Porcentaje que pasa:											
N° 10 (2mm)	50 máx.										
N° 40 (0.425mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.		35 máx.				36 mín.		
N°200 (0.075mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.								
Suelo que pasa por tamiz N.º											
40		6 máx.	NP (1)	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín. (2)
LL				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
IP											
Compuesto por:	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Uso como subbase	Excelente a bueno						Pobre a malo				

Nota: (Palli, 2015).

2.3.6. *Propiedades físicas del suelo*

Contenido de humedad. El contenido de humedad es una propiedad fundamental del suelo, ya que influye en su comportamiento mecánico y en su capacidad para soportar cargas. Se define como la cantidad de agua presente en un material en relación con su masa o volumen total (Surentra & Kummar, 2017).

Esta propiedad es crucial en ingeniería geotécnica, pues afecta la compactación, resistencia y estabilidad del suelo en diversas aplicaciones de construcción. La humedad del suelo se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H\% = \frac{W_a}{W_s} \times 100 \quad (2)$$

$$W_a = W_h - W_s \quad (3)$$

$$H\% = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \quad (4)$$

Donde, H humedad, Wa peso del agua, Ws peso seco, Wh peso húmedo.

Granulometría. La granulometría busca establecer la relación entre las diferentes proporciones de componentes clasificados según el tamaño del grano. En suelos con granos gruesos y estructura simple, la densidad y el ángulo de grano son las características más importantes para la estabilidad. Aunque el análisis granulométrico no proporciona detalles sobre estos aspectos, ofrece una referencia sobre la distribución del tamaño de las partículas. Una distribución granulométrica adecuada asegura que el suelo se comporte bien bajo carga (Guipúzcoa, 2021).

$$\% \text{ Ret. Acum.} = \frac{\text{Peso ret. acumulado}}{PT} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Peso que pasa} = PT - \text{Peso ret. acumulado} \quad (6)$$

$$\% \text{ Que pasa} = \frac{\text{Peso que pasa}}{PT} \times 100 \quad (7)$$

Límite de líquido. El límite líquido es el contenido de agua a partir del cual el suelo pasa de un estado plástico a uno líquido (Ramirez, 2016).

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right) 0.121 \quad (8)$$

$$LL = KW^n \quad (9)$$

Donde: N números de golpes, Wn humedad, K factor igual a 1, a 25 golpes.

Límite plástico. El límite plástico es una propiedad física del suelo que indica la menor cantidad de humedad necesaria para que el suelo se convierta en un material plástico y moldeable. En otras palabras, representa el nivel de humedad por debajo del cual el suelo pasa de un estado semisólido a uno sólido bajo presión (Ramirez, 2016).

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100 \quad (10)$$

Índice de plasticidad. El índice de plasticidad indica la capacidad del suelo para permanecer estable sin colapsar hasta alcanzar un cierto nivel de humedad. La plasticidad del suelo está determinada por factores secundarios y no por los principales. Se calcula restando el límite plástico del límite líquido (Hernandez & Llerena, 2019).

$$IP = LL - LP \quad (11)$$

Tabla 7

Clasificación según el Índice de Plasticidad

IP	Plasticidad	Característica del suelo
>20	Alta	Muy arcilloso
7-20	Media	Arcilloso
<7	Baja	Poco arcilloso
=0	No plástico (NP)	Sin arcilla

Nota: (MTC 2014).

2.3.7. *Propiedades mecánicas del suelo*

Resistencia al desgaste (Abrasión los ángeles). La resistencia al desgaste es una característica fundamental en la evaluación de la durabilidad de los agregados utilizados en la construcción. Se mide mediante el ensayo de Abrasión Los Ángeles, que simula el desgaste que sufre el material debido a la fricción y los impactos mecánicos. Este ensayo es ampliamente utilizado en ingeniería civil para determinar la calidad y resistencia de los agregados en pavimentos y otras estructuras (MTC, 2016).

La pérdida de material por desgaste se calcula con la siguiente fórmula:

$$D(\%) = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (12)$$

Donde, el peso inicial es el peso del suelo lavado y secado al horno, antes de la prueba, y el peso final, peso del suelo que queda retenido en el tamiz N° 12 luego de la prueba.

Este ensayo es clave para determinar la idoneidad de los agregados en la construcción de carreteras, pavimentos y otras estructuras sometidas a tráfico y carga constante, asegurando así su resistencia y durabilidad en el tiempo.

Compactación. La compactación es el proceso de reducir el volumen de vacíos en el suelo. Este proceso depende en gran medida del contenido de agua; si hay demasiada agua, pueden surgir problemas como la saturación del suelo. El objetivo principal de la compactación del suelo es evitar deformaciones y mejorar el rendimiento de las estructuras construidas sobre él, lo que requiere el uso de maquinaria especializada. Además del contenido de agua, la textura del suelo y la energía de compactación son otros factores clave que influyen directamente en la compactación (Delgado, 2021).

- **Máxima densidad seca.** Propiedad mecánica fundamental del suelo que describe la mayor cantidad de masa que puede ser compactada en un volumen específico bajo condiciones controladas. Esta densidad se obtiene generalmente en laboratorio mediante pruebas de compactación, como el ensayo Proctor.

$$y_d = \frac{Y_{d,max}}{1+w_{opt}w} \quad (13)$$

$$y_d = \frac{G}{1+w} \quad (14)$$

Donde, Y_d es la densidad seca máxima del suelo (en unidades de masa/volumen), G es la masa específica del sólido del suelo (en unidades de masa/volumen), w es el contenido de humedad del suelo (como una fracción o porcentaje).

- **Óptimo contenido de humedad.** Nivel de humedad en el suelo en el que se logra la máxima densidad seca durante la compactación. Es el punto en el que se alcanza la mayor densidad del suelo para una cantidad específica de energía de compactación, lo que mejora la capacidad de soporte y la estabilidad de las estructuras construidas sobre él.

Capacidad portante (CBR). Se refiere a la carga máxima que un suelo puede soportar antes de hundirse. En el diseño de carreteras, se utiliza comúnmente el Índice de Soporte de California (CBR), que se determina mediante pruebas realizadas en diferentes tipos de suelo y se presenta en tablas. El CBR se calcula como la relación entre la fuerza necesaria para que un pistón penetre a una profundidad específica en el suelo en evaluación y la fuerza necesaria para que el mismo pistón penetre a la misma profundidad en un suelo estándar compuesto por piedra triturada (Delgado, 2021).

$$CBR = \frac{\text{Presión en muestra}}{\text{Presión en muestra patrón}} \times 100 \quad (15)$$

2.3.8. *Requisitos técnicos del material de afirmado*

El afirmado en la capa de rodadura de una carretera es la capa más superficial, formada por un material granular, que suele ser una mezcla de grava, arena y/o piedra triturada. Este afirmado es una combinación de tres tipos de materiales: piedra, arena y finos o arcilla. Si estos tres componentes no se mezclan adecuadamente, el afirmado resultará deficiente (Balboa, 2019).

La grava o piedra triturada soporta el peso de los vehículos, la arena clasificada llena los espacios vacíos entre la grava, asegurando la estabilidad de la capa, y los finos plásticos, compuestos principalmente de arcillas, proporcionan cohesión entre la grava y la arena (Lorren, 2018).

El material de afirmado debe cumplir con ciertas características para asegurar una buena capacidad de soporte. Algunas de estas características son: (MTC, 2014)

Granulometría: El material debe tener una distribución adecuada de tamaños para garantizar una buena compactación y resistencia. Se requiere una mezcla de partículas de diferentes tamaños, desde gruesas hasta finas (MTC, 2014).

Índice de plasticidad: El material debe tener un bajo índice de plasticidad para evitar deformaciones y cambios de volumen debido a la humedad (MTC, 2014).

Compactabilidad: El material debe ser compactable para alcanzar una buena densidad (MTC, 2014).

Resistencia o capacidad de soporte (CBR): El material debe ser capaz de soportar las cargas del tráfico y transmitir las eficientemente al afirmado subyacente (MTC, 2014).

Tabla 8

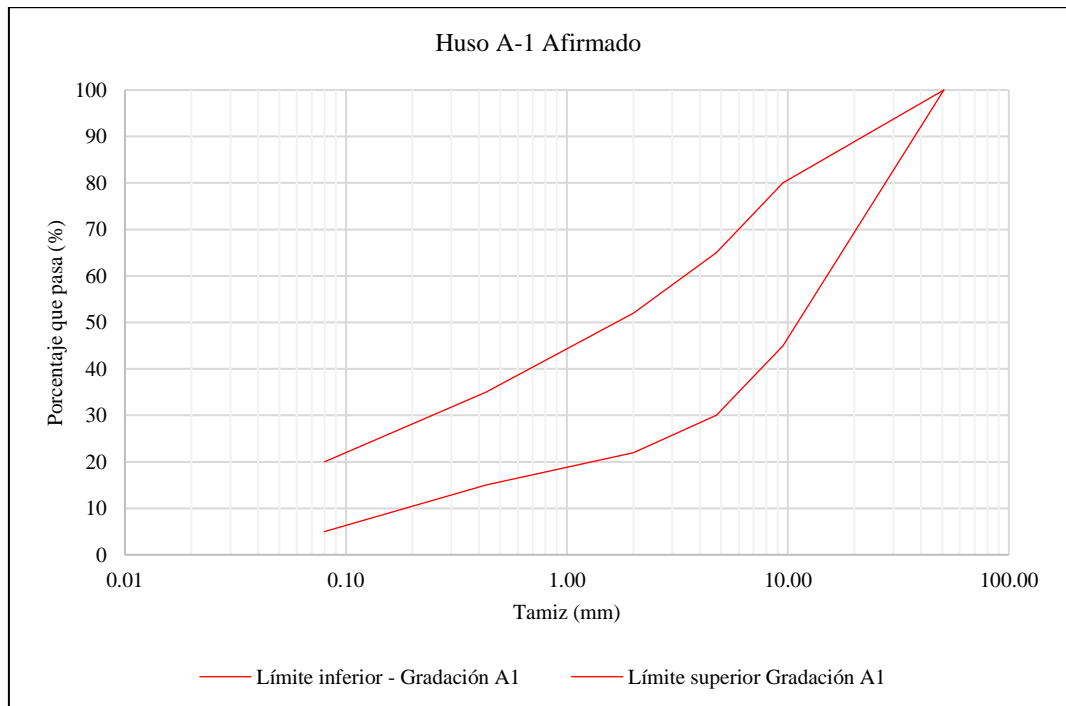
Requisitos Técnicos del Material para Afirmado

Tamiz	Porcentaje que pasa					
	A-1	A-2	C	D	E	F
50 mm (2")	100					
37.5 mm (1 1/2")	100					
25 mm (1")	90 - 100	100	100	100	100	100
19 mm (3/4")	65 - 100	80 - 100				
9.5 mm (3/8")	45 - 80	65 - 100	50 - 85	60 - 100		
4.75 mm (N° 4)	30 - 65	50 - 85	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
2.0 mm (N° 10)	22 - 52	33 - 67	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
4.25 um (N° 40)	15 - 35	20 - 45	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
75 um (N° 200)	5 a 20	5 a 20	5 a 15	5 a 20	6 a 20	8 a 25
Índice de Plasticidad	4 a 9	4 a 9	4 a 9	4 a 9	4 a 9	4 a 9
Límite Líquido	Máx. 35%	35%	35%	35%	35%	35%
Desgaste de los ángeles	Máx. 50%	50%	50%	50%	50%	50%
CBR al 100% de MDS, carga de 0.1" (2.5 mm)]	Mín. 40%	40%	40%	40%	40%	40%

Nota: (MTC, 2014).

Figura 10

Huso Granulométrico del Afirmado A-1



2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- H1: La adición de residuo PET y HDPE mejora las propiedades Físico Mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, Chota y cumple con los requisitos técnicos de la EG-2013 para su uso en la superficie de la infraestructura vial.
- Ho: La adición de residuo PET y HDPE no mejora las propiedades Físico Mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, Chota y no cumple con los requisitos técnicos de la EG-2013 para su uso en la superficie de la infraestructura vial.

2.4.2. Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1:

- H1: Las propiedades físicas: límite líquido y límite plástico del afirmado de la cantera Sivingan Bajo mejoran utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8” por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE).
- Ho: Las propiedades físicas: límite líquido y límite plástico del afirmado de la cantera Sivingan Bajo no mejoran utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8” por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE).

Hipótesis específica 2:

- H1: Las propiedades mecánicas: Proctor modificado y CBR de laboratorio del afirmado de la cantera Sivingan Bajo mejoran utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8” por separado: (PET) y (HDPE).

- Ho: Las propiedades mecánicas: Proctor modificado y CBR de laboratorio del afirmado de la cantera Sivingan Bajo no mejoran utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8" por separado: (PET) y (HDPE).

Hipótesis específica 3:

- H1: El tipo de polietileno que logra menor índice de plasticidad y mayor capacidad de soporte (CBR) al ser utilizado para mejorar las propiedades del afirmado de la cantera Sivingan Bajo en Chota es el HDPE.
- Ho: El tipo de polietileno que logra menor índice de plasticidad y mayor capacidad de soporte (CBR) al ser utilizado para mejorar las propiedades del afirmado de la cantera Sivingan Bajo en Chota no es el HDPE.

2.5. Operacionalización de variables

2.5.1. Variable independiente: Residuos de polietileno PET y HDPE

Los residuos de polietileno son materiales plásticos desechados, derivados del consumo de productos fabricados con polímeros como el Polietileno Tereftalato (PET) y el Polietileno de Alta Densidad (HDPE). Estos residuos pueden ser recolectados, triturados y reutilizados como aditivo en la construcción de capas de afirmado, aportando características que modifican las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Tamay, 2022).

En esta investigación, los residuos de polietileno se utilizaron en forma de partículas trituradas con un tamaño máximo nominal de 3/8", en proporciones de 0%, 5% y 10% respecto al peso seco del material de afirmado proveniente de la cantera Sivingan Bajo, Chota. El PET y el HDPE fueron aplicados por separado en cada mezcla de prueba para evaluar su efecto sobre las propiedades del afirmado.

2.5.2. Variable dependiente: *Propiedades físico – mecánicas del afirmado*

Son las características del material de afirmado que determinan su comportamiento frente a esfuerzos, cargas y condiciones ambientales. Las propiedades físicas incluyen granulometría, contenido de humedad, límites de consistencia (líquido, plástico e índice de plasticidad). Las propiedades mecánicas incluyen la máxima densidad seca (MDS), el óptimo contenido de humedad (OCH), el soporte de carga (CBR), el desgaste por abrasión y la expansión (Tamay, 2022).

Las propiedades físico-mecánicas fueron determinadas mediante ensayos de laboratorio siguiendo las normas técnicas correspondientes (EG-2013, MTC, 2015). Las pruebas incluyeron análisis granulométrico (NTP 339.128), límites de consistencia (NTP 339.129), ensayo Proctor Modificado (NTP 339.141), CBR de laboratorio (NTP 339.145), desgaste Los Ángeles (NTP 400.019) y ensayo de expansión. Los resultados obtenidos permitieron comparar el comportamiento del afirmado con y sin adición de polietileno PET y HDPE.

Tabla 9

Matriz de Operacionalización de Variables

Variab les	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional	Indicadores	Ítem
VI Residuos de polietileno: PET y HDPE	Utilización de plásticos reciclados, específicamente Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE), que han sido triturados para ser incorporados en mezclas de afirmado (Tamay, 2022)	Uso de PET triturado	La incorporación de Polietileno Tereftalato (PET) triturado en mezclas de afirmado.	Porcentaje de adición	%
			Gradación del material	%	
		Uso de HDPE triturado	La utilización de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) triturado como componente en mezclas con afirmado.	Porcentaje de adición	%
			Gradación del material	%	
VD Propiedades físico – mecánicas del afirmado	Características físicas y mecánicas del afirmado de cantera, que pueden verse alteradas por la incorporación de plásticos triturados. Estas propiedades incluyen aspectos como la densidad, granulometría, límites de consistencia, compactación y capacidad de soporte (Tamay, 2022).	Propiedades físicas	Características medibles y observables del afirmado.	Contenido de humedad	%
				Granulometría	%
				Límite líquido	%
				Límite plástico	%
		Propiedades mecánicas	Características relacionadas con la respuesta del afirmado a fuerzas externas.	Índice de plasticidad	%
				Abrasión de los ángeles	%
		Requisitos técnicos de afirmado	Normas y especificaciones técnicas necesarias para la correcta preparación y compactación de afirmado utilizado en la construcción de carreteras y otras estructuras.	Proctor modificado	g/cm ³
				CBR de laboratorio	%
				Huso granulométrico	%
				Límite líquido	%
		Índice de plasticidad	%		
		Abrasión de los ángeles	%		
		CBR de laboratorio	%		

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es cuantitativa, ya que recolecta y analiza datos numéricos sobre las propiedades físicas y mecánicas del afirmado con plásticos PET y HDPE, midiendo granulometría, plasticidad, densidad y CBR de laboratorio.

Es una investigación aplicada, pues busca mejorar las propiedades del afirmado de la cantera Sivingan Bajo para su uso en carreteras, proporcionando soluciones prácticas basadas en conocimiento científico.

Tiene un nivel explicativo, ya que no solo describe los efectos de los plásticos triturados en el afirmado, sino que analiza las relaciones causa-efecto para comprender cómo estos aditivos mejoran sus propiedades físicas y mecánicas.

Tabla 2

Tipo de Investigación según los Principales Criterios

Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque metodológico	Cuantitativa
Objetivos	Explicativa
Fuente de datos	Primaria
Control de diseño de la prueba	Cuasi experimental
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Contexto donde sucede	Laboratorio, campo

Nota: (Grajales, 2000).

3.2. Diseño de investigación

El diseño es cuasi experimental descriptivo causal-simple, ya que se manipula la variable dependiente (propiedades del afirmado) por medio de la incorporación de residuos de polietileno, permitiendo establecer relaciones de causa y efecto. Se mezclaron dos tipos de plásticos triturados (PET y HDPE) en proporciones de 0%, 5% y 10% con el afirmado de la cantera Sivingan Bajo, evaluando su impacto en propiedades como granulometría, plasticidad, densidad máxima y CBR de laboratorio.

Inicialmente, se midieron las propiedades físicas y mecánicas del afirmado sin aditivos, estableciendo una línea base. Luego, tras incorporar los plásticos, se realizaron nuevas mediciones en cada proporción para analizar los cambios. Este enfoque permitió una comparación directa entre las condiciones iniciales y las modificadas, determinando el impacto de cada plástico en la mejora del afirmado.

$$\begin{array}{l} Ms \quad y \\ Mc \quad \begin{array}{ll} x1 & y1 \\ x2 & y2 \end{array} \end{array} \quad (16)$$

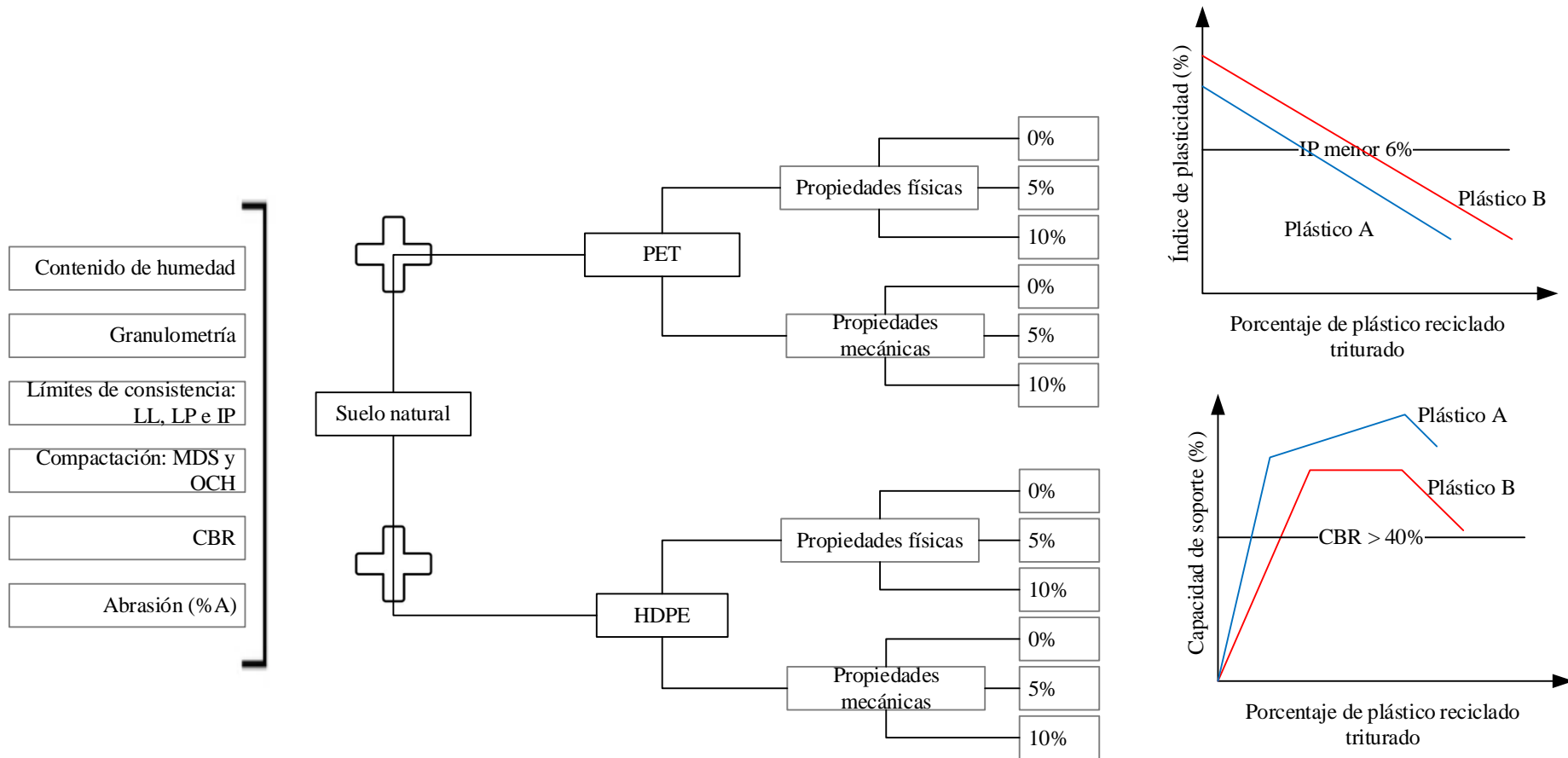
Donde, Ms la muestra simple, Mc la muestra causal donde se aplicó la variable de efecto, “y” la variable dependiente propiedades del afirmado, x1 la adición de PET, x2 la adición de HDPE, x la variable independiente o tratamiento que se incorpora.

3.3. Métodos de investigación

La investigación utiliza el método de investigación hipotético-deductivo para abordar de manera sistemática y lógica la hipótesis planteada. Este método consiste en formular hipótesis con base en observaciones preliminares, deducir consecuencias lógicas de estas hipótesis y luego probarlas empíricamente para validar o refutar las hipótesis iniciales.

Figura 11

Diseño de Investigación



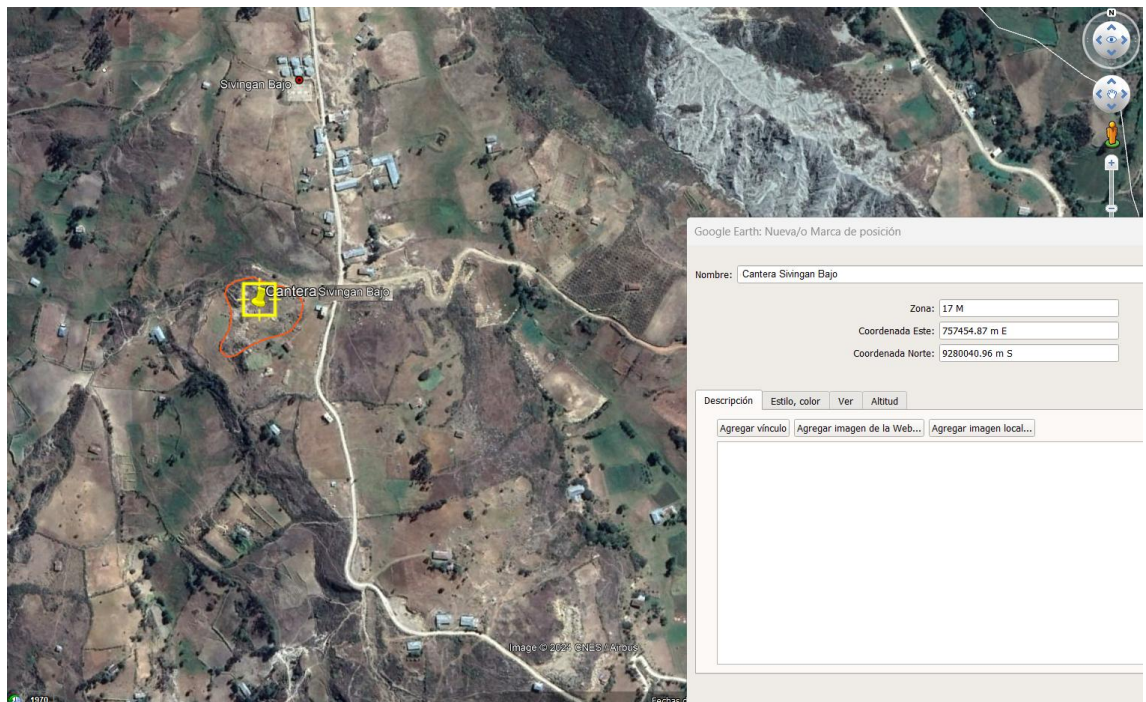
3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

El material granular de afirmado de la cantera Sivingan Bajo ubicada en el distrito de Chota, provincia de Chota, región Cajamarca, y los distintos tipos de residuos plásticos (PET y HDPE triturado) utilizado para mejorar sus propiedades físico mecánicas.

Figura 12

Ubicación de la Cantera de Afirmado Sivingan Bajo ubicada en el Distrito de Chota, Cajamarca



Nota: (Google earth, 2024).

3.4.2. Muestreo

El muestreo es no probabilístico definido por conveniencia de acuerdo a las normas técnicas peruanas que rigen cada uno de los ensayos de laboratorio que se aplicaron, y de acuerdo al manual de “Suelos, geología, geotecnia y pavimentos, sección suelos y pavimentos” (MTC, 2014).

3.4.3. Muestra

El número de especímenes elaborado con los residuos plásticos PET y HDPE triturado para mejorar las propiedades físico mecánicas del afirmado de la cantera Sivingan Bajo para su uso como material de afirmado en Chota.

Tabla 10

Número de Especímenes para Ensayos en Afirmado de Cantera con PET

Ensayos	Proporciones de materiales		
	100%	95%	90%
Material de la cantera	100%	95%	90%
Plástico PET	0%	5%	10%
Granulometría	3	3	3
Contenido de humedad	3	3	3
Límite líquido	3	3	3
Límite plástico	2	2	2
Proctor modificado	5	5	5
Abrasión	3	3	3
Capacidad de soporte (CBR)	3	3	3

Tabla 11

Número de Especímenes para Ensayos en Afirmado de Cantera con HDPE

Ensayos	Proporciones de materiales		
	100%	95%	90%
Material de la cantera	100%	95%	90%
Plástico HDPE	0%	5%	10%
Granulometría	3	3	3
Contenido de humedad	3	3	3
Límite líquido	3	3	3
Límite plástico	2	2	2
Proctor modificado	5	5	5
Abrasión	3	3	3
Capacidad de soporte (CBR)	3	3	3

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de los datos

Observación. Consistió en el análisis directo y sistemático de las condiciones actuales del afirmado en la cantera Sivingan Bajo, en Chota, con el propósito de identificar las características físicas y la calidad del material existente antes de la incorporación de PET y HDPE triturado. Durante esta etapa, se documentó visualmente y mediante notas las propiedades observables del lugar y del afirmado, como su ubicación, acceso, propiedad, textura, color y otras características visuales.

Ensayos de laboratorio. Se utilizaron para evaluar las propiedades mecánicas y físicas del afirmado mejorado con PET y HDPE triturado. Se realizó pruebas estándar de granulometría, índice de plasticidad, abrasión de los ángeles, compactación y capacidad de soporte (CBR) tanto en muestras de afirmado sin aditivos como en aquellas que incluyan los plásticos triturados. Estos ensayos permitieron cuantificar los efectos de los materiales reciclados sobre las propiedades físicas y mecánicas del afirmado, proporcionando datos comparativos para determinar cuál de los dos plásticos ofrece mayores mejoras en las condiciones del material.

3.5.2. Instrumentos para la recolección de los datos

Hoja de registro de observación. Se utilizó una hoja de registro de observación, basada en el manual “Suelos, geología, geotecnia y pavimentos, sección suelos y pavimentos” (MTC, 2014). Este documento permitió anotar de manera sistemática las características visuales del lugar y del afirmado en la cantera Sivingan Bajo, Chota. La hoja incluyó campos para registrar ubicación, acceso, propiedad, textura, color del suelo y otros aspectos relevantes

Formatos de laboratorio. Fueron documentos estandarizados utilizados para registrar los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio sobre las muestras de afirmado mejorado con PET y HDPE triturado. Estos formatos contuvieron secciones específicas para anotar los datos obtenidos de las pruebas de granulometría, compactación, índice de plasticidad, abrasión de los ángeles y capacidad de soporte (CBR). Al emplear estos formatos, se garantizó la correcta y uniforme documentación de los resultados, permitiendo un análisis comparativo de cómo los dos tipos de plástico triturado afectan las propiedades del afirmado en la cantera estudiada.

Tabla 12

Fuentes, Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos de Cada

Variable

Variables	Recolección de datos		
	Fuente	Técnica	Instrumento
VI			
Residuos de polietileno: PET y HDPE triturado	Primaria	Observación	Hoja de registro de observación
VD			
Propiedades físico – mecánicas del afirmado de cantera	Primaria	Observación Ensayos de laboratorio	Hoja de registro de observación Formatos de ensayos de laboratorio

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Proceso de obtención de los datos

Durante la investigación, se siguió un proceso sistemático para la obtención de datos, garantizando la representatividad de las muestras y la confiabilidad de los resultados.

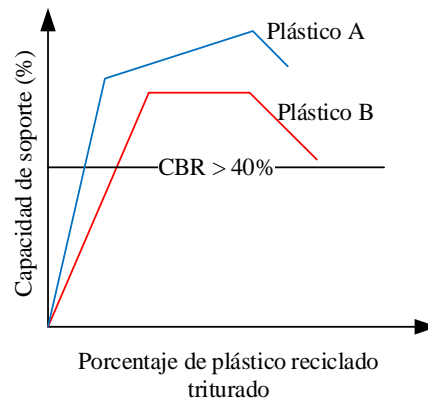
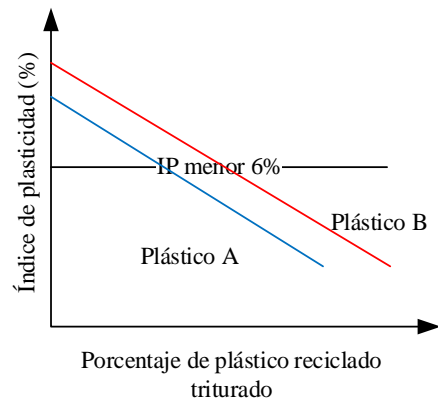
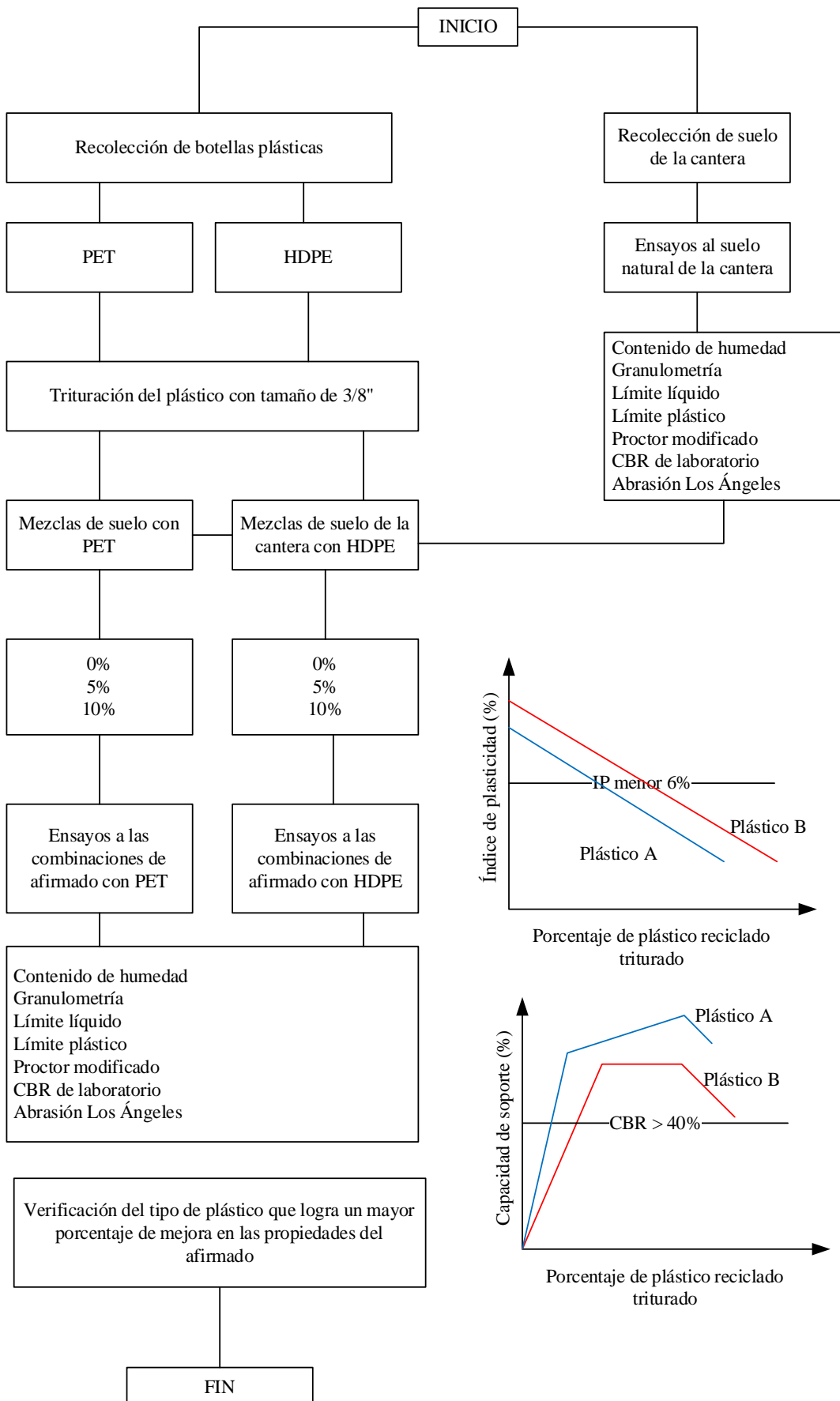
Primero, se recolectaron residuos plásticos de Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE) provenientes de botellas recicladas. Estos residuos fueron lavados, triturados y tamizados hasta obtener partículas con un tamaño máximo nominal de 3/8", asegurando una distribución homogénea para su incorporación en el afirmado.

Simultáneamente, se extrajo material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, en Chota. Para ello, se realizó una limpieza superficial del área de muestreo y se recolectó el material con herramientas manuales, almacenándolo en sacos debidamente etiquetados. La ubicación de la cantera fue registrada con un GPS portátil para documentar su procedencia.

Posteriormente, tanto los residuos plásticos como el material de afirmado fueron sometidos a ensayos de laboratorio. Se realizaron pruebas físicas y mecánicas, incluyendo contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, compactación (Proctor modificado), desgaste por abrasión Los Ángeles y CBR.

Finalmente, se elaboraron mezclas con 0%, 5% y 10% de PET y HDPE en el afirmado, evaluando su comportamiento mediante pruebas de laboratorio para determinar su viabilidad como material para afirmado vial conforme a la normativa EG-2013 (MTC, 2015).

Figura 13 *Flujograma del Proceso de Obtención de Datos*



3.6.1.1. Obtención y trituración de plástico PET y HDPE de TMN 3/8”.

Para la obtención y trituración del plástico PET y HDPE con un tamaño máximo nominal de 3/8”, se recolectaron botellas de gaseosa, cifrut y galones de aceite vegetal Alpha para el PET, mientras que para el HDPE se recolectaron botellas de yogurt (pequeñas y grandes), botellas de lejía (pequeñas y grandes), galones de aceite de motos y galones de aceite de carros. La recolección se realizó en botaderos ubicados a las afueras de la ciudad de Chota, así como en talleres de vehículos y motocicletas (galones de aceite de motos y carros). Se aplicaron diferentes métodos de limpieza según el tipo de plástico: para el PET, se retiraron etiquetas, aros y tapas, y se utilizó agua y detergente, asegurando una limpieza completa; en casos de suciedad interna, se realizaron cortes adicionales para facilitar el lavado. Para el HDPE, se utilizó gasolina para remover residuos de aceite, seguido de un lavado con agua y detergente; se dejaron las tapas en el HDPE y solo se retiraron las etiquetas.

El corte de los plásticos se realizó manualmente utilizando cúter, obteniendo fragmentos grandes que se almacenaron en sacos. Para reducir el espacio que ocupaban, se pisaron las botellas reduciendo su volumen, lo que permitió compactar 25 kg de PET en dos sacos y 25 kg de HDPE en dos sacos, obteniendo un total de 50 kg listos para su posterior trituración.

Los plásticos cortados fueron llevados a Chiclayo y triturados mecánicamente en la Picadora El Piuranito, para garantizar el TMN de 3/8”, el PET y HDPE se trituraron tres veces en la máquina. Finalmente, los materiales triturados se almacenaron en bolsas etiquetadas y se resguardaron en un lugar seco y seguro en la ciudad de Chota para su posterior uso en la investigación.

a) Equipos, materiales e instrumentos:

- Cúter
- Trituradora mecánica
- Contenedores de recolección para PET y HDPE
- Guantes de seguridad
- Gafas de protección
- Báscula digital
- Cinta métrica
- Bolsas de almacenamiento etiquetadas
- Mesa de trabajo
- Marcadores permanentes

b) Procedimiento:

- Se recolectaron botellas de bebidas, recipientes de yogurt y galones de lejía en botaderos ubicados a las afueras de la ciudad de Chota. Asimismo, se recolectaron galones de aceite de motos y carros en talleres de vehículos y motocicletas.
- Se clasificaron los plásticos según su tipo: PET (botellas de bebidas) y HDPE (galones de yogurt, lejía y aceite de carros y motos).
- Para la limpieza del PET, se retiraron etiquetas, aros y tapas, y se lavaron los envases con agua y detergente. En casos de suciedad interna, se realizaron cortes adicionales para facilitar el lavado.
- Para la limpieza del HDPE, se utilizó gasolina para remover residuos de aceite, seguido de un lavado con agua y detergente. Se dejaron las tapas y solo se retiraron las etiquetas.

- Ambos plásticos se secaron completamente antes de continuar con el proceso.
- Se trasladaron los plásticos limpios y secos a la mesa de trabajo, donde se prepararon los sacos de almacenamiento y se dispuso del cúter para el corte manual.
- Se cortaron manualmente los plásticos en fragmentos grandes utilizando cúter, procurando que cada pieza no superara el tamaño máximo nominal de 3/8". Durante este proceso, se utilizó equipo de protección personal (guantes y gafas de protección).
- Los fragmentos cortados se almacenaron en sacos grandes.
- Los plásticos cortados fueron llevados a Chiclayo para su trituración mecánica en la Picadora El Piuranito, donde se trituraron tres veces para garantizar el TMN de 3/8".
- Se pesaron los residuos triturados con una báscula digital, registrando el peso total de PET y HDPE por separado en una hoja de control.
- Finalmente, se colocaron los plásticos triturados en bolsas de almacenamiento etiquetadas con el tipo de material y su peso, y se almacenaron en un lugar seco y seguro en la ciudad de Chota hasta su posterior uso en la investigación.

Figura 14

Proceso de Obtención del plástico HDPE y PET



Figura 15

Proceso de Limpieza del plástico HDPE y PET



3.6.1.2. Muestreo de suelo de afirmado en la cantera Sivingan Bajo.

Para el muestreo de suelo de afirmado en la cantera Sivingan Bajo, se seleccionó material que previamente había sido extraído con maquinaria y se encontraba acumulado en la superficie. No se realizó extracción directa del talud, ya que el material había sido removido y depositado en montículos en la zona de almacenamiento. Se identificaron las zonas superficiales más representativas del material de afirmado, asegurando que estuvieran libres de contaminantes. Utilizando palas, se recolectó el material de manera uniforme para garantizar su representatividad. Se llenaron seis sacos, completando un poco más de las tres cuartas partes de cada uno, lo que permitió facilitar su manejo y transporte. Cada saco fue etiquetado con información sobre la ubicación de extracción, fecha y tipo de material, y estos datos se registraron en la libreta de campo. Luego, se pesaron los sacos con una báscula portátil para verificar su peso y se anotó la información correspondiente. Finalmente, el material fue cargado en el vehículo de transporte y trasladado al laboratorio, donde se almacenó en condiciones adecuadas para su posterior análisis.

a) Equipos, materiales e instrumentos:

- Pala
- Pico
- Sacos impermeables de 50 kg
- Guantes de seguridad
- Gafas de protección
- Cinta métrica
- Marcadores permanentes
- Etiquetas adhesivas

- Libreta de campo y lápiz
- Báscula portátil
- Vehículo de transporte

b) Procedimiento:

- Se identificaron y seleccionaron las zonas de acumulación superficial del material de afirmado en la cantera Sivingan Bajo, donde previamente había sido extraído con maquinaria. No se realizó extracción directa del talud.
- Se recolectó el material utilizando palas, asegurando que proviniera de las capas superiores y libres de contaminantes, garantizando así su representatividad.
- Se llenaron seis sacos, completando un poco más de las tres cuartas partes de cada uno para facilitar su manejo y transporte.
- Cada saco fue etiquetado con información relevante, incluyendo la ubicación de extracción, la fecha del muestreo y el tipo de material. Además, estos datos fueron registrados en la libreta de campo.
- Se utilizó una báscula portátil para pesar cada saco y verificar que cumpliera con el peso estimado de 50 kg. Esta información se anotó junto con los datos de la etiqueta.
- Finalmente, los sacos de material fueron cargados en el vehículo de transporte y trasladados al laboratorio, donde se almacenaron en condiciones adecuadas para preservar sus características originales hasta su análisis posterior.

Figura 16

Cantera Sivingan Bajo



Figura 17

Muestreo de Suelo de Afirmado en la Cantera Sivingan Bajo



3.6.1.3. Ensayos de laboratorio al suelo natural y a las mezclas con plástico triturado PET y HDPE.

Para la realización de los ensayos de laboratorio al suelo natural y a las mezclas con plástico triturado, primero se prepararon las muestras de suelo con PET y HDPE en proporciones de 0%, 5% y 10%. Para ello, se pesaron las cantidades específicas de suelo y plástico triturado, mezclándolos manualmente hasta obtener una distribución homogénea, tras lo cual cada muestra fue etiquetada y almacenada en recipientes adecuados. Posteriormente, se llevaron a cabo los ensayos de laboratorio en el laboratorio GSE de la ciudad de Chota, siguiendo normas ASTM establecidas. Se determinó el contenido de humedad mediante secado en horno, y el análisis granulométrico se realizó a través del tamizado de las muestras. Los límites líquido y plástico se obtuvieron con el dispositivo de Casagrande y la prueba de amasado, respectivamente. Para evaluar la compactación, se realizó el ensayo Proctor modificado, mientras que el ensayo CBR permitió medir la resistencia del suelo después de un proceso de expansión y penetración. Finalmente, se ejecutó el ensayo de abrasión Los Ángeles, en el cual se sometieron las muestras a desgaste en una máquina rotatoria con bolas de acero, determinando la resistencia al desgaste del agregado.

a) Equipos, materiales e instrumentos:

- Báscula digital de precisión
- Recipientes de mezclado
- Espátulas y cucharas de mezclado
- Guantes de seguridad
- Sacos de plástico triturado (PET y HDPE)
- Agua destilada

- Horno de secado
- Tamices estándar
- Molde y martillo de compactación Proctor
- Dispositivo para ensayo de límite líquido (Casagrande)
- Placa de vidrio para ensayo de límite plástico
- Equipo de ensayo CBR
- Máquina de abrasión Los Ángeles
- Regla y cinta métrica
- Libreta de campo y lápiz

b) Procedimientos para la mezcla de suelo con PET y HDPE triturado:

- Se pesó una cantidad específica de suelo natural utilizando una báscula digital y se colocó en un recipiente para su mezclado.
- Se pesaron las cantidades necesarias de PET y HDPE triturado para obtener mezclas con proporciones de 0%, 5% y 10% del peso total del suelo. Cada proporción fue preparada por separado.
- Se agregó el plástico triturado (PET o HDPE) al suelo en el recipiente de mezclado y se realizó la mezcla manualmente con espátulas y cucharas hasta obtener una distribución homogénea.
- Se etiquetaron las muestras con su porcentaje correspondiente de PET o HDPE y se almacenaron en recipientes adecuados hasta su análisis en el laboratorio.

c) Procedimientos para ensayo de contenido de humedad ASTM D2216-19 (2019)

- Se pesó una muestra de suelo y se colocó en un recipiente adecuado.
- Se introdujo la muestra en el horno de secado a una temperatura de 105-110°C hasta eliminar completamente la humedad.
- Luego, se pesó nuevamente la muestra y se calculó el contenido de humedad comparando el peso antes y después del secado.

Figura 18

Realización del Ensayo de Contenido de Humedad



d) Procedimientos para ensayo de análisis granulométrico ASTM D6913 / D6913M - 17 (2021)

- Se tomó una muestra de suelo seco y se pasó por una serie de tamices estándar.
- Se pesó el material retenido en cada tamiz y se calculó el porcentaje de granulometría acumulada.
- Se determinó la distribución del tamaño de partículas dentro de la muestra analizada.

Figura 19

Realización del Ensayo de Análisis Granulométrico: 100% Material de Cantera

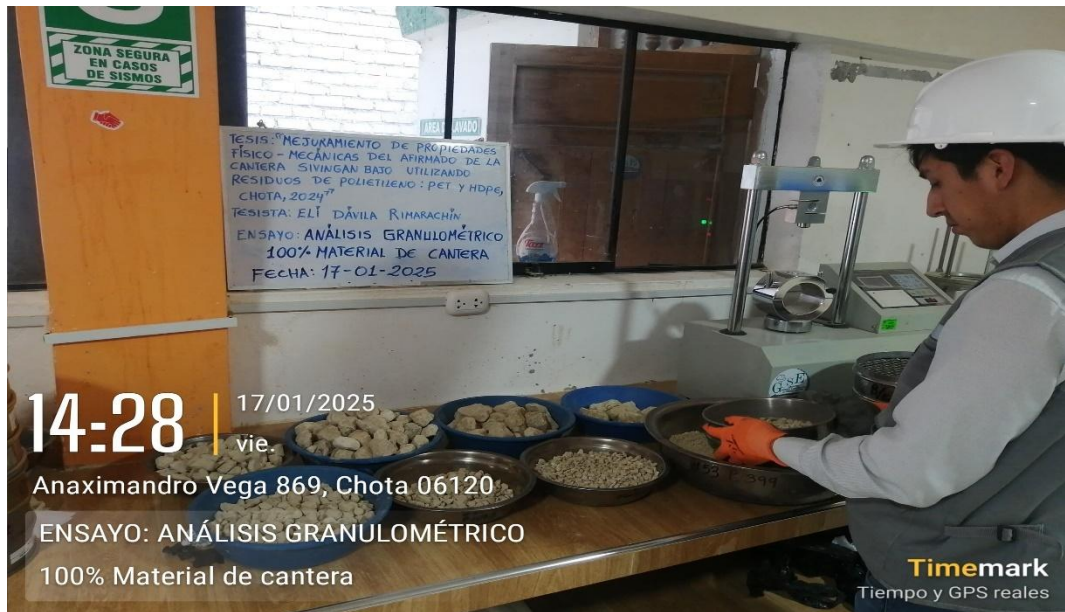


Figura 20

Realización del Ensayo de Análisis Granulométrico: 95% Material de Cantera y 5% HDPE



e) **Procedimientos para ensayo del límite líquido ASTM D4318 - 17e1**

(2018):

- Se preparó una pasta de suelo con agua y se colocó en el dispositivo de Casagrande.
- Se aplicaron golpes al dispositivo hasta que la ranura en la muestra se cerró en una longitud específica.
- Se determinó el contenido de humedad en este punto y se registró como el límite líquido.

Figura 21

Realización del Ensayo de Límites de Consistencia: 100% Material de Cantera

– Límite Líquido



f) Procedimientos para ensayo del límite plástico ASTM D4318 - 17e1

(2018):

- Se tomó una muestra de suelo y se amasó en una placa de vidrio, formando un cilindro delgado.
- Se continuó amasando hasta que el cilindro se rompió a un diámetro específico.
- Se calculó el contenido de humedad en ese punto y se registró como el límite plástico.

Figura 22

Realización del Ensayo de Límites de Consistencia: 100% Material de Cantera - Límite Plástico



g) **Procedimientos para ensayo de Proctor modificado ASTM D1557 - 12e1**

(2021)

- Se compactó una muestra de suelo en un molde utilizando un martillo de compactación.
- Se siguió un procedimiento estandarizado de capas y golpes para obtener la máxima compactación posible.
- Se determinó la densidad seca máxima y el contenido de humedad adecuado para la compactación del suelo.

Figura 23

Realización del Ensayo de Proctor modificado



h) Procedimientos para ensayo de CBR de laboratorio ASTM D1883 -1

(2021):

- Se compactó una muestra de suelo en un molde siguiendo los procedimientos específicos de ensayo.
- Para alcanzar el 95% del peso unitario seco máximo, se utilizó un proceso de compactación aplicando 10 golpes, 25 golpes y 56 golpes por capa. Se verificó que cada muestra alcanzara el peso y la densidad adecuados antes de continuar con el ensayo.
- La muestra se sumergió en agua durante cuatro días para evaluar su expansión.
- Posteriormente, se realizó un ensayo de penetración con un pistón estándar para medir la resistencia del suelo.
- Se calculó el Índice de Soporte de California (CBR) comparando la resistencia obtenida con la de un suelo patrón.

Figura 24

Realización del Ensayo de CBR de Laboratorio – 56 Golpes



i) Procedimientos para ensayo de abrasión los ángeles ASTM C 13 (2020):

- Para los porcentajes de adición de PET y HDPE, se trabajó con el Método C, utilizando menos bolas de acero y 1000 revoluciones para una abrasión moderada.
- Para el afirmado de la cantera sin aditivos, se utilizó el Método A, con más bolas de acero y 500 revoluciones para un desgaste más agresivo.
- Se colocó la muestra en la máquina junto con las bolas de acero y se hizo girar según el método aplicado.
- Se pesó el material que pasó por un tamiz específico para calcular la resistencia al desgaste.

Figura 25

Realización del Ensayo de Abrasión Los Angeles



3.6.2. *Procesamiento de datos*

Se recopilaron todos los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio y del muestreo de suelo, incluyendo los resultados de contenido de humedad, análisis granulométrico, límites líquido y plástico, pruebas de compactación Proctor modificado, capacidad de soporte CBR y resistencia a la abrasión Los Ángeles. Estos datos fueron organizados para facilitar su análisis y comparación en una hoja de cálculo en Microsoft Excel. Dentro de esta hoja, se crearon varias pestañas para clasificar la información según el tipo de ensayo y el porcentaje de PET y HDPE utilizado en las mezclas.

Una vez ingresados todos los datos, se elaboraron tablas comparativas en Excel. Estas tablas presentaron las propiedades del suelo natural y de los suelos mezclados con PET y HDPE en proporciones de 0%, 5% y 10%. Además, se generaron figuras basadas en las tablas creadas. Se utilizaron gráficos de barras para comparar los resultados de los distintos ensayos, así como gráficos de líneas o de dispersión para visualizar las tendencias en los resultados conforme se modificaban las proporciones de PET y HDPE.

Después de la elaboración de gráficos y tablas, se analizaron los datos para identificar patrones y diferencias significativas en las propiedades del afirmado con las distintas mezclas de plástico. Este análisis permitió evaluar el impacto de los aditivos PET y HDPE en las características del suelo de afirmado y determinar sus efectos en comparación con el suelo natural.

3.6.3. *Análisis de datos*

Se consultó el “Manual de Suelos, Geología y Geotecnia en la sección de suelos y pavimentos” (MTC, 2014) - para comparar los resultados obtenidos con los requisitos establecidos para un afirmado adecuado, se verificó que los datos de propiedades del suelo, como la granulometría, límites líquido y plástico, capacidad de soporte CBR y resistencia a la abrasión Los Ángeles, cumplieran con los estándares exigidos para un afirmado efectivo. Se identificó si las mezclas de suelo con PET y HDPE, en las proporciones de 0%, 5% y 10%, satisfacían los criterios establecidos en el manual.

Luego, se realizó un análisis inferencial estadístico utilizando el programa Minitab 22 para determinar cuál de los dos materiales, PET o HDPE, logró un mayor mejoramiento en las propiedades físico-mecánicas del afirmado. Se ingresaron los datos de las mezclas de suelo con PET y HDPE en el programa y se llevó a cabo un análisis estadístico para comparar los efectos de ambos tipos de plástico en las propiedades del afirmado. Se aplicaron pruebas estadísticas apropiadas, como análisis de varianza (ANOVA) o pruebas t, para identificar diferencias significativas en el rendimiento de las mezclas.

Una vez realizados estos análisis, se interpretaron los resultados para evaluar cuál de los materiales (PET o HDPE) mostró un mayor impacto positivo en las propiedades del afirmado. Se elaboraron conclusiones basadas en los resultados estadísticos y se redactaron recomendaciones para futuras investigaciones o aplicaciones prácticas en la mejora del afirmado.

3.7. Aspectos éticos

En la investigación se aplicaron varios aspectos éticos y criterios de rigor científico esenciales para garantizar la validez y la integridad del estudio. Estos aspectos incluyeron: (Acevedo, 2002)

Obtención de permisos y cumplimiento normativo: Se obtuvieron todos los permisos necesarios para la recolección de muestras en la cantera Sivingan Bajo, asegurándose de cumplir con las normativas locales y ambientales. Esto incluyó la obtención de autorizaciones de las autoridades competentes y el respeto a las regulaciones sobre el manejo de materiales y la protección del medio ambiente. La investigación se llevó a cabo de manera que no causara daño a la cantera ni a su entorno natural.

Transparencia y reproducibilidad: Se documentaron de manera exhaustiva todos los métodos, procedimientos y resultados de la investigación. Esto permitió que otros investigadores pudieran replicar el estudio y verificar los hallazgos. Las técnicas de recolección de datos, los procesos de análisis y los cálculos fueron descritos en detalle en los informes y publicaciones derivadas de la investigación.

Objetividad y precisión en el análisis: Se llevó a cabo un análisis objetivo de los resultados, evitando sesgos que pudieran influir en las conclusiones. Los datos fueron analizados utilizando métodos estadísticos adecuados y se interpretaron de manera imparcial, siguiendo criterios científicos establecidos. Los resultados se presentaron de manera honesta, sin manipulación de los datos para ajustarlos a expectativas preconcebidas.

Integridad en la presentación de resultados: Los resultados obtenidos fueron presentados de manera clara y completa, incluyendo tanto los hallazgos positivos como negativos. Se evitó la omisión de resultados que no respaldaran

las hipótesis iniciales. La integridad en la presentación permitió una evaluación justa de la eficacia de los materiales PET y HDPE en comparación con los estándares de afirmado.

Validación y verificación de métodos: Se utilizaron métodos de ensayo y técnicas de análisis validados y aceptados por la comunidad científica para garantizar la fiabilidad de los resultados. Los ensayos de laboratorio y los análisis estadísticos se realizaron siguiendo normas internacionales y se validaron contra estándares de calidad para asegurar la precisión y exactitud de los datos.

Responsabilidad ambiental y social: Se tuvo en cuenta el impacto ambiental y social de la investigación, especialmente en el uso de materiales reciclados como PET y HDPE. Se evaluó cómo el uso de estos materiales afectaba la sostenibilidad y la reducción de residuos, promoviendo prácticas que beneficiaran al medio ambiente y a la comunidad.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados

4.1.1. *Propiedades físicas del material de afirmado con PET y HDPE*

4.1.1.1. **Propiedades físicas del afirmado con PET.**

El análisis de las propiedades físicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo con la incorporación de distintos porcentajes de PET permitió evaluar cómo varía la granulometría, el contenido de humedad y la plasticidad del material, en comparación con los requisitos establecidos en la EG-2013 (MTC, 2015). El contenido de humedad del material aumenta con la adición del plástico; sin PET, el material presenta humedad de 6.90%, incrementándose a 7.50% con 5% de PET y a 8.10% con 10% de PET.

En cuanto a la distribución granulométrica, la proporción de grava disminuye progresivamente de 73.9% sin PET a 66.6% con 10% de PET, mientras que el contenido de arena aumenta de 8.8% a 17.7% en el mismo rango. Esto indica que la adición de PET favorece un mayor porcentaje de partículas intermedias dentro de la mezcla. El contenido de finos se mantiene relativamente estable, con valores entre 17.3% y 15.7%, lo que indica que la adición de PET no altera significativamente la presencia de partículas más pequeñas.

Respecto al cumplimiento de los requisitos granulométricos de la EG-2013, se observa que el material sin PET no cumple con el porcentaje mínimo exigido en el tamiz N° 4 (26.1%), pero con la adición de 5% y 10% de PET (30.1% y 33.4%, respectivamente), el material logra entrar en el rango permitido de 30-60%. En los tamices N° 10 y N° 40, todos los valores se encuentran dentro de los rangos establecidos en la normativa, lo que indica que la granulometría en estas

fracciones sigue siendo adecuada para el afirmado. Sin embargo, en el tamiz N° 200, el material sin PET presenta un 17.3% de partículas finas, excediendo el límite máximo permitido de 5-15%. Con la adición de 5% de PET (16.4%) y 10% de PET (15.7%), el valor se acerca al límite superior, pero aún requiere ajustes para cumplir completamente con la norma.

En cuanto a las propiedades plásticas del material, el límite líquido (LL) disminuye con la incorporación de PET, pasando de 31.4% sin PET a 28.3% con 10% de PET. A pesar de esta reducción, sigue estando por encima del máximo permitido de 25%, lo que indica que el material sigue siendo algo plástico. El índice de plasticidad (IP) también muestra una reducción progresiva, bajando de 11.2% sin PET a 9.8% con 10% de PET, pero sigue superando el máximo permitido de 6%, lo que indica que el afirmado aún posee una plasticidad mayor a la recomendada para una base granular.

Tabla 13

Propiedades Físicas del Material de Afirmado con PET

Propiedades	PET			Requisitos de la EG-2013 (MTC, 2015)
	0%	5%	10%	
Humedad	6.90	7.50	8.10	
Grava (%)	73.9	69.9	66.6	
Arena (%)	8.8	13.7	17.7	
Finos (%)	17.3	16.4	15.7	
Pasa N° 4 (%)	26.1	30.1	33.4	30-60%
Pasa N° 10 (%)	23.0	24.8	25.5	20-45%
Pasa N° 40 (%)	19.0	20.4	20.2	15-30%
Pasa N° 200 (%)	17.3	16.4	15.7	5-15%
LL (%)	31.4	30.2	28.3	Máx. 25%
LP (%)	20.2	19.8	18.5	
IP (%)	11.2	10.4	9.8	Máx. 6%

Figura 26

Límite Líquido del Material de Afirmado con PET

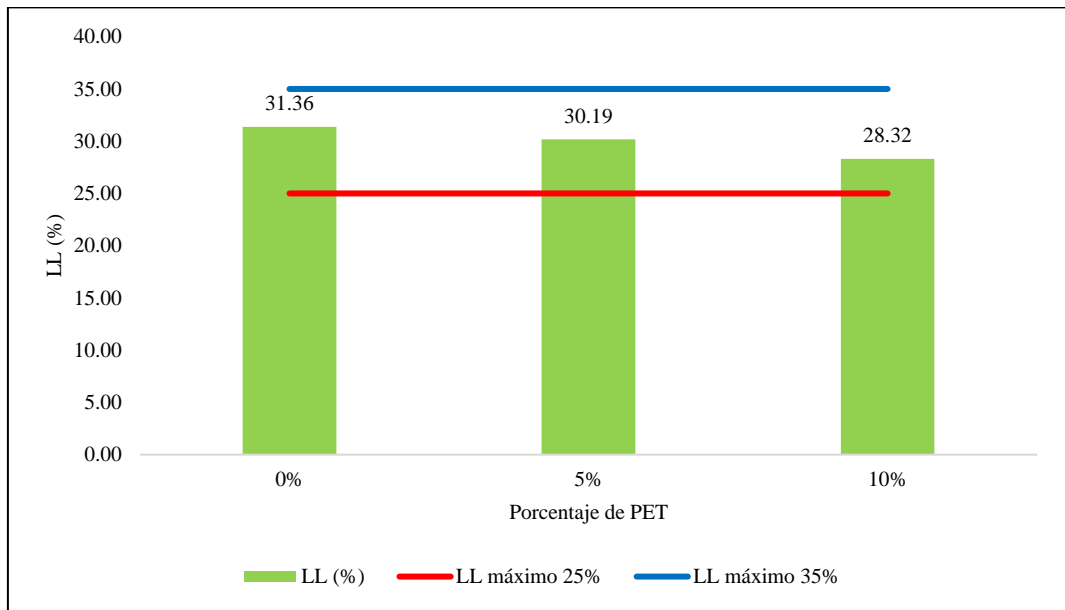
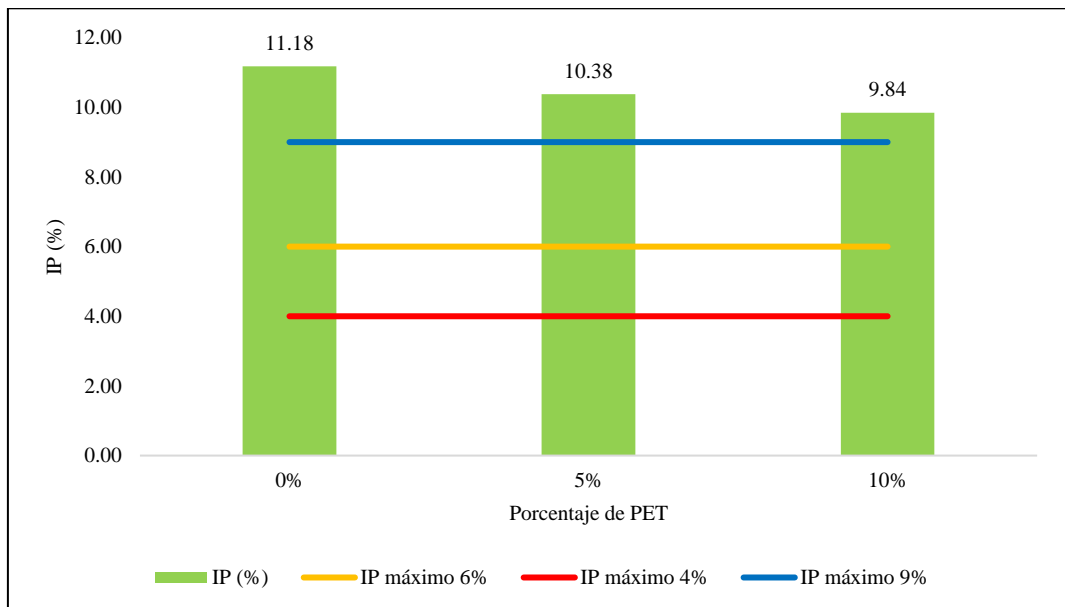


Figura 27

Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con PET



a) Contenido de humedad

Sin adición de PET, el contenido de humedad es de 6.90%. Con 5% de PET, la humedad aumenta a 7.50%, con 10% de PET, el contenido de humedad sube aún más a 8.10%. Estos valores indican que la incorporación de PET incrementa progresivamente la humedad del material, lo que sugiere que el PET tiene tendencia a retener más agua en la mezcla.

Tabla 14

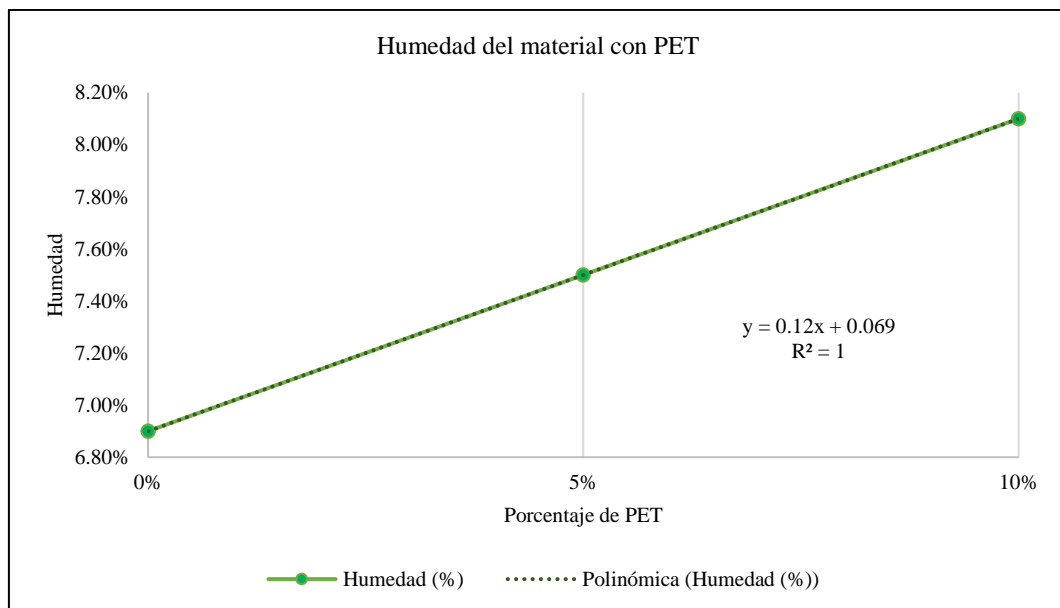
Contenido de Humedad del Material de Afirmado con PET

PET	Humedad	Porcentaje de reducción
0%	6.90%	0.00%
5%	7.50%	8.70%
10%	8.10%	17.39%

La Figura 28 muestra la relación entre el contenido de humedad del material de afirmado y el porcentaje de adición de PET, evidenciando incremento lineal en la humedad conforme aumenta la cantidad de PET en la mezcla.

Figura 28

Humedad del Material de Afirmado con PET



b) Granulometría

El análisis de la curva granulométrica del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo con la incorporación de PET permite evaluar el impacto de este material en la distribución de partículas y determinar si cumple con los límites establecidos en el Huso A de la EG-2013 (MTC, 2015).

En los tamices mayores (3" a 2"), el 100% del material pasa, lo que indica que la fracción gruesa del afirmado no se ve afectada por la adición de PET. En los tamices intermedios (1 1/2" a 3/8"), se observa un ligero incremento en el porcentaje de material que pasa conforme aumenta la cantidad de PET, lo que puede favorecer la compactación y estabilidad del material.

En los tamices finos (N° 4 a N° 40), la proporción de material que pasa también aumenta con la incorporación de PET. En el tamiz N° 4, el porcentaje de paso se incrementa de 30.1% sin PET a 45.7% con 10% de PET, cumpliendo con el rango normativo (30-60%). De manera similar, en los tamices N° 10 y N° 40, los valores se encuentran dentro de los límites exigidos, asegurando una granulometría adecuada para su uso en afirmado.

En los tamices finos, como N° 4 (4.75 mm), N° 10 (2 mm) y N° 40 (0.43 mm), se nota un aumento progresivo en el porcentaje de material que pasa con la adición de PET. En el tamiz N° 4, el porcentaje de material que pasa varía de 26.1% sin PET a 33.4% con 10% de PET, permitiendo que el material cumpla con el rango exigido en la normativa (30-60%). De manera similar, en los tamices N° 10 y N° 40, los valores obtenidos están dentro de los límites establecidos, asegurando que la granulometría sigue siendo adecuada para su uso en afirmado.

En el tamiz N° 200 (0.075 mm), el porcentaje de material fino disminuye con la adición de PET, pasando de 17.3% sin PET a 15.7% con 10% de PET.

Aunque esta reducción es positiva, el valor sigue estando ligeramente por encima del rango permitido de 5-15%, lo que sugiere que la adición de PET contribuye a reducir la cantidad de partículas demasiado finas, lo que puede favorecer una menor plasticidad del material y mejorar su comportamiento ante la compactación.

Tabla 15

Datos para la Curva Granulométrica para el Huso A del Material de Afirmado con PET

N°	Tamiz Abertura (mm)	Porcentaje que pasa (%) de acuerdo al				
		porcentaje de residuos de PET			Huso granulométrico A	
		0%	5%	10%	Límite inferior	Límite superior
3"	75.00	100.0	100.0	100.0		
2 1/2"	63.50	100.0	100.0	100.0		
2"	50.00	93.0	91.5	88.3	100	100
1 1/2"	37.50	78.3	78.4	75.3		
1"	25.00	57.1	69.1	63.8		
3/4"	19.00	47.8	59.5	54.3		
1/2"	12.50	37.2	46.8	45.7		
3/8"	9.50	33.3	40.9	42.3	45	80
N° 4	4.75	26.1	30.1	33.4	30	65
N° 8	2.38	23.9	25.8	26.1		
N° 10	2.00	23.0	24.8	25.5	22	52
N° 16	1.19	21.3	22.9	23.2		
N° 20	0.85	20.2	21.7	21.8		
N° 30	0.60	19.5	21.0	20.9		
N° 40	0.43	19.0	20.4	20.2	15	35
N° 50	0.30	18.7	19.7	19.7		
N° 60	0.25	18.3	18.7	18.4		
N° 100	0.15	17.9	17.9	17.5		
N° 140	0.11	17.6	17.0	16.4		
N° 200	0.08	17.3	16.4	15.7	5	20

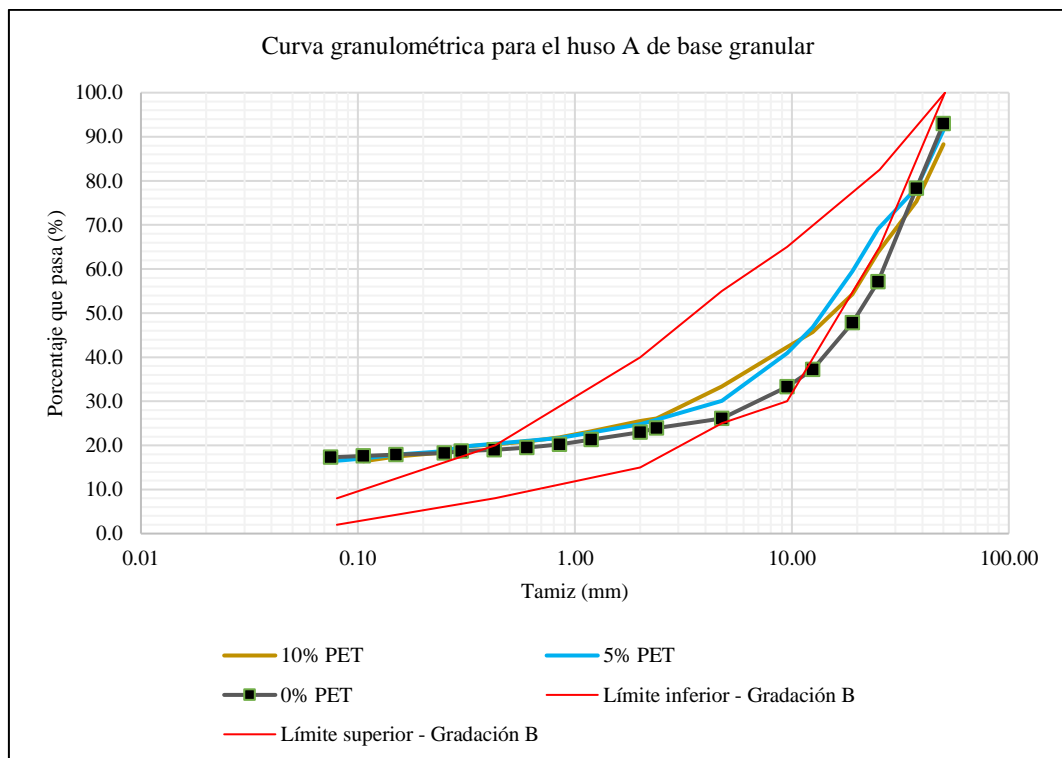
Las curvas correspondientes a 0%, 5% y 10% de PET presentan una distribución de partículas similar, con ligeras variaciones a medida que aumenta la cantidad de PET. Se observa que la adición de PET incrementa el porcentaje de material fino, acercándose al límite superior de la Gradación B.

El material con 5% y 10% de PET se ajusta mejor al rango establecido por la normativa, mostrando una distribución más uniforme dentro de los límites aceptables. Sin embargo, el contenido de finos en algunos puntos sigue siendo alto, lo que puede influir en la trabajabilidad y compactación del afirmado.

Por lo tanto, la adición de PET mejora la distribución granulométrica del material, acercándolo a los requisitos del Huso A. No obstante, es necesario controlar la proporción de finos para asegurar que el material cumpla completamente con las especificaciones de la normativa.

Figura 29

Curva Granulométrica para el Huso A del Material de Afirmado con PET



c) Límite líquido

El análisis del LL del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, combinado con distintos porcentajes de residuos de PET (0%, 5% y 10%), permite evaluar su variación y determinar si cumple con los requisitos establecidos en la EG-2013 (MTC, 2015). Según esta normativa, el límite líquido para afirmado no debe superar el 35%, por lo que es fundamental verificar que los valores obtenidos se mantengan dentro de este rango.

Los resultados muestran que el material sin adición de PET presenta un límite líquido de 31.36%, lo que indica que cumple con la normativa sin necesidad de modificaciones. Sin embargo, al incorporar 5% de PET, este valor disminuye a 30.19%, representando una reducción del 3.73% en comparación con la muestra original. La tendencia decreciente continúa con la adición de 10% de PET, donde el límite líquido baja aún más hasta 28.32%, alcanzando una reducción total del 9.69% respecto a la mezcla sin PET.

Al comparar las distintas combinaciones, se observa que la incorporación de PET reduce progresivamente el límite líquido del material, lo que sugiere una disminución en su plasticidad. Este efecto es positivo, ya que un menor límite líquido generalmente se asocia con un material más estable y con mejor comportamiento ante la compactación y la humedad. Mientras que la mezcla sin PET ya cumple con los requisitos normativos, la adición del polímero mejora aún más sus propiedades al hacer que el material sea menos plástico y, por lo tanto, más adecuado para su uso en afirmados.

Tabla 16

Límite Líquido del Material de Afirmado con PET

PET	Humedad	Porcentaje de reducción
0%	31.36	0.00%
5%	30.19	-3.73%
10%	28.32	-9.69%

Figura 30

Curva de Fluides del Material de Afirmado con PET

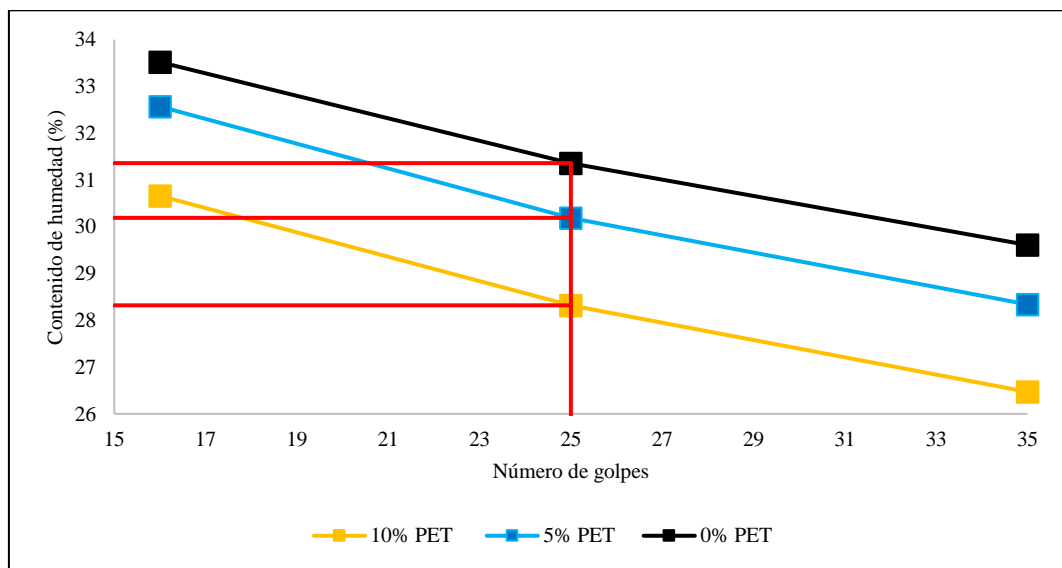
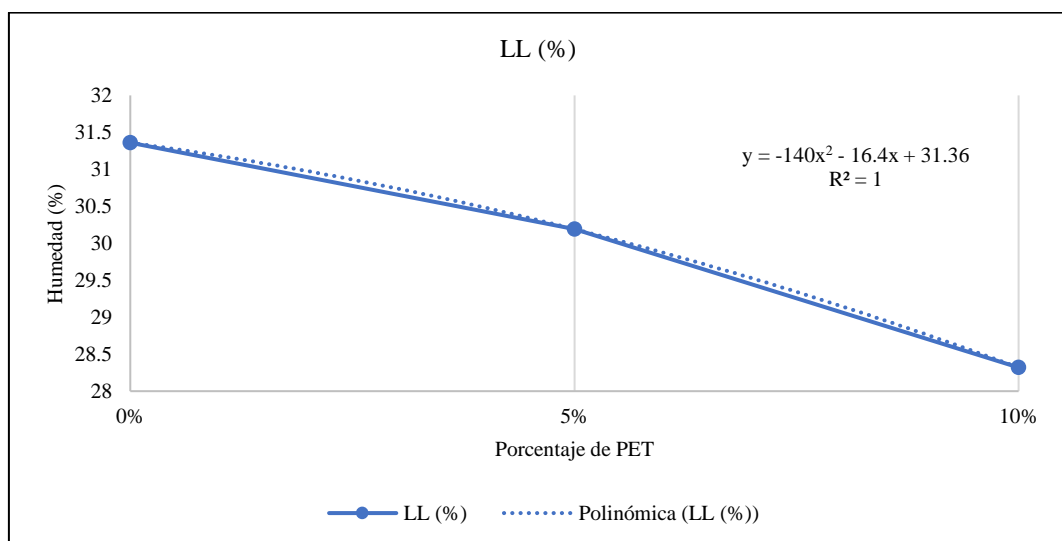


Figura 31

Límite Líquido del Material de Afirmado con PET



d) Límite plástico

El análisis del LP del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, combinado con distintos porcentajes de residuos de PET (0%, 5% y 10%), permite evaluar cómo varía esta propiedad con la adición del material reciclado y su posible impacto en la estabilidad del afirmado.

Los resultados muestran que el material sin adición de PET (0%) presenta un límite plástico de 20.18%. Al incorporar 5% de PET, este valor disminuye ligeramente a 19.81%, representando una reducción del 1.83% con respecto a la mezcla original. Con 10% de PET, el límite plástico se reduce aún más hasta 18.48%, alcanzando una disminución total del 8.42% en comparación con el material sin PET.

Al comparar estas combinaciones, se observa que el límite plástico disminuye conforme se incrementa la cantidad de PET en la mezcla, lo que indica que el material se vuelve menos plástico y más estable. Esta reducción en la plasticidad del afirmado puede traducirse en una mejor compactación y menor susceptibilidad a deformaciones bajo carga, ya que un menor límite plástico indica una menor cohesión entre las partículas finas y una menor tendencia a cambios volumétricos por efecto de la humedad.

Tabla 17

Límite Plástico del Material de Afirmado con PET

PET	Humedad	Porcentaje de reducción
0%	20.18	0.00%
5%	19.81	-1.83%
10%	18.48	-8.42%

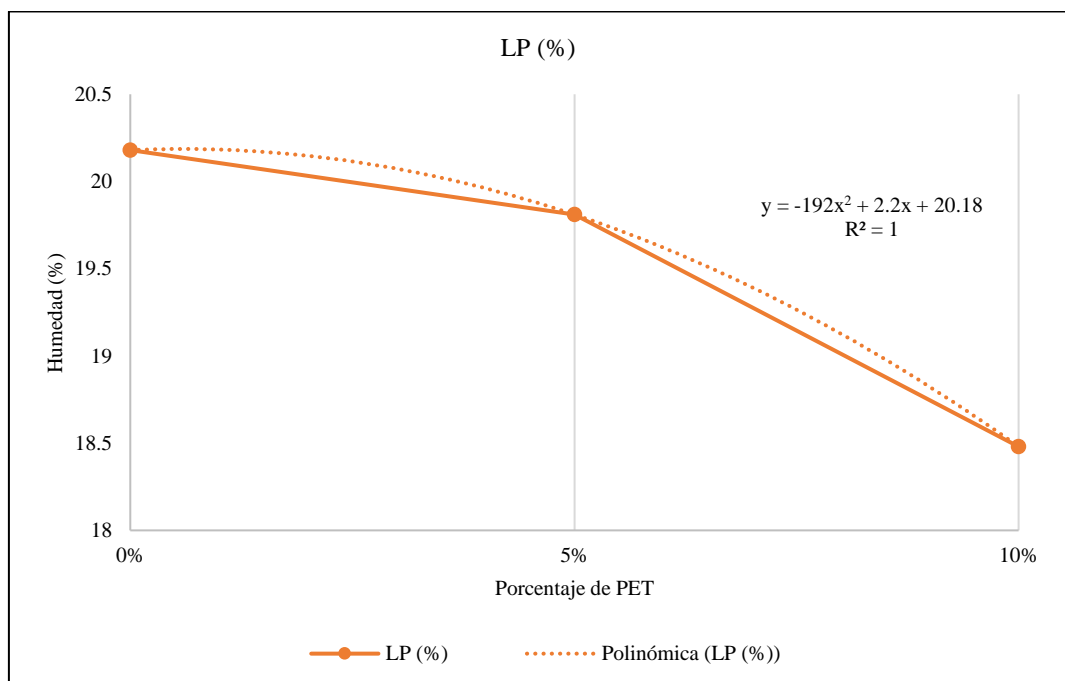
La Figura 32 muestra la variación del Límite Plástico (LP) del material de afirmado con la adición de PET, evidenciando una tendencia decreciente conforme aumenta el porcentaje de PET en la mezcla.

La ecuación de la tendencia es $y = -192x^2 + 2.2x + 20.18$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 1, lo que indica un ajuste perfecto del modelo polinómico a los datos obtenidos. Esto confirma que la reducción del LP sigue un comportamiento no lineal, con una disminución más acentuada a mayores porcentajes de PET.

Se observa que, sin PET, el LP es de 20.18%, disminuyendo a 19.81% con 5% de PET y alcanzando 18.48% con 10% de PET. Esta tendencia sugiere que el PET reduce la plasticidad del material, lo que puede contribuir a una menor susceptibilidad a cambios volumétricos y mejorar la estabilidad del afirmado en condiciones de humedad.

Figura 32

Límite Plástico del Material de Afirmado con PET



e) Índice de plasticidad

El análisis del IP del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, combinado con distintos porcentajes de residuos de PET (0%, 5% y 10%), permite evaluar cómo la adición de este material influye en la plasticidad del suelo y, por ende, en su estabilidad y comportamiento mecánico.

Los resultados muestran que el material sin PET (0%) presenta un Índice de Plasticidad de 11.18%. Con la incorporación de 5% de PET, este valor se reduce a 10.38%, lo que representa una disminución del 7.16% respecto a la muestra sin aditivos. La tendencia decreciente continúa con 10% de PET, donde el índice baja aún más hasta 9.84%, alcanzando una reducción total del 11.99% con relación al material original.

Estos valores indican que la adición de PET disminuye la plasticidad del afirmado, haciéndolo menos susceptible a la humedad y reduciendo su tendencia a deformaciones plásticas. Esta reducción es favorable para mejorar la trabajabilidad y compactación del material, además de incrementar su resistencia estructural.

Tabla 18

Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con PET

PET	Humedad	Porcentaje de reducción
0%	11.18	0.00%
5%	10.38	-7.16%
10%	9.84	-11.99%

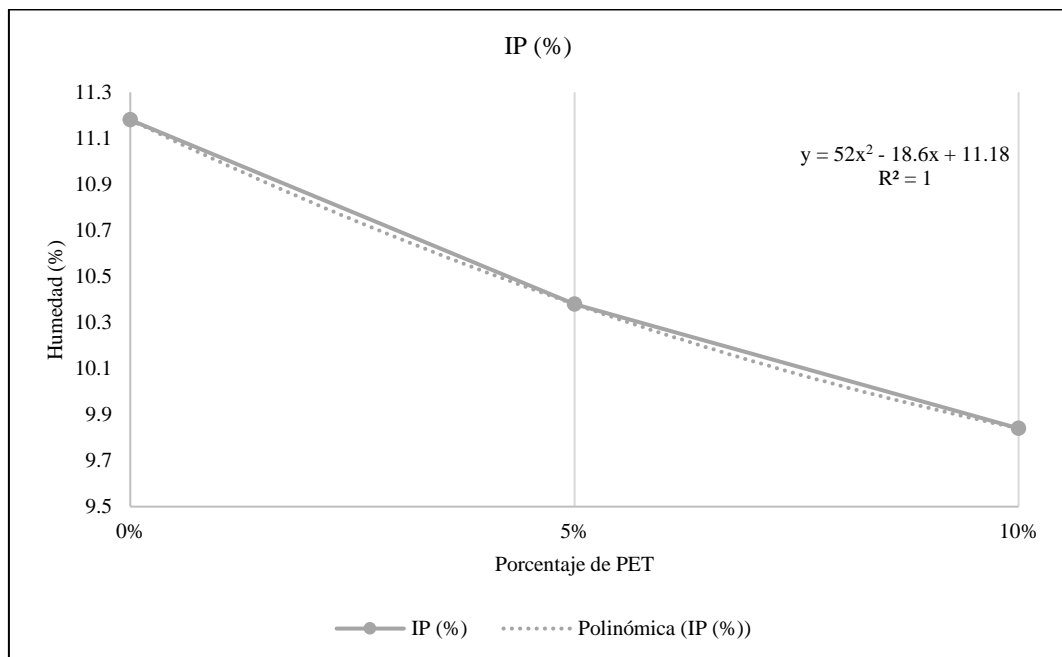
La Figura 33 muestra la variación del Índice de Plasticidad (IP) del material de afirmado con la adición de PET, evidenciando una disminución progresiva conforme aumenta el contenido de PET.

La ecuación de la tendencia es $y = 52x^2 - 18.6x + 11.18$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 1, lo que indica un ajuste perfecto del modelo polinómico a los datos obtenidos. Esto confirma que la reducción del IP sigue una relación cuadrática, con una disminución más marcada a mayores porcentajes de PET.

Se observa que, sin PET, el IP es de 11.18%, reduciéndose a 10.38% con 5% de PET y a 9.84% con 10% de PET. Esta tendencia indica que el PET reduce la plasticidad del material, lo que puede mejorar la estabilidad del afirmado y disminuir su susceptibilidad a deformaciones provocadas por cambios en la humedad.

Figura 33

Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con PET



4.1.1.2. Propiedades físicas del afirmado con HDPE.

El análisis de las propiedades físicas del material de afirmado con la adición de distintos porcentajes de HDPE permite evaluar su comportamiento en comparación con el material sin aditivos y determinar si cumple con los requisitos establecidos en la EG-2013 (MTC, 2015). La humedad del material sin HDPE es de 6.90%, aumentando a 7.80% con 5% de HDPE, lo que sugiere una mayor retención de agua en la mezcla. Sin embargo, con 10% de HDPE, la humedad disminuye ligeramente a 7.10%, lo que podría indicar una mejora en la compactación del material.

En cuanto a la distribución granulométrica, se observa que la proporción de grava disminuye con la adición de HDPE, pasando de 73.9% sin HDPE a 59.6% con 10% de HDPE, mientras que el contenido de arena aumenta significativamente de 8.8% a 24.1% en el mismo rango, indicando una mayor presencia de partículas intermedias en la mezcla. El contenido de finos varía entre 15.5% y 17.3%, sin mostrar cambios significativos, lo que sugiere que la adición de HDPE no afecta drásticamente la presencia de partículas muy pequeñas.

Al evaluar el cumplimiento con los requisitos granulométricos de la EG-2013, se observa que el material sin HDPE no cumple con el porcentaje mínimo exigido en el tamiz N° 4 (26.1%), pero con la adición de 5% y 10% de HDPE (32.2% y 40.4% respectivamente), el material logra ajustarse dentro del rango permitido de 30-60%. En los tamices N° 10 y N° 40, todos los valores se encuentran dentro de los rangos establecidos en la normativa, mientras que en el tamiz N° 200, el material sin HDPE presenta un 17.3% de partículas finas, excediendo el límite de 5-15%. Con la incorporación de 5% de HDPE (15.5%),

se acerca al límite superior permitido, pero con 10% de HDPE (16.3%), sigue estando ligeramente fuera del rango.

En términos de plasticidad, la adición de HDPE genera una notable reducción en el límite líquido, pasando de 31.4% sin HDPE a 25.0% con 5% y 24.4% con 10%, lo que permite cumplir con el valor máximo de 25% establecido en la normativa a partir del 5% de HDPE. El límite plástico también disminuye levemente, aunque sin cambios significativos. El índice de plasticidad, por su parte, muestra una reducción considerable, pasando de 11.2% sin HDPE a 7.7% con 5% y 6.8% con 10%, acercándose al valor límite de 6% aunque sin llegar a cumplirlo completamente.

Tabla 19

Propiedades Físicas del Material de Afirmando con HDPE

Propiedades	HDPE			Requisitos de la EG-2013 (MTC, 2015)
	0%	5%	10%	
Humedad	6.90	7.80	7.10	
Grava (%)	73.9	67.8	59.6	
Arena (%)	8.8	16.7	24.1	
Finos (%)	17.3	15.5	16.3	
Pasa N° 4 (%)	26.1	32.2	40.4	30-60%
Pasa N° 10 (%)	23.0	25.7	27.2	20-45%
Pasa N° 40 (%)	19.0	20.2	22.2	15-30%
Pasa N° 200 (%)	17.3	15.5	16.3	5-15%
LL (%)	31.4	25.0	24.4	Máx. 25%
LP (%)	20.2	17.4	17.7	
IP (%)	11.2	7.7	6.8	Máx. 6%

Figura 34

Límite Líquido del Material de Afirmado con HDPE

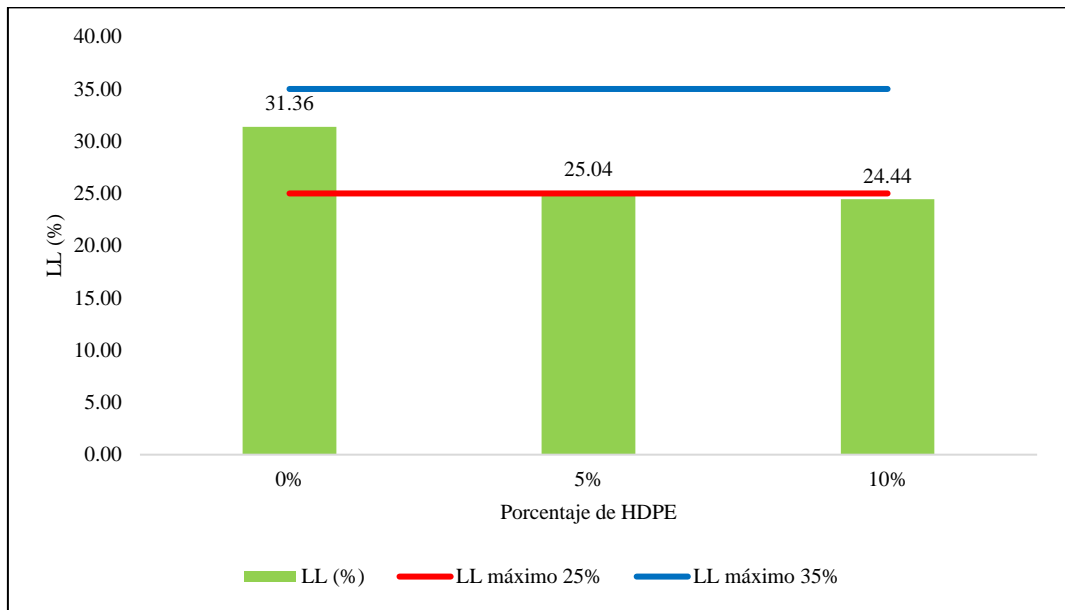
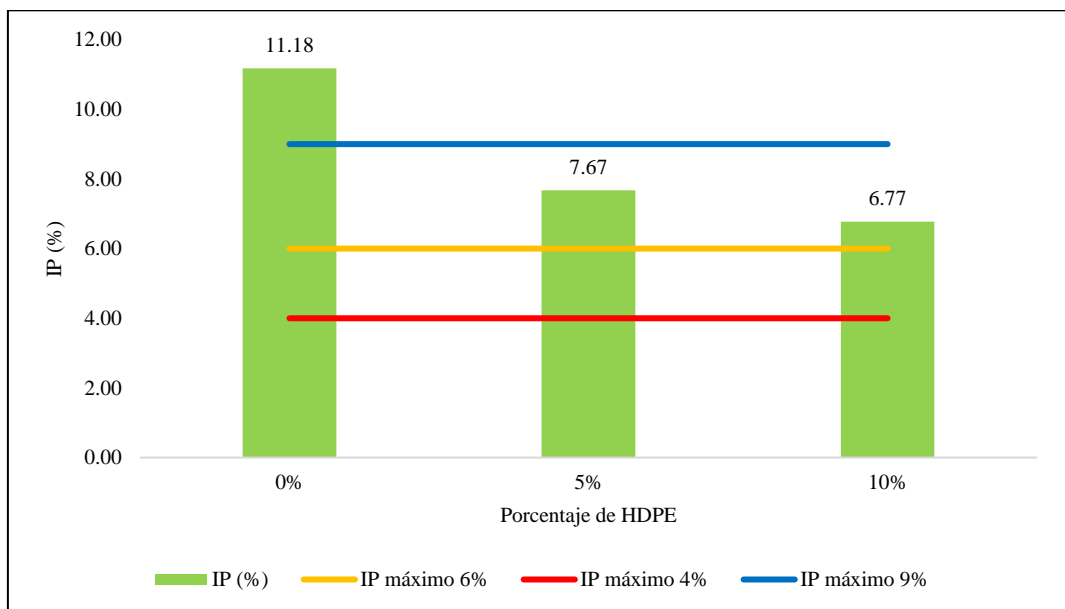


Figura 35

Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con HDPE



a) Contenido de humedad

El análisis del contenido de humedad del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, con la incorporación de distintos porcentajes de HDPE (0%, 5% y 10%), permite evaluar cómo varía esta propiedad con la adición de este material reciclado y su posible impacto en la estabilidad del afirmado.

Los resultados indican que el material sin HDPE presenta un contenido de humedad de 6.90%. Al incorporar 5% de HDPE, la humedad aumenta a 7.80%, lo que representa un incremento del 13.04% en comparación con la muestra sin aditivos. Sin embargo, con 10% de HDPE, la humedad disminuye ligeramente a 7.10%, reduciendo el porcentaje de incremento a 2.90% respecto a la mezcla original.

El comportamiento observado sugiere que la adición de 5% de HDPE aumenta la capacidad del material para retener agua, posiblemente debido a la presencia del polímero en la matriz del afirmado, que podría estar influenciando la distribución del agua en la mezcla. No obstante, con 10% de HDPE, la humedad disminuye, lo que podría indicar que a una mayor cantidad de HDPE, el material tiende a presentar menor retención de agua, mejorando su compactabilidad.

Tabla 20

Contenido de Humedad del Material de Afirmado con HDPE

HDPE	Humedad	Porcentaje de reducción
0%	6.90%	0.00%
5%	7.80%	13.04%
10%	7.10%	2.90%

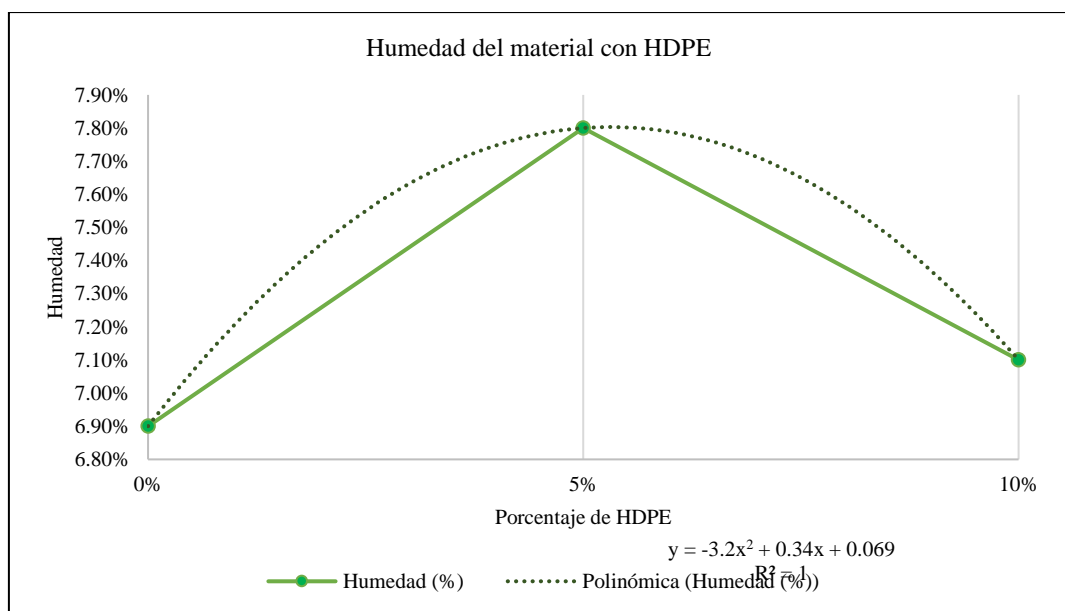
La Figura 36 muestra la variación del contenido de humedad del material de afirmado con la adición de HDPE, evidenciando un comportamiento parabólico en la relación entre la humedad y el porcentaje de HDPE.

La ecuación de la tendencia es $y = -3.2x^2 + 0.34x + 0.069$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 1, lo que indica un ajuste perfecto del modelo polinómico a los datos obtenidos. Se observa que la humedad inicial (6.90%) aumenta con 5% de HDPE hasta 7.80%, alcanzando su valor máximo. Luego, con 10% de HDPE, la humedad disminuye a 7.10%, mostrando que un exceso de HDPE podría reducir la capacidad de retención de humedad del material.

Este comportamiento sugiere que la adición de 5% de HDPE favorece la absorción de humedad en el afirmado, lo que podría mejorar la trabajabilidad del material durante la compactación. Sin embargo, con 10% de HDPE, la humedad tiende a disminuir, lo que podría estar relacionado con una menor cohesión entre partículas y una mayor resistencia al agua.

Figura 36

Humedad del Material de Afirmado con HDPE



b) Granulometría

El análisis granulométrico del afirmado con HDPE permite evaluar su impacto en la distribución de partículas y su cumplimiento con el Huso A de la EG-2013 (MTC, 2015).

En los tamices mayores (3" a 2"), el 100% del material pasa, lo que indica que la fracción gruesa del afirmado no se ve afectada por la adición de HDPE. En los tamices intermedios (1 1/2" a 3/8"), se observa una variación en la cantidad de material que pasa conforme aumenta el porcentaje de HDPE, con una tendencia a incrementar el paso en los tamices más pequeños.

En los tamices finos (N° 4 a N° 40), la proporción de material que pasa también aumenta con la adición de HDPE. En el tamiz N° 4, el porcentaje de paso sube de 26.1% sin HDPE a 40.4% con 10% de HDPE, cumpliendo con el rango normativo (30-65%). De manera similar, en los tamices N° 10 y N° 40, los valores se encuentran dentro de los límites establecidos, asegurando que el material mantiene una granulometría adecuada.

En el tamiz N° 200, el contenido de finos disminuye con la adición de HDPE, pasando de 17.3% sin HDPE a 16.3% con 10% de HDPE, acercándose al rango permitido (5-20%). Esto sugiere que el HDPE contribuye a reducir la fracción más fina del material, lo que puede mejorar la estabilidad del afirmado al disminuir la plasticidad y evitar excesiva retención de humedad.

Por lo tanto, la adición de HDPE mejora la granulometría del afirmado, asegurando el cumplimiento de los requisitos normativos en la mayoría de los tamices. Sin embargo, la fracción de finos sigue estando en el límite superior permitido, lo que sugiere la necesidad de un control adicional para mejorar la distribución de partículas en campo.

Tabla 21

Datos para la Curva Granulométrica para el Huso A del Material de Afirmado con HDPE

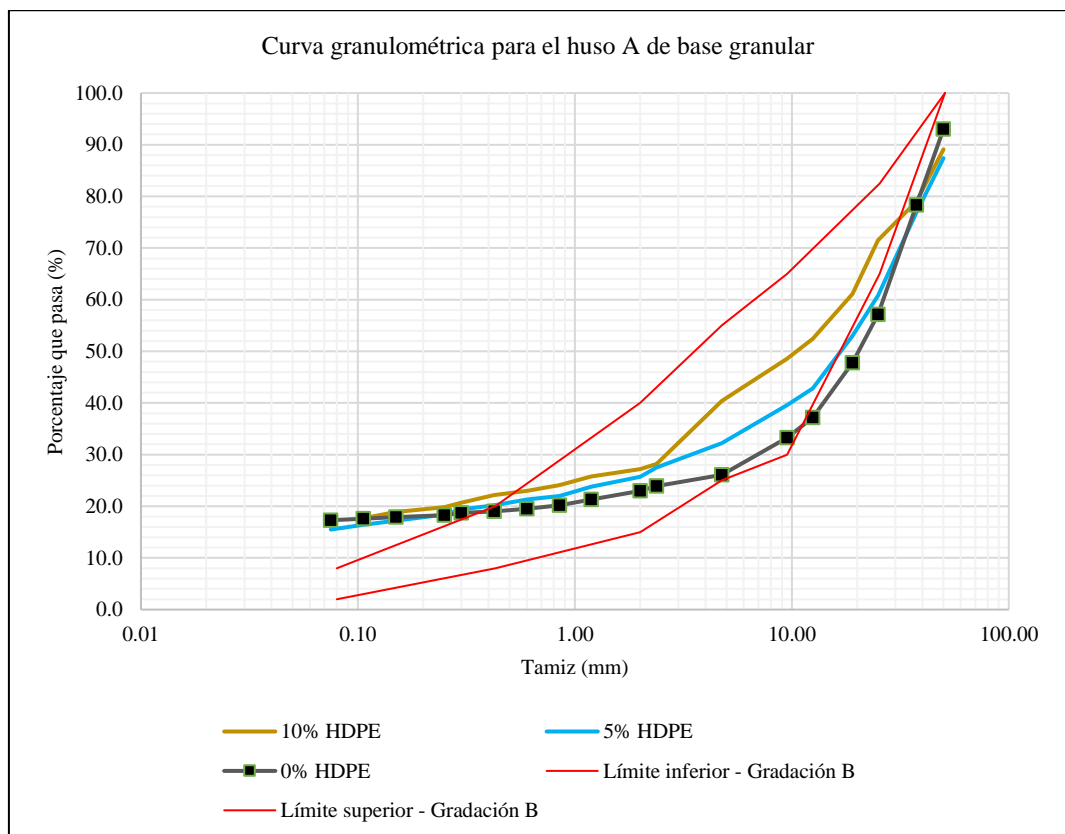
N°	Tamiz Abertura (mm)	Porcentaje que pasa (%) de acuerdo al porcentaje de residuos de HDPE				
		Huso granulométrico A			Límite inferior	Límite superior
		0%	5%	10%		
3"	75.00	100.0	100.0	100.0		
2 1/2"	63.50	100.0	100.0	100.0		
2"	50.00	93.0	87.4	89.1	100	100
1 1/2"	37.50	78.3	76.9	79.0		
1"	25.00	57.1	60.8	71.5		
3/4"	19.00	47.8	53.0	61.1		
1/2"	12.50	37.2	42.8	52.4		
3/8"	9.50	33.3	39.6	48.6	45	80
N° 4	4.75	26.1	32.2	40.4	30	65
N° 8	2.38	23.9	27.5	28.2		
N° 10	2.00	23.0	25.7	27.2	22	52
N° 16	1.19	21.3	23.8	25.8		
N° 20	0.85	20.2	22.0	24.1		
N° 30	0.60	19.5	21.3	23.0		
N° 40	0.43	19.0	20.2	22.2	15	35
N° 50	0.30	18.7	19.4	20.7		
N° 60	0.25	18.3	18.4	19.8		
N° 100	0.15	17.9	17.2	18.9		
N° 140	0.11	17.6	16.4	17.7		
N° 200	0.08	17.3	15.5	16.3	5	20

La Figura 37 muestra la curva granulométrica del material de afirmado con adición de HDPE en comparación con los límites del Huso A de base granular. Las curvas correspondientes a 0%, 5% y 10% de HDPE presentan una distribución similar, con ligeras variaciones conforme aumenta la cantidad de HDPE. Se observa que la adición de HDPE incrementa el porcentaje de material fino, acercando la granulometría del material a los límites superiores de la Gradación B.

El material con 5% y 10% de HDPE se ajusta mejor al rango establecido por la normativa, mostrando una distribución más uniforme y dentro de los límites aceptables. Sin embargo, en algunos puntos, el contenido de finos sigue siendo elevado, lo que puede influir en la compactación y estabilidad del afirmado.

Figura 37

Curva Granulométrica para el Huso A del Material de Afirmado con HDPE



c) Límite líquido

El análisis del LL del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, combinado con distintos porcentajes de residuos de HDPE (0%, 5% y 10%), permite evaluar su variación y determinar si cumple con los requisitos de la EG-2013 (MTC, 2015), que establece un valor máximo de 35% para afirmado.

Los resultados muestran que el material sin HDPE (0%) presenta un límite líquido de 31.36%, lo que indica que se encuentra dentro del rango permitido por la normativa. Sin embargo, al agregar 5% de HDPE, este valor disminuye significativamente a 25.04%, lo que representa una reducción del 20.15% en comparación con la mezcla original. La tendencia decreciente se mantiene con 10% de HDPE, donde el límite líquido se reduce aún más hasta 24.44%, con una disminución total del 22.07% respecto a la muestra sin HDPE.

Al comparar las distintas combinaciones, se observa que la adición de HDPE reduce de manera considerable el límite líquido del material, lo que sugiere una disminución de su plasticidad. Este efecto es beneficioso, ya que un menor límite líquido generalmente indica una mejor estabilidad del material y una menor susceptibilidad a la humedad, favoreciendo su compactación y resistencia en condiciones de servicio.

Tabla 22

Límite Líquido del Material de Afirmado con HDPE

HDPE	Humedad	Porcentaje de reducción
0%	31.36	0.00%
5%	25.04	-20.15%
10%	24.44	-22.07%

Figura 38

Curva de Fluidez del Material de Afirmado con HDPE

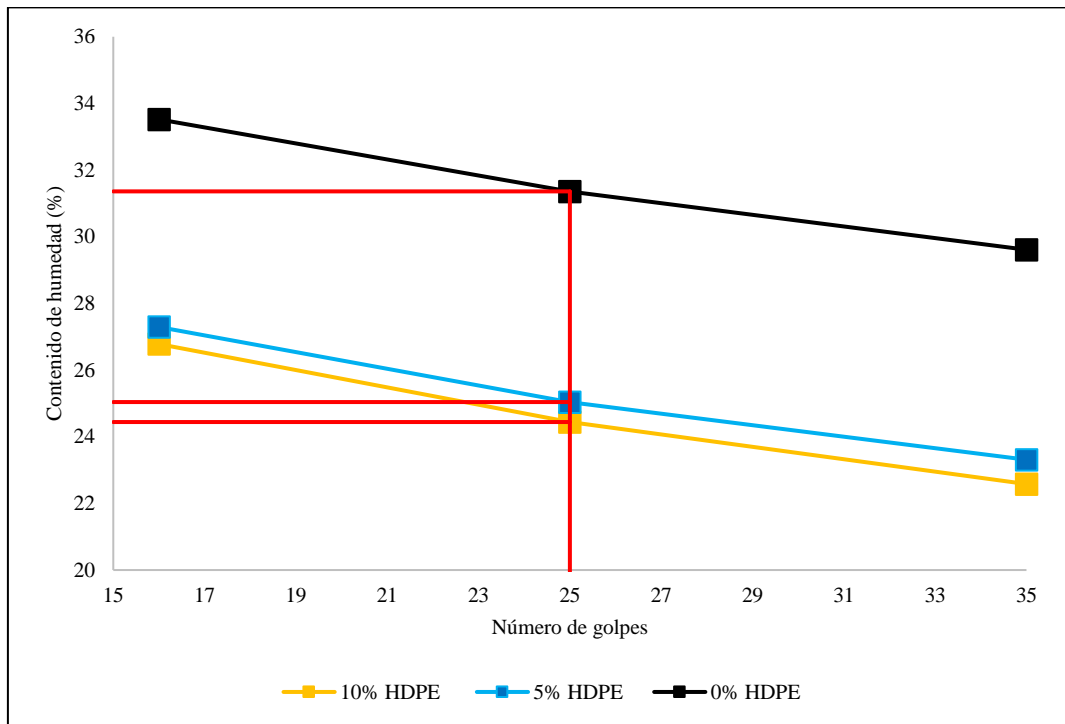
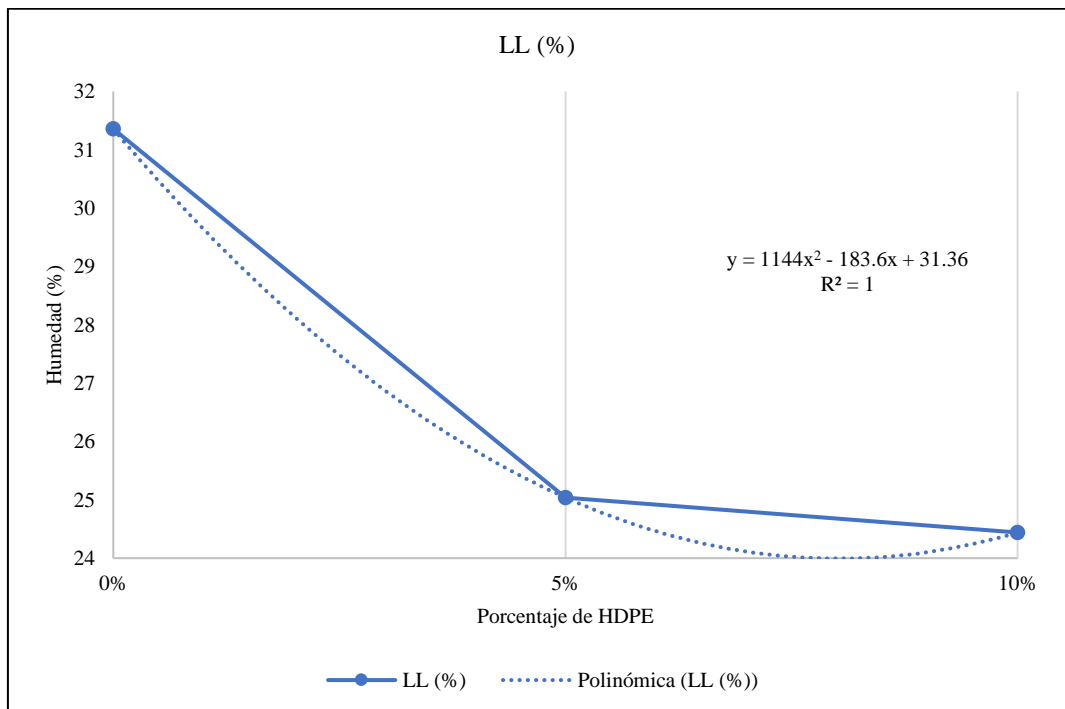


Figura 39

Límite Líquido del Material de Afirmado con HDPE



d) Límite plástico

El análisis del LP del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, combinado con distintos porcentajes de residuos de HDPE (0%, 5% y 10%), permite evaluar cómo varía esta propiedad con la adición del material reciclado y su posible impacto en la estabilidad del afirmado.

Los resultados muestran que el material sin adición de HDPE (0%) presenta un límite plástico de 20.18%. Al incorporar 5% de HDPE, este valor disminuye notablemente a 17.37%, lo que representa una reducción del 13.92% con respecto a la muestra original. Con 10% de HDPE, el límite plástico se reduce aún más hasta 17.67%, alcanzando una disminución total del 12.44% en comparación con el material sin HDPE.

Al comparar estas combinaciones, se observa que el límite plástico disminuye significativamente con la adición de HDPE, lo que indica que el material se vuelve menos plástico y más estable. Esta reducción en la plasticidad del afirmado puede traducirse en una mejor compactación y menor susceptibilidad a deformaciones bajo carga, ya que un menor límite plástico implica menor cohesión entre las partículas finas y una menor tendencia a cambios volumétricos por efecto de la humedad.

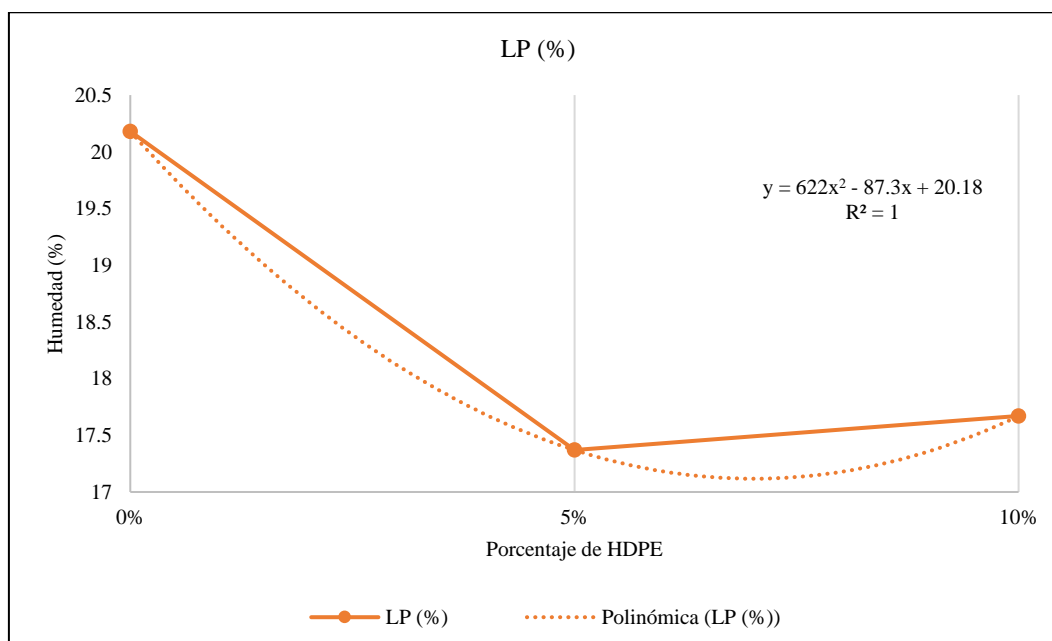
Por lo tanto, la adición de 5% de HDPE es la más efectiva para reducir la plasticidad del afirmado. Aunque con 10% de HDPE también hay una disminución, el efecto no es significativamente mayor, lo que sugiere que un 5% de adición es suficiente para mejorar esta propiedad del material.

Tabla 23*Límite Plástico del Material de Afirmado con HDPE*

HDPE	Humedad	Porcentaje de reducción
0%	20.18	0.00%
5%	17.37	-13.92%
10%	17.67	-12.44%

La Figura 40 muestra la variación del Límite Plástico (LP) del material de afirmado con la adición de HDPE, evidenciando una disminución pronunciada conforme aumenta la cantidad de HDPE.

La ecuación de la tendencia es $y = 622x^2 - 87.3x + 20.18$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 1, lo que indica un ajuste perfecto del modelo polinómico a los datos obtenidos. Se observa que sin HDPE, el LP es de 20.18%, reduciéndose drásticamente con la adición de 5% de HDPE y estabilizándose con 10% de HDPE.

Figura 40*Límite Plástico del Material de Afirmado con HDPE*

e) Índice de plasticidad

El análisis del IP del afirmado con HDPE permite evaluar la reducción de la plasticidad con la adición de este material reciclado. La plasticidad es un factor clave, ya que influye en la deformabilidad del material y su respuesta ante la humedad. Un menor índice de plasticidad favorece la estabilidad y resistencia del afirmado en condiciones de servicio.

Los resultados muestran que el material sin HDPE tiene un índice de 11.18%, disminuyendo a 7.67% con 5% de HDPE y a 6.77% con 10% de HDPE, lo que representa reducciones del 31.40% y 39.45%, respectivamente. Esta tendencia sugiere que el HDPE contribuye significativamente a la disminución de la cohesión del material, reduciendo su tendencia a deformarse.

La reducción del índice de plasticidad con la adición de HDPE indica que el afirmado es menos susceptible a cambios volumétricos por la humedad, lo que favorece su compactación y estabilidad estructural. Con 5% de HDPE, ya se observa una mejora considerable, pero con 10% de HDPE, la reducción es aún mayor, lo que sugiere un mejor desempeño mecánico del material.

La incorporación de HDPE mejora la estabilidad del afirmado y reduce la posibilidad de deformaciones, lo que es beneficioso en infraestructura vial. La mezcla con 10% de HDPE logra la mayor reducción del índice de plasticidad, indicando que esta proporción ofrece mejores condiciones para un afirmado más duradero y resistente en el tiempo.

Tabla 24

Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con HDPE

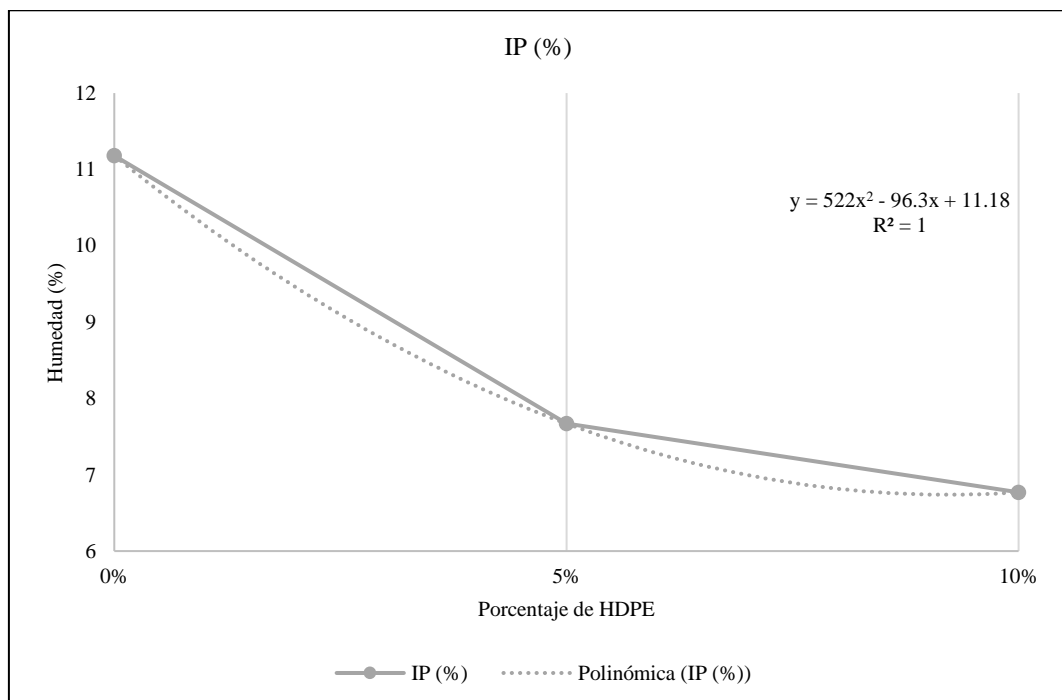
HDPE	Humedad	Porcentaje de reducción
0%	11.18	0.00%
5%	7.67	-31.40%
10%	6.77	-39.45%

La Figura 41 muestra la variación del Índice de Plasticidad (IP) del material de afirmado con la adición de HDPE, reflejando una disminución drástica a medida que aumenta la cantidad de HDPE.

La ecuación de la tendencia es $y = 522x^2 - 96.3x + 11.18$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 1, lo que indica un ajuste perfecto del modelo polinómico a los datos obtenidos. Se observa que sin HDPE, el IP es de 11.18%, pero con la adición de 5% de HDPE, el índice cae significativamente, estabilizándose con 10% de HDPE.

Figura 41

Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con HDPE



4.1.2. *Propiedades mecánicas del material de afirmado con PET y HDPE*

4.1.2.1. Propiedades mecánicas del material de afirmado con PET.

El análisis de las propiedades mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo con la incorporación de PET permite evaluar su impacto en MDS y el CBR de laboratorio, parámetros esenciales para determinar la compactación y resistencia del material. Comparando los resultados obtenidos con los requisitos de la EG-2013 (MTC, 2015), se puede determinar si la adición de PET mejora las características mecánicas del afirmado.

Los valores de la MDS se mantienen constantes en 2.1 g/cm³ para todas las combinaciones de PET, lo que indica que la adición del polímero no influye significativamente en la densidad máxima del material compactado. Sin embargo, el OCH presenta variaciones, reduciéndose de 6.8% sin PET a 6.2% con 5% de PET, y aumentando a 7.2% con 10% de PET. Esto sugiere que la adición de PET afecta la cantidad de agua requerida para alcanzar la máxima compactación, lo que podría influir en la trabajabilidad del material.

El CBR al 100% MDS, que mide la capacidad de soporte del material, muestra una mejora con 5% de PET, aumentando de 40.1% (sin PET) a 43.8%, pero disminuye ligeramente a 40.8% con 10% de PET. Aunque el aumento con 5% es favorable, en todos los casos, los valores se encuentran muy por debajo del mínimo requerido de 80% para su uso como base granular, lo que indica que el material no cumple con la normativa para este propósito. En el caso del CBR al 95% MDS, los valores obtenidos oscilan entre 34.1% sin PET, 37.2% con 5% y 34.7% con 10%, lo que demuestra un leve incremento con la adición de PET. Sin embargo, ninguno de estos valores supera el mínimo del 40% exigido para

subbase granular, por lo que el material tampoco sería apto sin modificaciones adicionales.

El análisis de la expansión revela una tendencia decreciente con la adición de PET. El valor inicial sin PET es de 2.5%, disminuyendo a 2.0% con 5% de PET y a 1.7% con 10% de PET. Esto sugiere que la incorporación de PET reduce la tendencia del material a expandirse cuando se encuentra en contacto con la humedad, lo cual es una mejora favorable para la estabilidad del afirmado.

Finalmente, el porcentaje de desgaste del material muestra una reducción considerable con la incorporación de PET. Sin aditivos, el desgaste es del 32.9%, disminuyendo a 24.7% con 5% de PET y alcanzando 20.7% con 10% de PET, valores muy por debajo del máximo permitido del 50%. Esto indica que la resistencia al desgaste mejora significativamente con la incorporación de PET, lo que es un aspecto positivo para la durabilidad del material en condiciones de tránsito.

Tabla 25

Propiedades Mecánicas del Material de Afirmado con PET

Propiedades	PET			Requisitos de la EG-2013 (MTC, 2015)
	0%	5%	10%	
MDS (g/cm ³)	2.1	2.1	2.1	
OCH (%)	6.8	6.2	7.2	
CBR al 100%	40.1	43.8	40.8	Mín. 80% para base
MDS				
CBR al 95%	34.1	37.2	34.7	Mín. 40% para subbase
MDS				
Expansión (%)	2.5	2.0	1.7	
Desgaste (%)	32.9	24.7	20.7	Máx. 50%

Figura 42

CBR del Material de Afirmado con PET

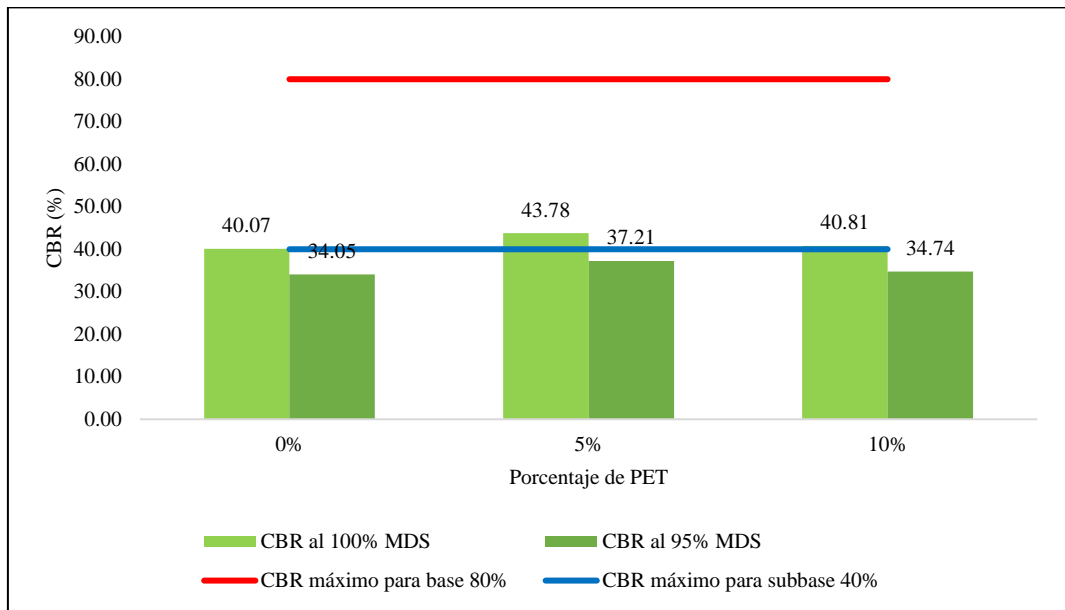
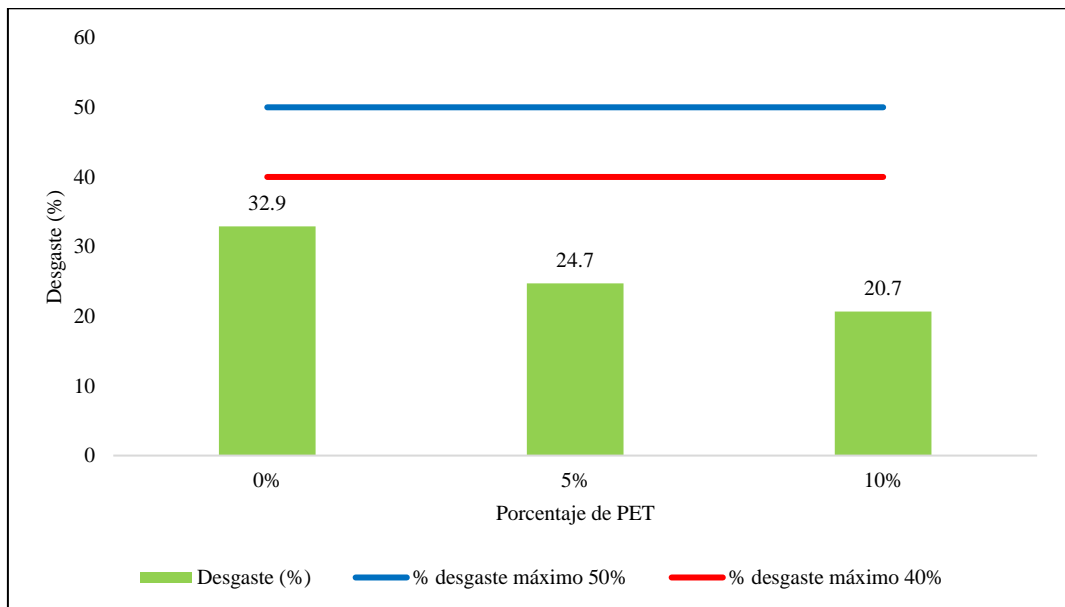


Figura 43

Desgaste del Material de Afirmado con PET



a) Compactación: óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca

El análisis de la compactación del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo con la incorporación de PET permite evaluar su influencia en la Máxima Densidad Seca (MDS) y el Óptimo Contenido de Humedad (OCH), factores clave para la estabilidad del material compactado.

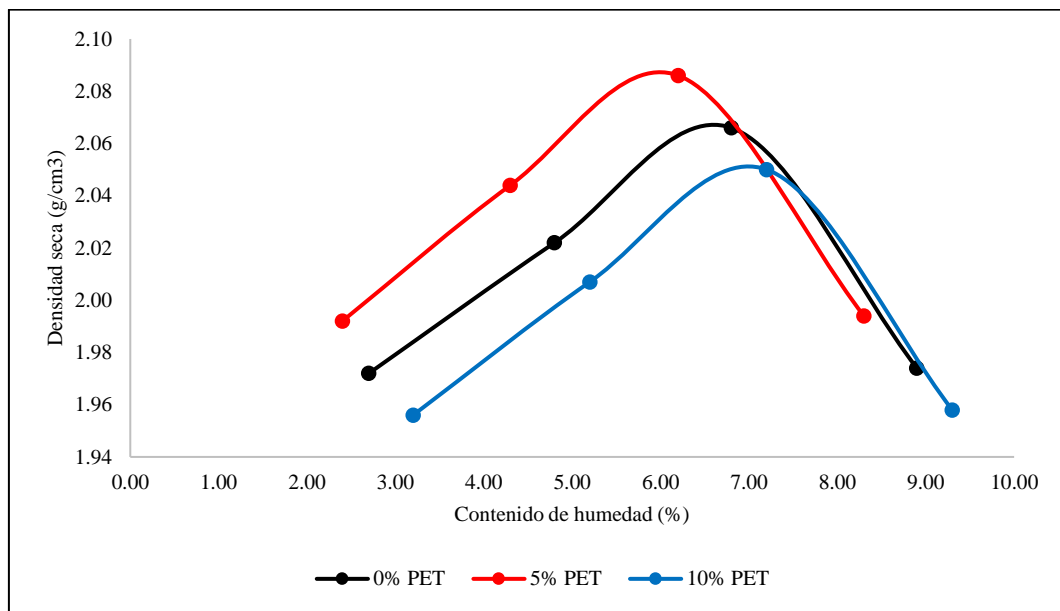
Los resultados muestran que la MDS sin PET es de 2.066 g/cm³, aumentando ligeramente a 2.086 g/cm³ con 5% de PET, lo que sugiere una mejora en la compactación del material. Sin embargo, con 10% de PET, la densidad disminuye a 2.05 g/cm³, lo que indica que un mayor contenido de PET podría afectar la compactación, posiblemente debido a la interferencia del polímero en la matriz del suelo.

El OCH presenta una tendencia variable. Sin PET, el contenido de humedad óptimo es 6.8%, disminuyendo a 6.2% con 5% de PET, lo que implica que el material requiere menos agua para alcanzar su máxima densidad en esta proporción. No obstante, con 10% de PET, el OCH aumenta a 7.2%, lo que sugiere que un exceso de PET demanda mayor humedad para su compactación, posiblemente debido a la reducción de la cohesión del material.

Por lo tanto, la adición de 5% de PET mejora la compactación, al aumentar la MDS y reducir el OCH, lo que indica una mayor eficiencia en la compactación. Sin embargo, con 10% de PET, la densidad disminuye y la humedad requerida aumenta, lo que podría afectar la trabajabilidad del material. Se recomienda evaluar la cantidad óptima de PET en función de la compactación y la estabilidad del afirmado.

Tabla 26*Compactación del Material de Afirmado con PET*

Compactación	PET		
	0%	5%	10%
MDS (g/cm ³)	2.066	2.086	2.05
OCH (%)	6.8	6.2	7.2

Figura 44*Curva de Compactación del Material de Afirmado con PET***Tabla 27***Máxima Densidad Seca del Material de Afirmado con PET*

PET	MDS (g/cm ³)	Porcentaje de aumento
0%	2.07	0.00%
5%	2.09	0.97%
10%	2.05	-0.77%

Figura 45

Máxima Densidad Seca del Material de Afirmado con PET

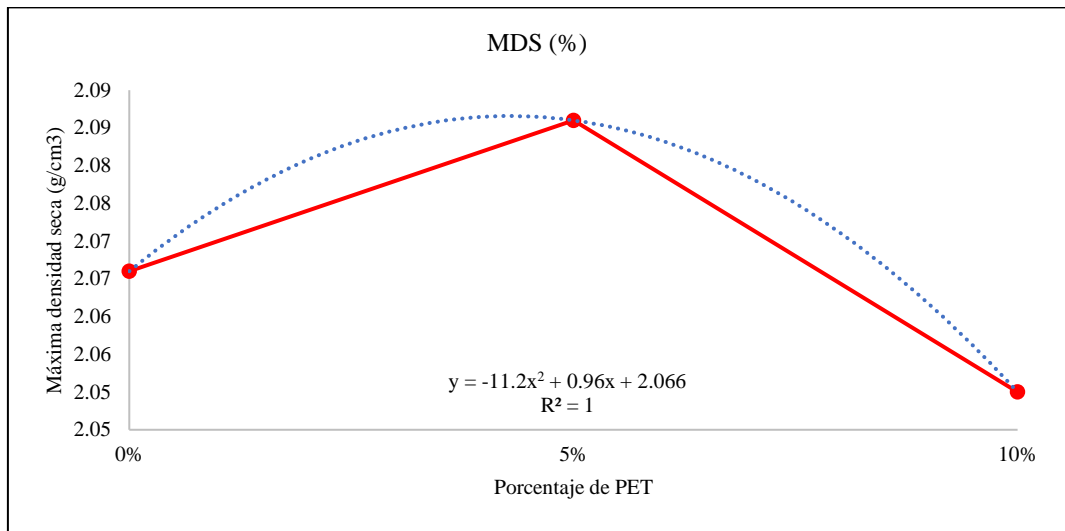


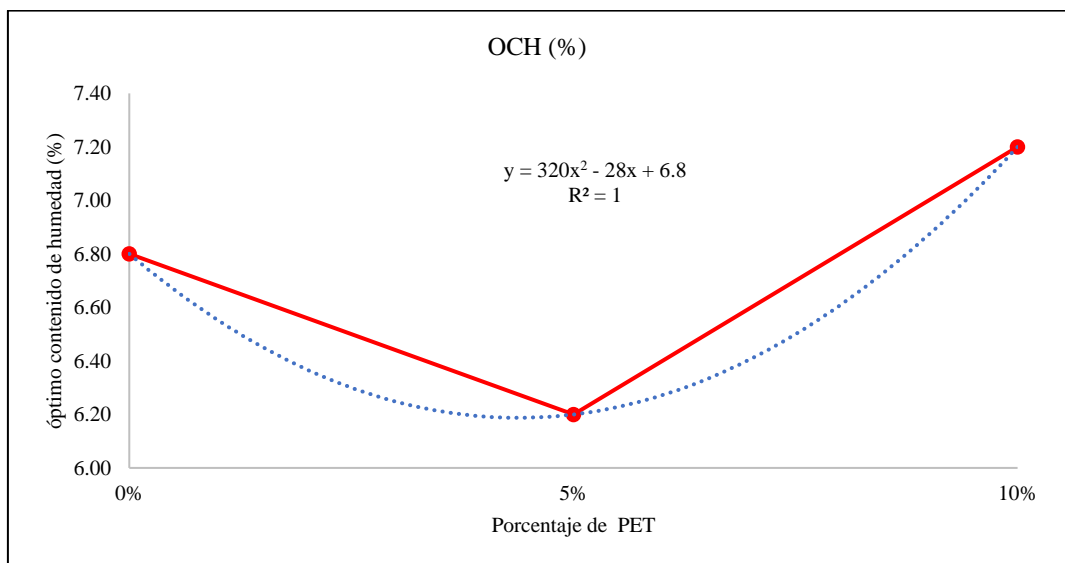
Tabla 28

Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con PET

PET	OCH (%)	Porcentaje de reducción
0%	2.07	0.00%
5%	2.09	0.97%
10%	2.05	-0.77%

Figura 46

Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con PET



b) Capacidad de soporte (CBR)

El análisis de la Capacidad de Soporte del Material de Afirmado con PET en la cantera Sivingan Bajo permite evaluar cómo la adición de este material influye en la resistencia del afirmado bajo diferentes condiciones de compactación. Los resultados muestran que el CBR al 100% de la MDS es de 40.07% sin PET, aumentando a 43.78% con 5% de PET, lo que indica una mejora en la capacidad de soporte con esta proporción. Sin embargo, con 10% de PET, el valor disminuye a 40.81%, lo que sugiere que una mayor cantidad de PET no genera una mejora adicional en la resistencia del afirmado.

En el caso del CBR al 95% de la MDS, se observa un comportamiento similar. Sin PET, el valor es 34.05%, aumentando a 37.21% con 5% de PET y reduciéndose a 34.74% con 10% de PET. Esto indica que la compactación con 5% de PET mejora el desempeño del material, pero con 10% de PET, el efecto positivo disminuye.

Tabla 29

Capacidad de Soporte del Material de Afirmado con PET

Compactación	PET		
	0%	5%	10%
Al 100% MDS	40.07	43.78	40.81
Al 95% MDS	34.05	37.21	34.74

Tabla 30

CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con PET

PET	CBR al 100% MDS (%)	Porcentaje de aumento
0%	40.07	0.00%
5%	43.78	9.26%
10%	40.81	1.85%

La ecuación de la tendencia es $y = -1336x^2 + 141x + 40.07$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 1, lo que indica un ajuste perfecto del modelo polinómico a los datos obtenidos. Se observa que, sin PET, el CBR es de 40.07%, aumentando a 43.78% con 5% de PET, lo que representa el punto máximo de capacidad de soporte. Sin embargo, con 10% de PET, el CBR disminuye a 40.81%, acercándose al valor inicial sin adición de PET.

Figura 47

CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con PET

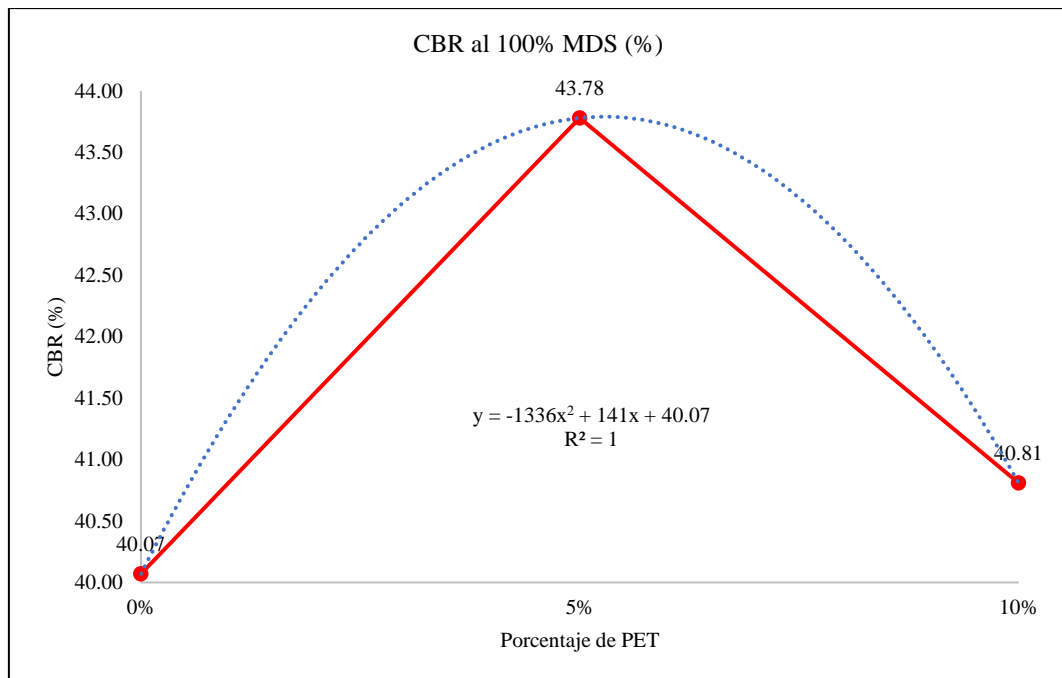


Tabla 31

CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con PET

PET	CBR al 100% MDS (%)	Porcentaje de aumento
0%	40.07	0.00%
5%	43.78	9.26%
10%	40.81	1.85%

Tabla 32

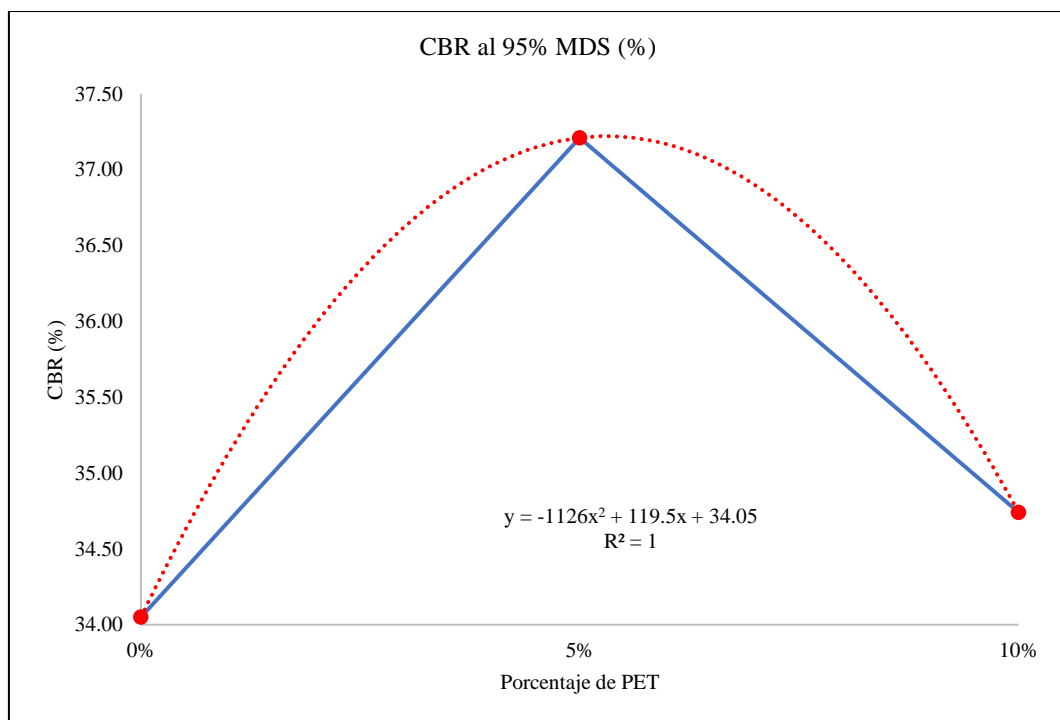
CBR al 95% MDS del Material de Afirmando con PET

PET	CBR al 95% MDS (%)	Porcentaje de aumento
0%	40.07	0.00%
5%	43.78	9.26%
10%	40.81	1.85%

La ecuación de la tendencia es $y = -1126x^2 + 119.5x + 34.05$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 1, lo que indica un ajuste perfecto del modelo polinómico a los datos obtenidos. Sin PET, el CBR es de 34.05%, aumentando a 37.21% con 5% de PET, lo que representa el valor máximo de capacidad de soporte. Con 10% de PET, el CBR disminuye a 34.74%, reduciendo el beneficio obtenido con la adición de 5%.

Figura 48

CBR al 95% MDS del Material de Afirmando con PET



c) Desgaste por abrasión

El análisis del desgaste por abrasión del material de afirmado con la incorporación de PET en la cantera Sivingan Bajo permite evaluar la resistencia del material ante el desgaste mecánico, un factor clave para la durabilidad del afirmado en infraestructura vial.

Los resultados muestran que, sin PET, el material presenta un desgaste por abrasión de 32.90%. Con la adición de 5% de PET, el desgaste disminuye a 24.70%, representando una reducción del 24.92%. Con 10% de PET, la reducción es aún mayor, alcanzando un 20.70%, lo que equivale a una disminución del 37.08% en comparación con el material sin aditivos.

Estos valores indican que la incorporación de PET mejora significativamente la resistencia al desgaste del afirmado, haciéndolo más duradero frente a cargas de tránsito y condiciones de uso prolongadas. La reducción del desgaste sugiere que el PET contribuye a reforzar la estructura del material, disminuyendo su deterioro con el tiempo.

Tabla 33

Porcentaje de Desgaste por Abrasión del Material de Afirmado con PET

PET	Desgaste abrasión	Porcentaje de aumento
0%	32.90	0.00%
5%	24.70	-24.92%
10%	20.70	-37.08%

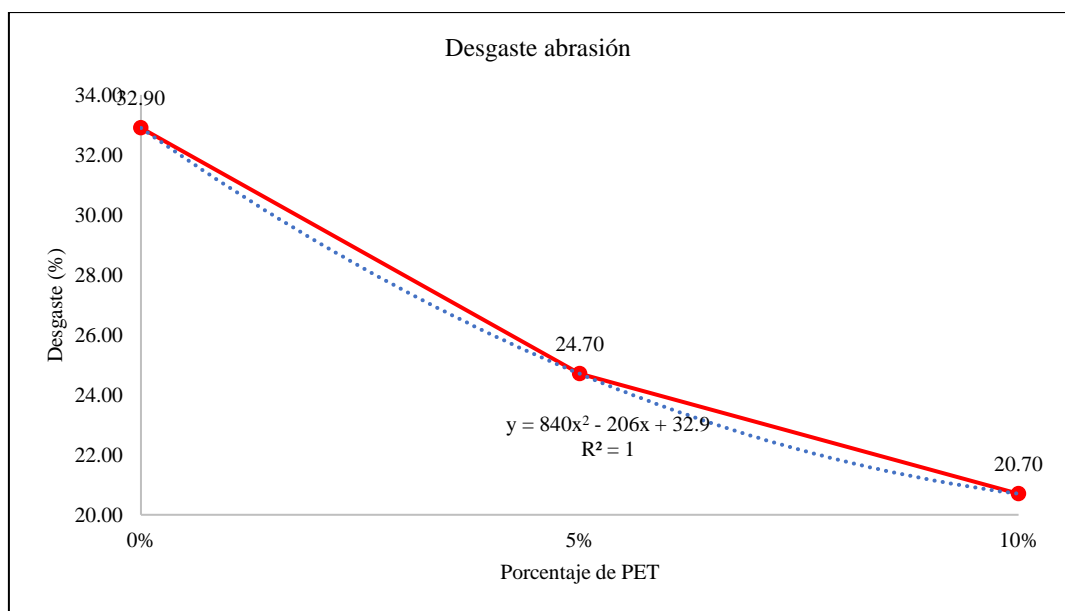
La Figura 49 muestra la variación del desgaste por abrasión del material de afirmado con la adición de PET, evidenciando una tendencia decreciente conforme aumenta el contenido de PET en la mezcla.

La ecuación de la tendencia es $y = 840x^2 - 206x + 32.9$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 1, lo que indica un ajuste perfecto del modelo polinómico a los datos obtenidos. Sin PET, el desgaste es de 32.90%, disminuyendo a 24.70% con 5% de PET, lo que representa una reducción significativa. Con 10% de PET, el desgaste se reduce aún más a 20.70%, lo que confirma que la adición de PET mejora la resistencia del material frente a la abrasión.

Esta tendencia sugiere que el PET refuerza el afirmado, haciéndolo más resistente al desgaste y aumentando su durabilidad. Un menor porcentaje de desgaste implica una mayor resistencia a la fricción y al tránsito vehicular, lo que es beneficioso para su uso en infraestructura vial.

Figura 49

Desgaste por Abrasión del Material de Afirmado con PET



4.1.2.2. Propiedades mecánicas del material de afirmado con HDPE

El análisis de las propiedades mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo con la incorporación de HDPE permite evaluar el impacto de este material en MDS y el CBR de laboratorio, que son indicadores fundamentales para determinar la capacidad de compactación y resistencia del afirmado. Comparando estos resultados con los requisitos establecidos en la EG-2013 (MTC, 2015), es posible determinar si la adición de HDPE mejora las propiedades mecánicas del material.

Los valores de la Máxima Densidad Seca (MDS) se mantienen constantes en 2.1 g/cm^3 en todas las combinaciones de HDPE, lo que indica que la incorporación del polímero no afecta significativamente la densidad máxima alcanzada en la compactación del material. Sin embargo, el Contenido Óptimo de Humedad (OCH) varía con la adición de HDPE. El material sin HDPE presenta un OCH de 6.8%, disminuyendo a 7.2% con 5% de HDPE y aumentando ligeramente a 7.3% con 10% de HDPE. Este comportamiento sugiere que el material con HDPE podría requerir un ajuste en la humedad para lograr una mejor compactación.

El CBR al 100% MDS, que mide la resistencia del material compactado, presenta valores de 40.3% sin HDPE, aumentando a 43.8% con 5% de HDPE y disminuyendo a 40.8% con 10% de HDPE. Aunque la incorporación de 5% de HDPE mejora la resistencia del material, en ninguno de los casos se alcanza el mínimo del 80% exigido para su uso como base granular, lo que indica que el material, incluso con HDPE, no es apto para esta aplicación. En el caso del CBR al 95% MDS, los valores obtenidos son 34.1% sin HDPE, 34.9% con 5% de HDPE y 36.6% con 10% de HDPE. Aunque se observa una ligera mejora con la

adición del polímero, los valores siguen por debajo del mínimo del 40% requerido para subbase granular, por lo que el material tampoco cumpliría con esta función sin modificaciones adicionales.

La expansión del material, que indica la susceptibilidad del afirmado a cambios volumétricos debido a la humedad, se reduce con la adición de HDPE. Sin HDPE, el material presenta una expansión del 2.5%, disminuyendo a 2.3% con 5% de HDPE y a 2.0% con 10% de HDPE. Esta reducción es un aspecto positivo, ya que un menor porcentaje de expansión indica una mayor estabilidad del afirmado en condiciones húmedas.

El desgaste del material, que mide su resistencia a la abrasión y al tránsito vehicular, mejora significativamente con la adición de HDPE. El desgaste sin HDPE es de 32.9%, reduciéndose a 23.9% con 5% de HDPE y a 20.0% con 10% de HDPE. Todos estos valores están muy por debajo del límite máximo del 50% establecido en la normativa, lo que indica que la incorporación de HDPE mejora notablemente la durabilidad del afirmado ante el tráfico y el uso prolongado.

Tabla 34

Propiedades Mecánicas del Material de Afirmado con HDPE

Propiedades	HDPE			Requisitos de la EG-2013 (MTC, 2015)
	0%	5%	10%	
MDS (g/cm ³)	2.1	2.1	2.1	
OCH (%)	6.8	7.2	7.7	
CBR al 100% MDS	40.1	46.9	43.0	Mín. 80% para base
CBR al 95% MDS	34.1	39.9	36.6	Mín. 40% para subbase
Expansión (%)	2.5	1.7	2.3	
Desgaste (%)	32.9	23.9	20.0	Máx. 50%

Figura 50

CBR del Material de Afirmado con HDPE

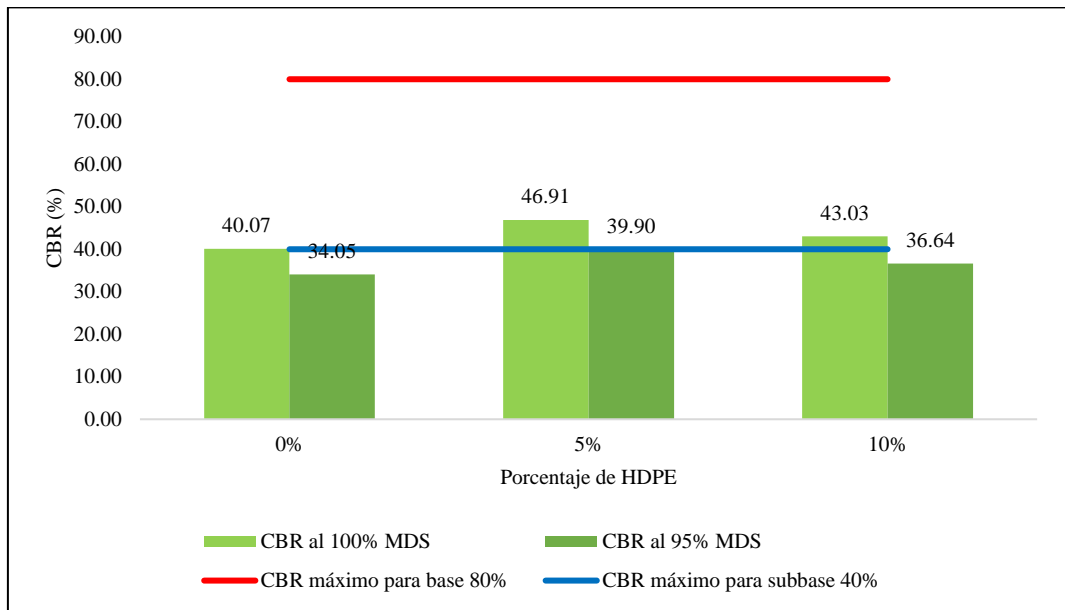
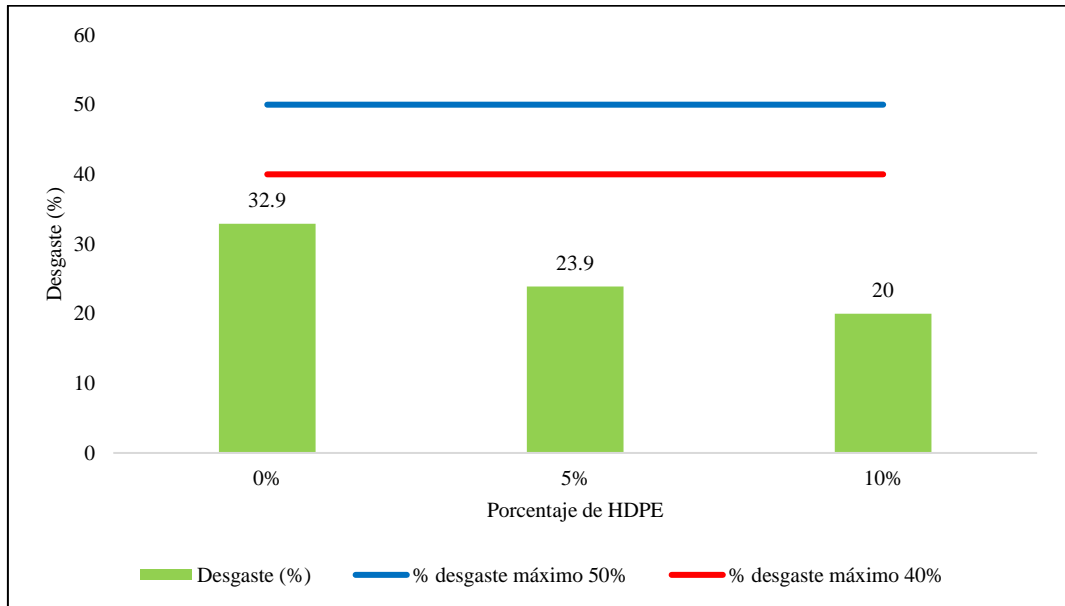


Figura 51

Desgaste del Material de Afirmado con HDPE



a) Compactación: óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca

El análisis de la compactación del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo con la incorporación de HDPE permite evaluar su impacto en la Máxima Densidad Seca (MDS) y el Óptimo Contenido de Humedad (OCH), factores clave para garantizar la estabilidad y resistencia del material compactado.

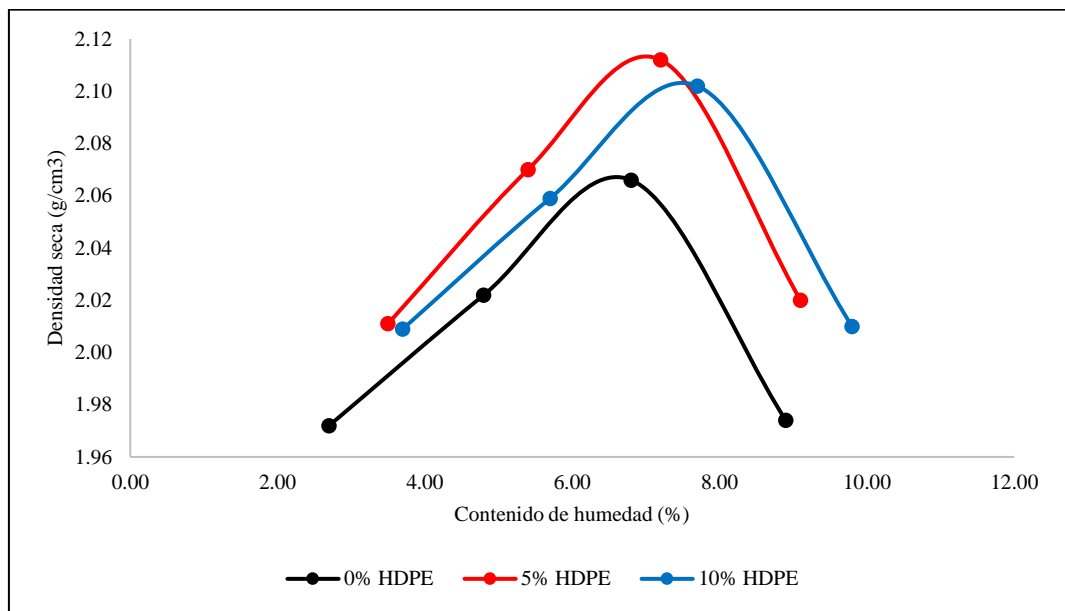
Los resultados muestran que la MDS sin HDPE es de 2.066 g/cm³, aumentando a 2.112 g/cm³ con 5% de HDPE, lo que sugiere una mejor compactación del material en esta proporción. Sin embargo, con 10% de HDPE, la MDS se reduce ligeramente a 2.102 g/cm³, lo que indica que un mayor contenido de HDPE podría afectar la eficiencia de la compactación.

El OCH presenta una tendencia creciente con la adición de HDPE. Sin HDPE, el contenido óptimo de humedad es 6.8%, aumentando a 7.2% con 5% de HDPE y a 7.7% con 10% de HDPE. Este incremento indica que el material requiere más agua para alcanzar su máxima densidad conforme se incorpora más HDPE, posiblemente debido a la menor cohesión entre partículas generada por el polímero.

La adición de 5% de HDPE mejora la compactación, aumentando la MDS moderadamente con un incremento en el OCH controlado. Sin embargo, con 10% de HDPE, la compactación se mantiene estable, pero el mayor requerimiento de humedad podría afectar la trabajabilidad del material. Se recomienda evaluar el contenido óptimo de HDPE para equilibrar la compactación y la estabilidad del afirmado.

Tabla 35*Compactación del Material de Afirmado con HDPE*

Compactación	HDPE		
	0%	5%	10%
MDS (g/cm ³)	2.066	2.112	2.102
OCH (%)	6.8	7.2	7.7

Figura 52*Curva de Compactación del Material de Afirmado con HDPE***Tabla 36***Máxima Densidad Seca del Material de Afirmado con HDPE*

HDPE	MDS (g/cm ³)	Porcentaje de aumento
0%	2.07	0.00%
5%	2.11	2.23%
10%	2.10	1.74%

Figura 53

Máxima Densidad Seca del Material de Afirmado con HDPE

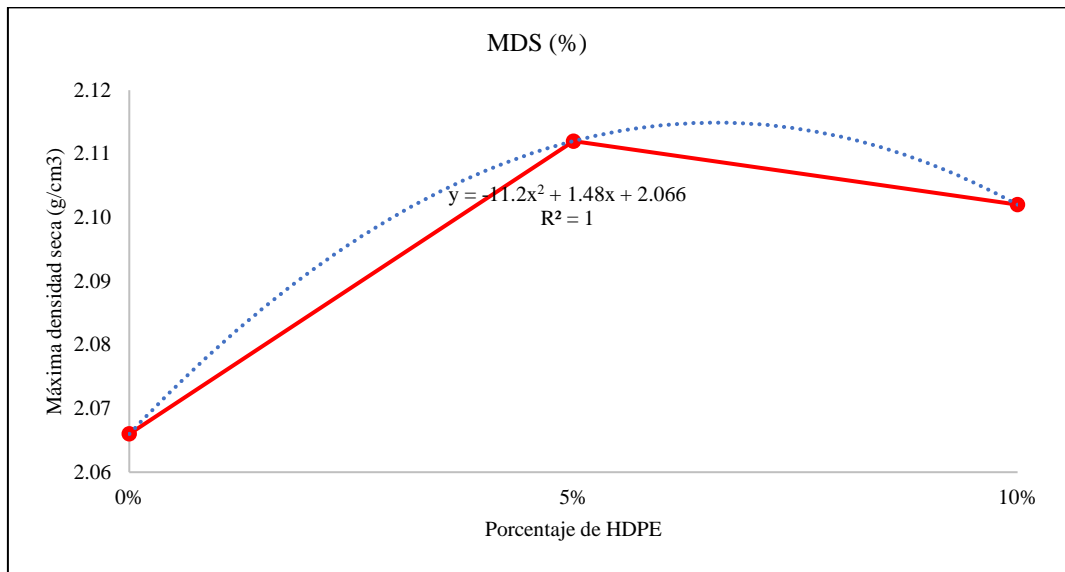


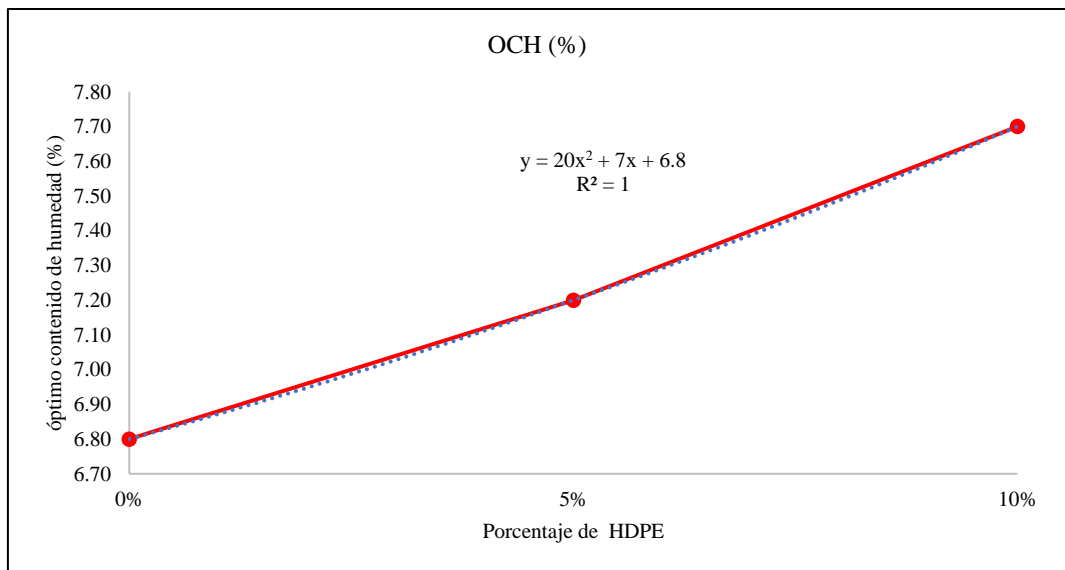
Tabla 37

Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con HDPE

HDPE	OCH (%)	Porcentaje de reducción
0%	6.80	0.00%
5%	7.20	5.88%
10%	7.70	13.24%

Figura 54

Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con HDPE



b) Capacidad de soporte (CBR)

El análisis de la Capacidad de Soporte del Material de Afirmado con HDPE en la cantera Sivingan Bajo permite evaluar cómo la adición de este material influye en la resistencia del afirmado bajo diferentes condiciones de compactación.

Para el CBR al 100% de la MDS, sin HDPE, el valor es de 40.07%. Con 5% de HDPE, el CBR aumenta significativamente a 46.91%, mientras que con 10% de HDPE, el CBR disminuye ligeramente a 43.03%, pero aún por encima del valor inicial.

En el CBR al 95% de la MDS, sin HDPE, el valor es de 34.05%. Con 5% de HDPE, se incrementa hasta 39.9%, y con 10% de HDPE, se mantiene en 36.64%. Esto sugiere que 5% de HDPE ofrece la mayor mejora en capacidad de soporte, mientras que con 10%, la ganancia es menor.

Por tanto, la adición de HDPE mejora el CBR del afirmado, con el 5% de adición como la mejor proporción para aumentar la resistencia del material. Con 10% de HDPE, la capacidad de soporte sigue siendo alta, pero con una ligera reducción en comparación con el 5%. Esto sugiere que un 5% de HDPE es el nivel óptimo para mejorar la estabilidad estructural del afirmado.

Tabla 38

Capacidad de Soporte del Material de Afirmado con HDPE

Compactación	HDPE		
	0%	5%	10%
Al 100% MDS	40.07	46.91	43.03
Al 95% MDS	34.05	39.9	36.64

Tabla 39*CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con HDPE*

HDPE	CBR al 100% MDS (%)	Porcentaje de aumento
0%	40.07	0.00%
5%	46.91	17.07%
10%	43.03	7.39%

En la Figura 55 se muestra la variación del CBR al 100% de la MDS del material de afirmado con la adición de HDPE, evidenciando una tendencia parabólica, donde la capacidad de soporte aumenta hasta un punto máximo y luego disminuye.

La ecuación de la tendencia es $y = -2144x^2 + 244x + 40.07$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 1, lo que indica un ajuste perfecto del modelo polinómico a los datos obtenidos. Sin HDPE, el CBR es de 40.07%, aumentando a 46.91% con 5% de HDPE, lo que representa el valor máximo de capacidad de soporte. Con 10% de HDPE, el CBR disminuye a 43.03%, aunque sigue siendo superior al valor inicial.

Este comportamiento sugiere que la adición de 5% de HDPE mejora significativamente la capacidad de soporte, por medio de la compactación del material. Sin embargo, con 10% de HDPE, el CBR se reduce, lo que indica que un exceso de HDPE podría afectar la cohesión del material y su capacidad estructural

Figura 55

CBR al 100% MDS del Material de Afirmando con HDPE

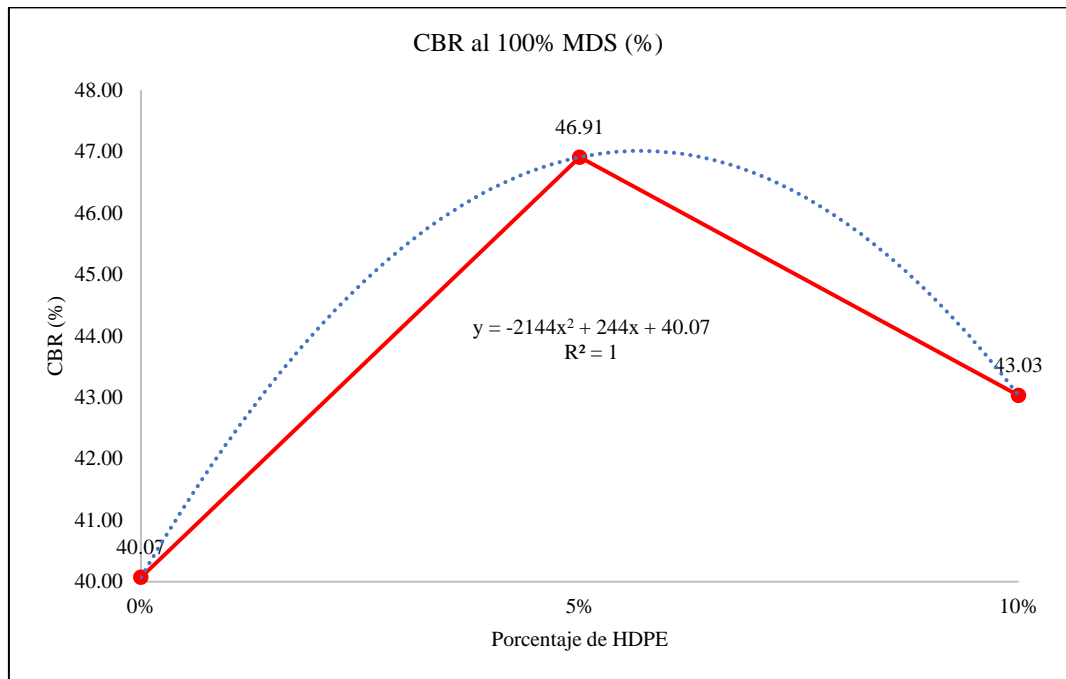


Tabla 40

CBR al 95% MDS del Material de Afirmando con HDPE

HDPE	CBR al 95% MDS (%)	Porcentaje de aumento
0%	34.05	0.00%
5%	39.90	17.18%
10%	36.64	7.61%

El Figura 56 muestra la variación del CBR al 95% de la MDS del material de afirmado con la adición de HDPE, evidenciando una tendencia parabólica, donde la capacidad de soporte aumenta hasta un punto máximo y luego disminuye.

La ecuación de la tendencia es $y = -1822x^2 + 208.1x + 34.05$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 1, lo que indica un ajuste perfecto del modelo polinómico a los datos obtenidos. Sin HDPE, el CBR es de 34.05%, aumentando a 39.9% con 5% de HDPE, lo que representa el valor máximo de capacidad de

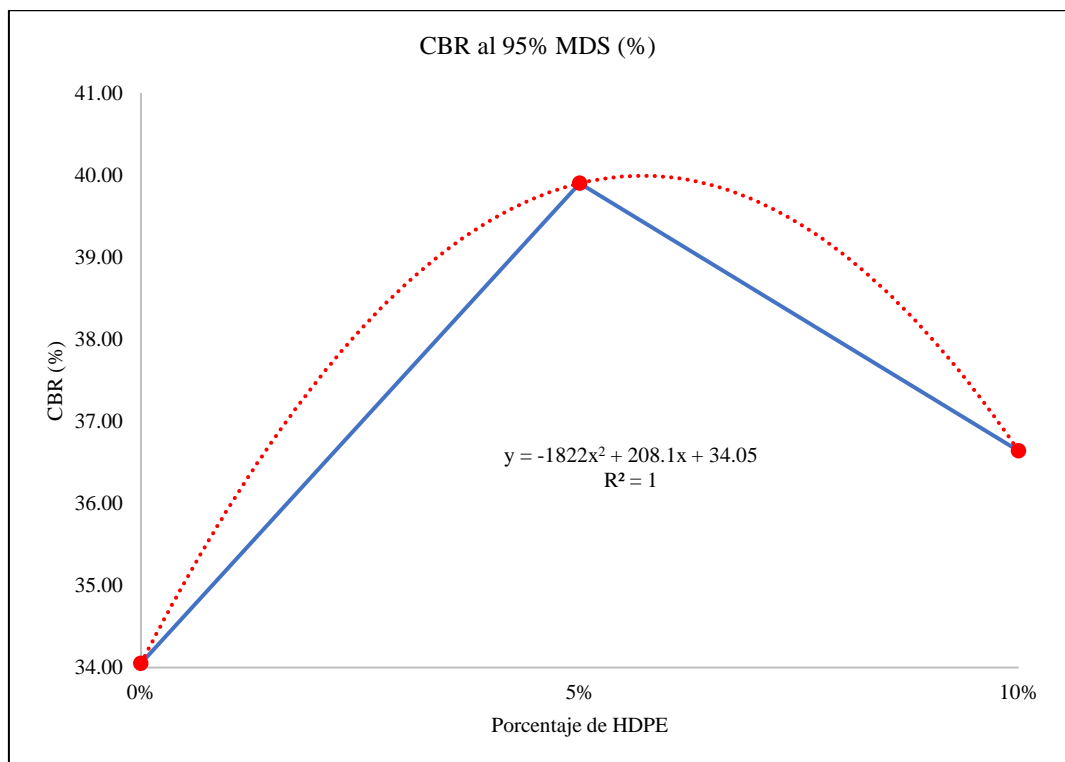
soporte. Con 10% de HDPE, el CBR disminuye a 36.64%, aunque sigue siendo superior al valor inicial.

Este comportamiento indica que la adición de 5% de HDPE mejora la compactación y mejora significativamente la capacidad de soporte del material de afirmado. Sin embargo, con 10% de HDPE, el CBR se reduce, lo que sugiere que una cantidad excesiva de HDPE puede afectar la cohesión del material y disminuir su resistencia estructural.

Por lo tanto, la adición de HDPE mejora el CBR del afirmado, siendo 5% la proporción óptima para lograr una mayor resistencia. Con 10% de HDPE, la mejora sigue presente, pero con una ligera reducción, lo que indica que 5% de HDPE es el nivel más eficiente para la estabilidad del afirmado.

Figura 56

CBR al 95% MDS del Material de Afirmado con HDPE



c) Desgaste por abrasión

El análisis del desgaste por abrasión del material de afirmado con la incorporación de HDPE en la cantera Sivingan Bajo permite evaluar cómo la adición de este material influye en la resistencia del afirmado ante la fricción y el tránsito vehicular.

Los resultados muestran que el material sin HDPE presenta un desgaste por abrasión de 32.90%. Con la incorporación de 5% de HDPE, el desgaste se reduce a 23.90%, representando una disminución del 27.36%. Al aumentar la cantidad de HDPE a 10%, la reducción es aún mayor, alcanzando un 20.00%, lo que equivale a una disminución del 39.21% respecto al material sin aditivos.

Estos valores indican que la incorporación de HDPE mejora significativamente la resistencia al desgaste del afirmado, reduciendo su deterioro y aumentando su durabilidad frente a cargas de tránsito. La tendencia decreciente del desgaste sugiere que el HDPE actúa como un refuerzo, disminuyendo la pérdida de material por abrasión y contribuyendo a la estabilidad estructural del afirmado.

El uso de 10% de HDPE es la opción más efectiva para reducir el desgaste, ya que logra la mayor mejora en la resistencia del material. Esto indica que la adición de HDPE prolonga la vida útil del afirmado, haciéndolo más resistente y adecuado para soportar condiciones de tránsito sin un desgaste acelerado.

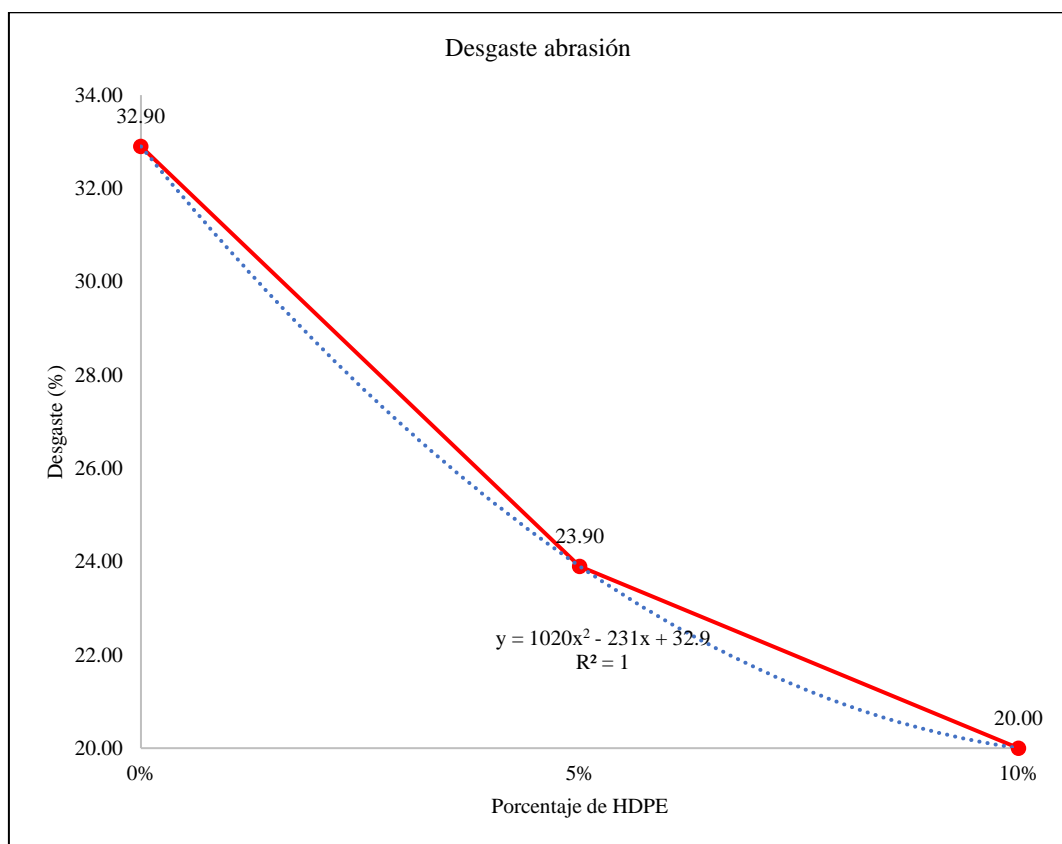
Tabla 41

Porcentaje de Desgaste por Abrasión del Material de Afirmado con HDPE

HDPE	Desgaste abrasión	Porcentaje de aumento
0%	32.90	0.00%
5%	23.90	-27.36%
10%	20.00	-39.21%

Figura 57

Desgaste por Abrasión del Material de Afirmado con HDPE



4.1.3. Comparación de las propiedades del material de afirmado con PET y HDPE

Los resultados muestran que, sin adición de polietileno, la humedad es igual para ambos materiales (6.9%). Con 5% de PET, la humedad alcanza 7.5%, mientras que con 5% de HDPE, aumenta más hasta 7.8%, reflejando una diferencia de -0.3%, lo que indica que el HDPE incrementa más la humedad en esta proporción. Con 10% de PET, la humedad sube a 8.1%, mientras que con 10% de HDPE, baja a 7.1%, mostrando una diferencia de 1% a favor del HDPE, lo que sugiere que el HDPE retiene menos humedad que el PET, un aspecto favorable para la estabilidad del afirmado.

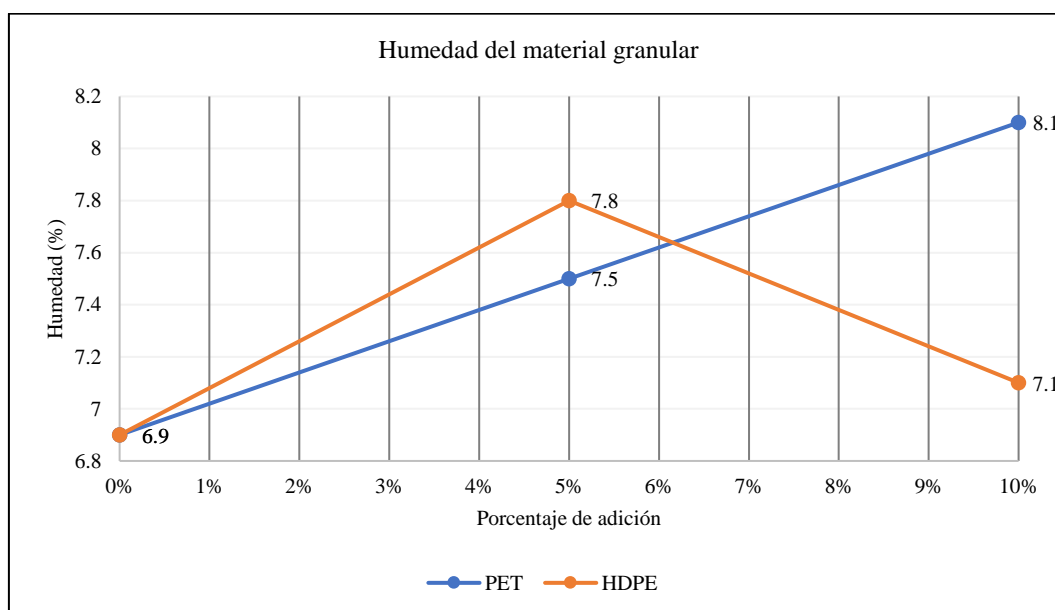
Tabla 42

Humedad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE

% de adición	Humedad (%)		
	PET	HDPE	Diferencia
0%	6.9	6.9	0
5%	7.5	7.8	-0.3
10%	8.1	7.1	1

Figura 58

Humedad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE



El análisis del Límite líquido (LL) del material de afirmado con la adición de PET y HDPE permite comparar la influencia de ambos materiales en la plasticidad del afirmado y su estabilidad ante la presencia de agua.

Los resultados muestran que, sin adición de polietileno, el límite líquido es igual para ambos materiales (31.36%). Con 5% de PET, el límite líquido disminuye a 30.19%, mientras que con 5% de HDPE, baja más drásticamente hasta 25.04%, con una diferencia de 5.15% a favor del HDPE. Con 10% de PET, el LL se reduce a 28.32%, mientras que con 10% de HDPE, alcanza 24.44%, reflejando una diferencia de 3.88%, nuevamente con mayor reducción en el caso del HDPE.

Estos valores indican que HDPE reduce más el límite líquido que el PET, lo que significa que el afirmado tratado con HDPE es menos susceptible a la humedad y a los cambios volumétricos asociados con su presencia. Un menor límite líquido favorece la estabilidad del material y mejora su resistencia estructural.

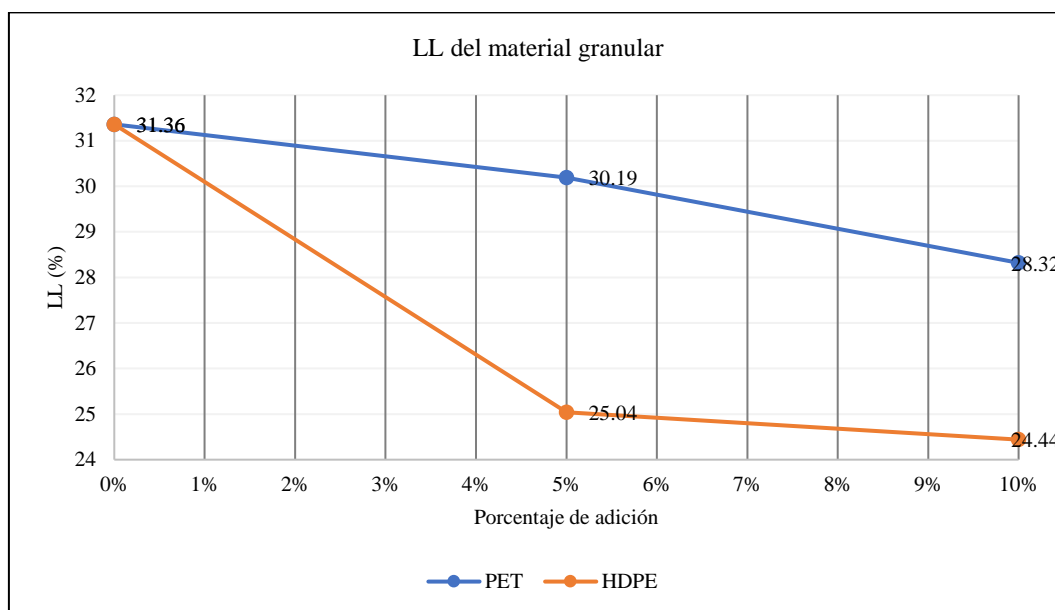
Tabla 43

Límite Líquido del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE

% de adición	LL (%)		
	PET	HDPE	Diferencia
0%	31.36	31.36	0
5%	30.19	25.04	5.15
10%	28.32	24.44	3.88

Figura 59

Límite Líquido del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE



El análisis del LP del material de afirmado con la adición de PET y HDPE permite evaluar la influencia de estos materiales en la plasticidad del afirmado y su comportamiento en presencia de humedad. Los resultados muestran que, sin adición de polietileno, el límite plástico es igual para ambos materiales (20.18%). Con 5% de PET, el LP disminuye a 19.81%, mientras que con 5% de HDPE, se reduce más significativamente hasta 17.37%, con una diferencia de 2.44% a favor del HDPE. Con 10% de PET, el LP alcanza 18.48%, mientras que con 10% de HDPE, baja a 17.67%, mostrando una diferencia de 0.81%, nuevamente con mayor reducción en el caso del HDPE.

Estos valores indican que HDPE reduce más el límite plástico que el PET, lo que significa que el afirmado tratado con HDPE es menos susceptible a deformaciones plásticas y presenta una mayor estabilidad en condiciones de humedad. Un menor límite plástico favorece la resistencia del material y mejora su compactabilidad.

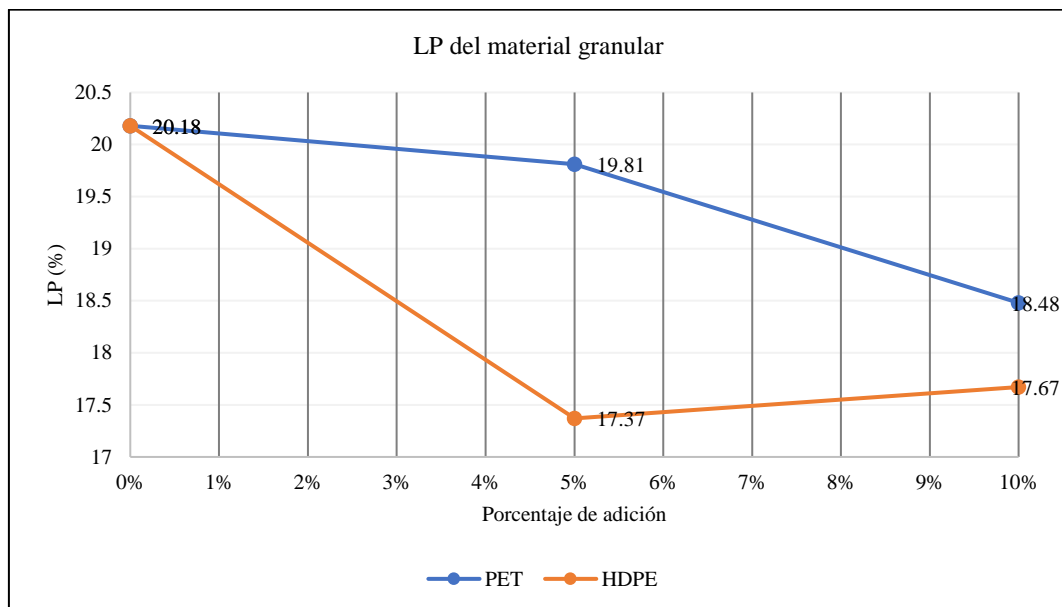
Tabla 44

Límite Plástico del Material de Afirmando con Adición de PET y HDPE

% de adición	LP (%)		
	PET	HDPE	Diferencia
0%	20.18	20.18	0
5%	19.81	17.37	2.44
10%	18.48	17.67	0.81

Figura 60

Límite Plástico del Material de Afirmando con Adición de PET y HDPE



El análisis del IP del material de afirmado con la adición de PET y HDPE permite evaluar cuál de estos materiales reduce más la plasticidad del afirmado, favoreciendo su estabilidad y resistencia estructural. Los resultados muestran que, sin adición de polietileno, el índice de plasticidad es igual para ambos materiales (11.18%). Con 5% de PET, el IP se reduce a 10.38%, mientras que con 5% de HDPE, baja más drásticamente a 7.67%, con una diferencia de 2.71% a favor del HDPE. Con 10% de PET, el índice de plasticidad es 9.84%, mientras que con 10%

de HDPE, baja significativamente hasta 6.77%, mostrando una diferencia de 3.07%, lo que indica que el HDPE es más efectivo en la reducción de plasticidad.

Estos valores sugieren que el HDPE disminuye más la plasticidad del afirmado en comparación con el PET, lo que indica una menor susceptibilidad a la humedad y una mayor estabilidad volumétrica del material. Un menor índice de plasticidad reduce el riesgo de deformaciones y mejora la compactación del afirmado, haciéndolo más adecuado para infraestructura vial.

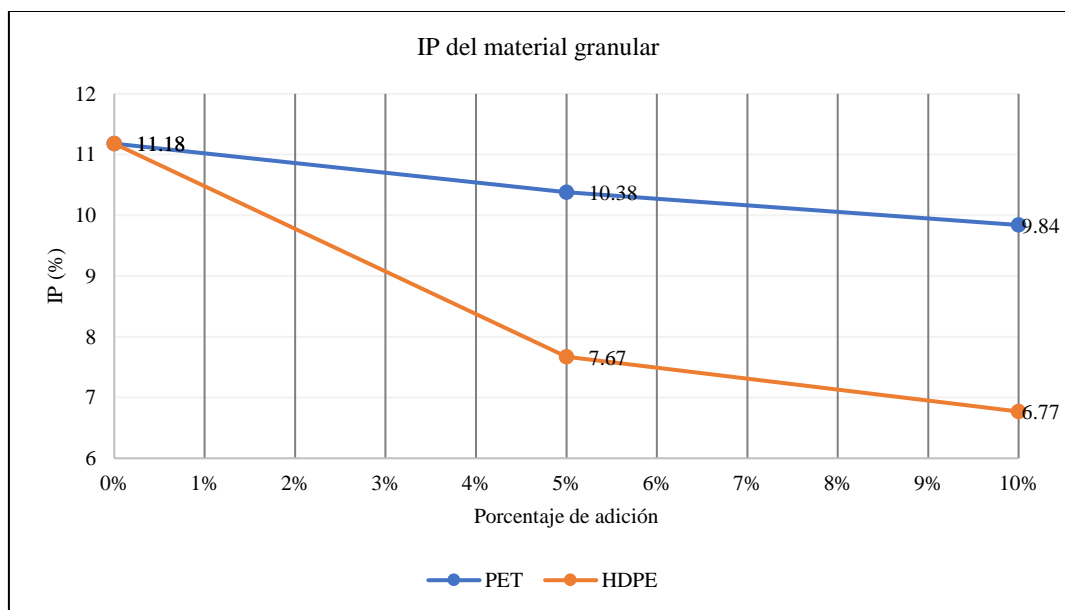
Tabla 45

Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE

% de adición	IP (%)		
	PET	HDPE	Diferencia
0%	11.18	11.18	0
5%	10.38	7.67	2.71
10%	9.84	6.77	3.07

Figura 61

Índice de Plasticidad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE



El análisis de la Máxima Densidad Seca (MDS) del material de afirmado con la adición de PET y HDPE permite evaluar cuál de estos materiales mejora más la compactación del afirmado y su estabilidad estructural.

Los resultados muestran que, sin adición de polietileno, la MDS es la misma para ambos materiales (2.066 g/cm³). Con 5% de PET, la densidad aumenta ligeramente a 2.086 g/cm³, mientras que con 5% de HDPE, sube aún más hasta 2.112 g/cm³, con una diferencia de -0.026 g/cm³ a favor del HDPE, lo que indica una mejor compactación. Con 10% de PET, la densidad disminuye a 2.05 g/cm³, mientras que con 10% de HDPE, baja levemente a 2.102 g/cm³, con una diferencia de -0.052 g/cm³, confirmando que el HDPE mantiene una mayor densidad seca en comparación con el PET.

Estos valores indican que el HDPE mejora más la compactación del afirmado, permitiendo alcanzar una mayor densidad seca en comparación con el PET. Una mayor MDS sugiere que el material compactado es más resistente y estable, favoreciendo su desempeño estructural.

Por lo tanto, aunque ambos materiales mejoran la compactación, el HDPE demuestra ser más eficiente, ya que mantiene una mayor densidad seca en todas las proporciones evaluadas. Esto confirma que el HDPE es la mejor opción para mejorar la estabilidad y resistencia del afirmado, haciéndolo más adecuado para infraestructura vial con mayores exigencias de carga.

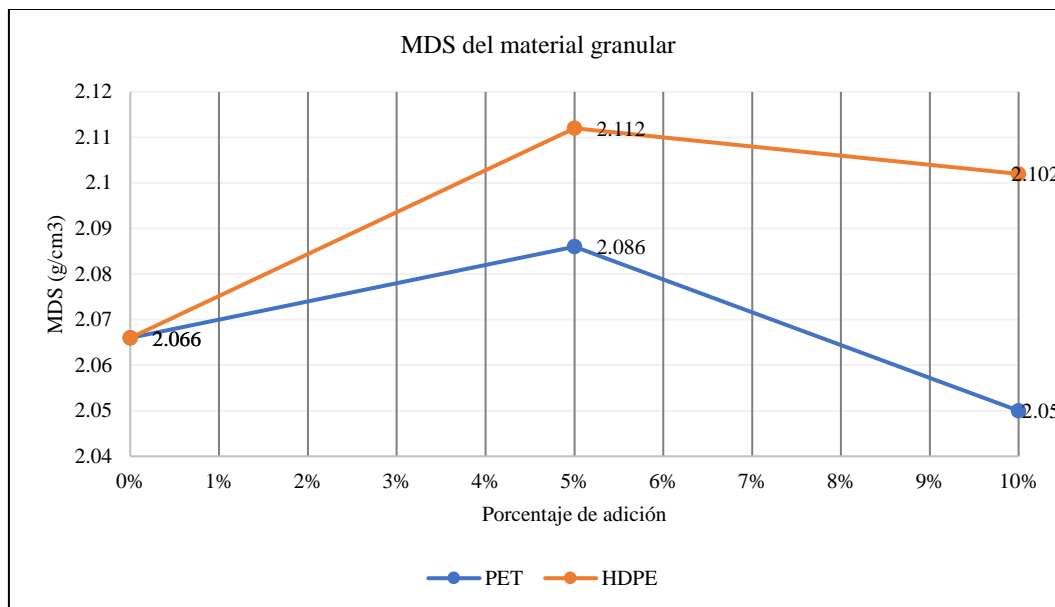
Tabla 46

Máxima Densidad Seca del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE

% de adición	MDS (%)		
	PET	HDPE	Diferencia
0%	2.066	2.066	0
5%	2.086	2.112	-0.026
10%	2.05	2.102	-0.052

Figura 62

Máxima Densidad Seca del Material de Afirmando con Adición de PET y HDPE



El análisis del Óptimo Contenido de Humedad (OCH) del material de afirmado con la adición de PET y HDPE permite evaluar cuál de estos materiales influye más en la cantidad de agua necesaria para alcanzar la máxima compactación. Los resultados muestran que, sin adición de polietileno, el OCH es el mismo para ambos materiales (6.8%). Con 5% de PET, el OCH disminuye a 6.2%, mientras que con 5% de HDPE, aumenta a 7.2%, reflejando una diferencia de -1%, lo que indica que el PET requiere menos agua para su compactación en esta proporción. Con 10% de PET, el OCH sube a 7.2%, mientras que con 10% de HDPE, se incrementa a 7.7%, con una diferencia de -0.5%, lo que sugiere que el HDPE mantiene una mayor retención de humedad en comparación con el PET.

Estos valores indican que el PET requiere menos agua que el HDPE para lograr una compactación óptima, lo que podría ser una ventaja en condiciones donde el control de humedad es un factor crítico. Sin embargo, el HDPE muestra un mayor incremento en el contenido de humedad óptimo, lo que sugiere que su incorporación podría influir más en la trabajabilidad del material durante la compactación.

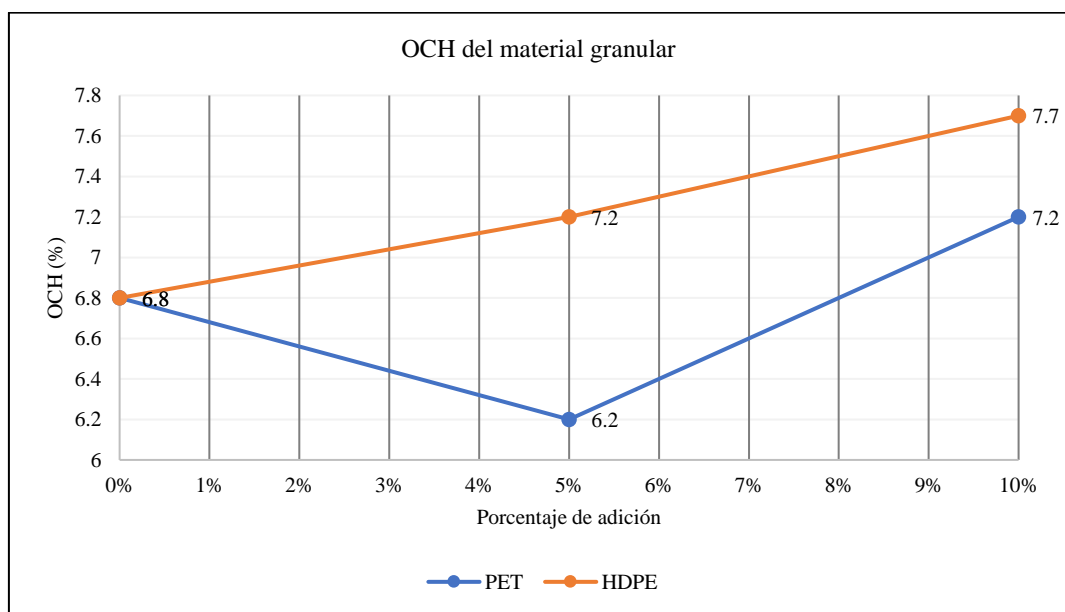
Tabla 47

Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE

% de adición	OCH (%)		
	PET	HDPE	Diferencia
0%	6.8	6.8	0
5%	6.2	7.2	-1
10%	7.2	7.7	-0.5

Figura 63

Óptimo Contenido de Humedad del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE



El análisis del desgaste por abrasión del material de afirmado con la adición de PET y HDPE permite evaluar la resistencia del material ante la fricción y el tránsito vehicular, determinando cuál de los dos polímeros mejora más la durabilidad del afirmado.

Los resultados muestran que, sin adición de polietileno, el desgaste es el mismo para ambos materiales (32.9%). Con 5% de PET, el desgaste disminuye a 24.7%, mientras que con 5% de HDPE, baja a 23.9%, reflejando una diferencia de 0.8% a favor del HDPE. Con 10% de PET, el desgaste se reduce a 20.7%, mientras que con 10% de HDPE, alcanza 20.0%, con una diferencia de 0.7%, lo que indica que el HDPE ofrece una mayor resistencia a la abrasión en comparación con el PET.

Estos valores indican que ambos materiales mejoran significativamente la resistencia al desgaste del afirmado, reduciendo la pérdida de material por fricción. Sin embargo, el HDPE muestra una ligera ventaja sobre el PET, ya que logra una mayor reducción del desgaste en ambas proporciones de adición.

Por lo tanto, aunque tanto el PET como el HDPE refuerzan la resistencia del afirmado al desgaste, el HDPE es la mejor opción, ya que proporciona una mayor reducción en la pérdida de material, lo que sugiere una mayor durabilidad y mejor desempeño frente a cargas de tránsito prolongadas.

Tabla 48

Desgaste a Abrasión del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE

% de adición	Desgaste (%)		
	PET	HDPE	Diferencia
0%	32.9	32.9	0
5%	24.7	23.9	0.8
10%	20.7	20	0.7

Figura 64

Desgaste a Abrasión del Material de Afirmando con Adición de PET y HDPE

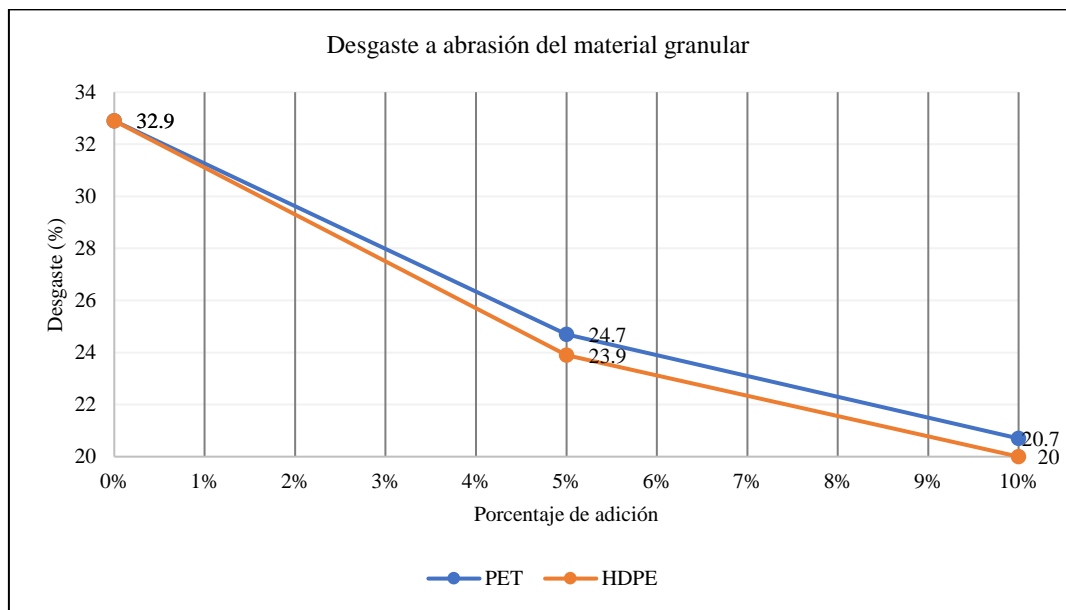


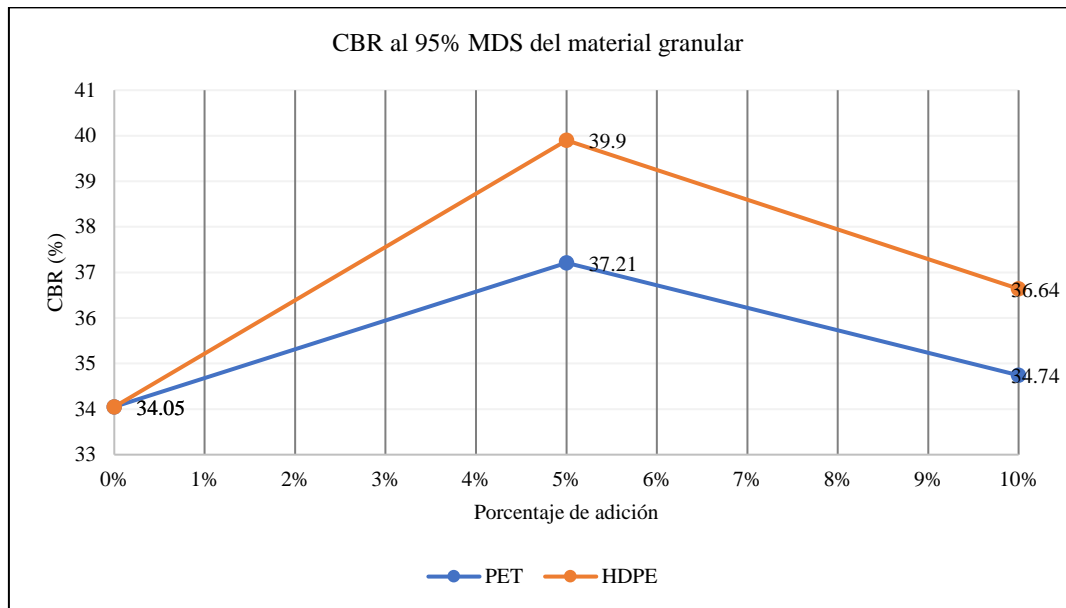
Tabla 49

CBR al 95% MDS del Material de Afirmando con Adición de PET y HDPE

% de adición	CBR al 95% MDS (%)		
	PET	HDPE	Diferencia
0%	34.05	34.05	0
5%	37.21	39.9	-2.69
10%	34.74	36.64	-1.9

Figura 65

CBR al 95% MDS del Material de Afirmando con Adición de PET y HDPE



El análisis del CBR al 100% de la MDS del material de afirmado con la adición de PET y HDPE permite comparar la capacidad de soporte del afirmado tratado con cada tipo de polietileno y determinar cuál proporciona una mayor resistencia estructural.

Los resultados muestran que, sin adición de polietileno, el CBR es el mismo para ambos materiales (40.07%). Con 5% de PET, el CBR aumenta a 43.78%, mientras que con 5% de HDPE, sube más hasta 46.91%, reflejando una diferencia de -3.13% a favor del HDPE. Con 10% de PET, el CBR alcanza 40.81%, mientras que con 10% de HDPE, llega a 43.03%, con una diferencia de -2.22%, lo que indica que el HDPE genera una mayor mejora en la capacidad de soporte en comparación con el PET.

Estos valores indican que ambos materiales incrementan la resistencia del afirmado, pero el HDPE proporciona un mayor aumento en la capacidad de soporte en ambas proporciones de adición. Un CBR más alto significa que el

material es más resistente y menos susceptible a la deformación bajo cargas pesadas, lo que es fundamental para su desempeño en infraestructura vial.

Por lo tanto, aunque PET y HDPE mejoran el CBR, el HDPE es la mejor opción, ya que proporciona una mayor resistencia estructural, permitiendo que el afirmado soporte mejor las cargas de tránsito y garantizando una mayor estabilidad y durabilidad en su aplicación en carreteras y vías de alto tráfico.

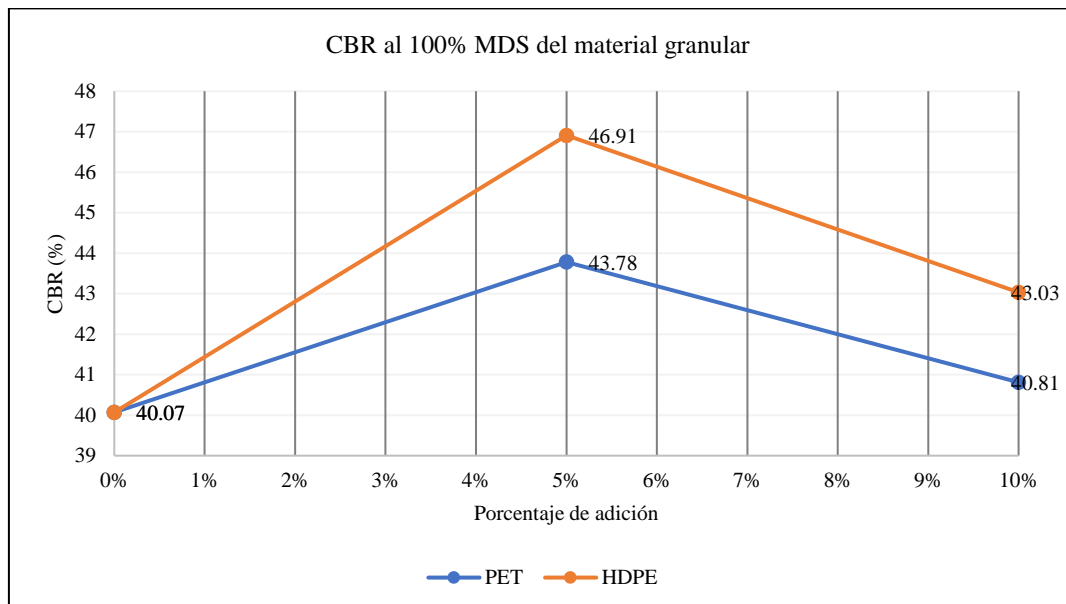
Tabla 50

CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE

% de adición	CBR al 100% MDS del		
	PET	HDPE	Diferencia
0%	40.07	40.07	0
5%	43.78	46.91	-3.13
10%	40.81	43.03	-2.22

Figura 66

CBR al 100% MDS del Material de Afirmado con Adición de PET y HDPE



4.2. Contrastación de hipótesis

4.2.1. *Hipótesis de la Investigación*

La presente investigación plantea la hipótesis de que la incorporación de diferentes proporciones de polietileno triturado (PET y HDPE) en el material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo mejorará significativamente sus propiedades físicas y mecánicas, incrementando su índice CBR. Esto permitirá que el material cumpla con los requisitos establecidos en la normativa EG-2013 (MTC, 2015), haciéndolo apto para su uso como subbase granular en infraestructuras viales.

4.2.2. *Análisis descriptivo*

Para validar la hipótesis planteada, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos en laboratorio y los criterios establecidos en la normativa EG-2013 (MTC, 2015). Los parámetros analizados incluyen granulometría, límites de consistencia, densidad, CBR y desgaste por abrasión. Este análisis permitió evaluar el impacto de la adición de polietileno triturado (PET y HDPE) en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, determinando su viabilidad para su uso en infraestructuras viales.

Tabla 51*Propiedades Físico Mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan**Bajo para el Análisis Estadístico*

Propiedades	% de adición	PET	HDPE
LL (%)	0%	31.36	31.36
LP (%)	0%	20.18	20.18
IP (%)	0%	11.18	11.18
MDS (g/cm ³)	0%	2.07	2.07
OCH (%)	0%	6.80	6.80
CBR al 100% MDS	0%	40.07	40.07
CBR al 95% MDS	0%	34.05	34.05
Desgaste (%)	0%	32.9	32.9
LL (%)	5%	30.19	25.04
LP (%)	5%	19.81	17.37
IP (%)	5%	10.38	7.67
MDS (g/cm ³)	5%	2.09	2.11
OCH (%)	5%	6.20	7.20
CBR al 100% MDS	5%	43.78	46.91
CBR al 95% MDS	5%	37.21	39.90
Desgaste (%)	5%	24.7	23.9
LL (%)	10%	28.32	24.44
LP (%)	10%	18.48	17.67
IP (%)	10%	9.84	6.77
MDS (g/cm ³)	10%	2.05	2.10
OCH (%)	10%	7.20	7.70
CBR al 100% MDS	10%	40.81	43.03
CBR al 95% MDS	10%	34.74	36.64
Desgaste (%)	10%	20.7	20

4.2.3. Criterio de aceptación de la hipótesis

Se acepta la hipótesis alternativa (H1), cuando el valor p (probabilidad) es menor a 0.05 (nivel de significancia), para un nivel de confianza del 95%, caso contrario se acepta la hipótesis nula (Ho). Las hipótesis de estudio son:

- H1: La adición de residuo PET y HDPE mejora las características Físico Mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, Chota y cumple con los requisitos técnicos de la EG-2013 para su uso en la superficie de la infraestructura vial.
- Ho: La adición de residuo PET y HDPE no mejora las características Físico Mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, Chota y no cumple con los requisitos técnicos de la EG-2013 para su uso en la superficie de la infraestructura vial.

4.2.4. Prueba de normalidad y criterios

En el programa Minitab 22 se ha realizado la prueba de hipótesis, mediante la verificación inicial de la tendencia normal de las propiedades del suelo granular con la adición de PET o HDPE para conformar el material de afirmado. Se ha comprobado que, los datos siguen tendencia normal por la prueba Anderson Darling debido a que, en ambos casos el valor p es mayor a 0.05. Luego se ha procedido a verificar si se acepta o rechaza la hipótesis alternativa (H1) o hipótesis nula (Ho) en estudio por medio de pruebas paramétricas (Correlación de Pearson para verificar la influencia del PET y HDPE en las propiedades del material granular, ANOVA para diferencia de medias y t-student para verificar si cumple con los parámetros para ser considerado material de afirmado de acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones).

Figura 67

*Prueba de Normalidad para las Propiedades del Material de Afirmando de la
Cantera Sivingan Bajo con PET*

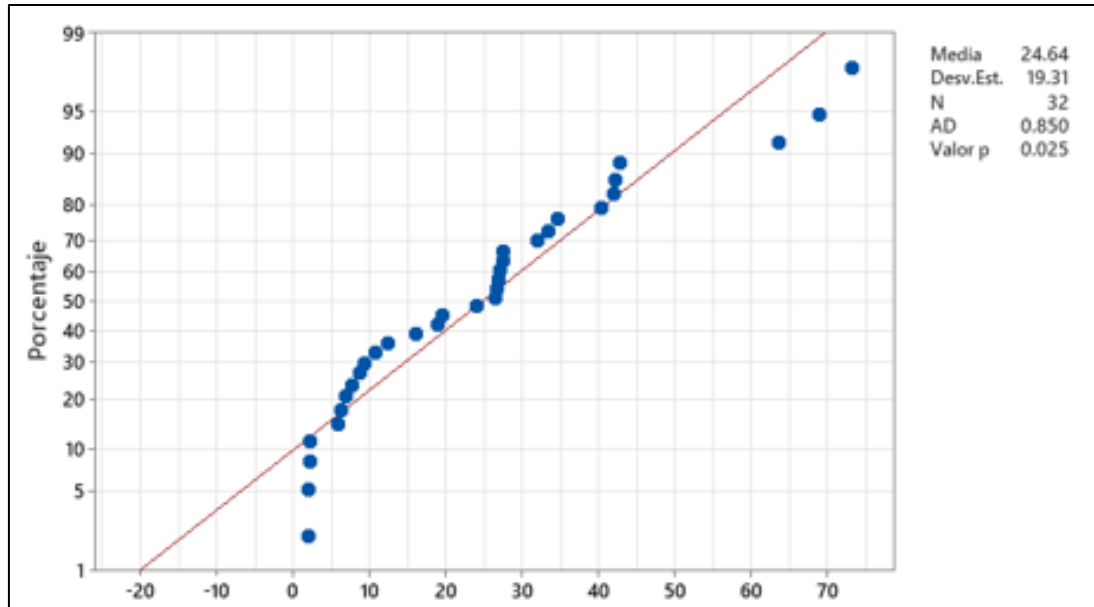
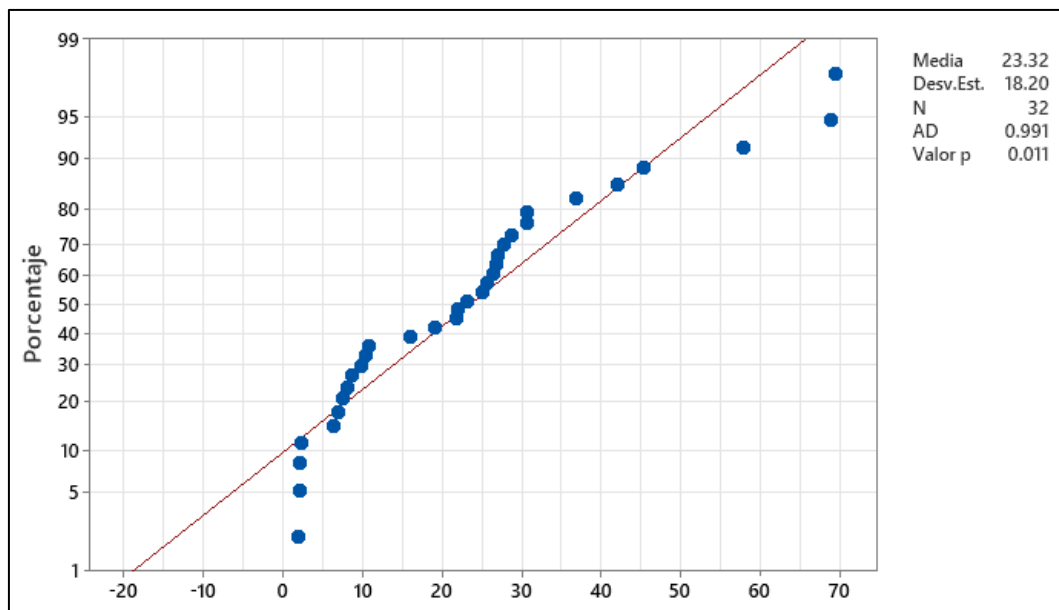


Figura 68

*Prueba de Normalidad para las Propiedades del Material de Afirmando de la
Cantera Sivingan Bajo con HDPE*













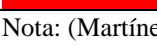


4.2.5. Prueba de correlación de Pearson

En el programa Minitab 22, se han obtenido los coeficientes de correlación de Pearson para cada una de las propiedades físico mecánicas y el porcentaje de adición de PET y HDPE por separado en el material granular de la cantera Sivingan Bajo, y estos coeficientes obtenidos fueron calificados de acuerdo a Martínez & Campos (2015), determinado que, hay una correlación muy fuerte entre el porcentaje de incorporación de cada aditivo y las propiedades del suelo, con coeficientes de correlación de Pearson de ± 0.90 . Siendo así, se acepta la hipótesis alternativa y se argumenta que, la adición de residuos PET y HDPE influye en las características del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, Chota.

Tabla 52

Correlación de Pearson Calificación

	Valor	Correlación
	1	positiva perfecta
	0.9 y 0.99	positiva muy fuerte
	0.7 y 0.89	positiva fuerte
	0.4 y 0.69	positiva moderada
	0.2 y 0.39	positiva débil
	0.01 y 0.19	positiva muy débil
	0	No hay correlación entre las variables
	-0.01 y -0.19	negativa muy débil
	-0.2 y -0.39	negativa débil
	-0.4 y -0.69	negativa moderada
	-0.7 y -0.89	negativa fuerte
	-0.9 y -0.99	negativa muy fuerte
	-1	negativa perfecta

Nota: (Martínez & Campos, 2015).

Tabla 53

Correlaciones del material de Afirmado de la Cantera Sivingan Bajo con PET

Correlaciones	Porcentaje de adición	Humedad (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava 3" (tamiz N° 4) (%)	Arena N° 4 – N° 200 (%)	Arena gruesa (N° 4 – N° 10) %	Arena media (N° 10 – N° 40) %	Arena fina (N° 40 – N° 200) %	Finos < N° 200 (%)	MDS (g/cm3)	OCH (%)	Expansión (%)	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
Humedad (%)	-0.986															
LL (%)	0.999	-0.98														
LP (%)	0.997	-0.986	0.99													
IP (%)	-0.923	0.936	-0.91	-0.95												
Grava 3" (tamiz N° 4) (%)	-0.982	0.942	-0.99	-0.984	0.917											
Arena N° 4 – N° 200 (%)	0.993	-0.961	1	0.985	-0.88	-0.988										
Arena gruesa (N° 4 – N° 10) %	0.408	-0.513	0.37	0.465	-0.7	-0.355	0.304									
Arena media (N° 10 – N° 40) %	0.955	-0.901	0.97	0.935	-0.78	-0.96	0.982	0.121								
Arena fina (N° 40 – N° 200) %	0.961	-0.908	0.97	0.944	-0.8	-0.969	0.987	0.147	0.999							
Finos < N° 200 (%)	-0.928	0.918	-0.93	-0.896	0.728	0.871	-0.935	-0.16	-0.944	-0.937						
MDS (g/cm3)	-0.972	0.98	-0.96	-0.987	0.986	0.955	-0.943	-0.602	-0.865	-0.878	0.831					
OCH (%)	0.992	-0.998	0.99	0.993	-0.95	-0.958	0.971	0.503	0.913	0.921	-0.912	-0.986				
Expansión (%)	0.985	-0.947	0.99	0.987	-0.92	-1	0.991	0.355	0.962	0.971	-0.879	-0.956	0.963			
CBR al 100% MDS	-0.932	0.921	-0.94	-0.901	0.735	0.876	-0.939	-0.165	-0.947	-0.94	1	0.836	-0.916	-0.885		
CBR al 95% MDS	-0.867	0.882	-0.87	-0.83	0.661	0.777	-0.863	-0.174	-0.866	-0.855	0.982	0.771	-0.866	-0.789	0.981	
Desgaste (%)	0.928	-0.938	0.93	0.9	-0.76	-0.854	0.921	0.256	0.911	0.904	-0.993	-0.851	0.927	0.864	-0.992	-0.99

Tabla 54

Correlaciones del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo con HDPE

Correlaciones	Porcentaje de adición	Humedad (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava 3" (tamiz N° 4) (%)	Arena N° 4 – N° 200 (%)	Arena gruesa (N° 4 – N° 10) %	Arena media (N° 10 – N° 40) %	Arena fina (N° 40 – N° 200) %	Finos < N° 200 (%)	MDS (g/cm3)	OCH (%)	Expansión (%)	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
Humedad (%)	-1															
LL (%)	0.831	-0.835														
LP (%)	0.912	-0.914	0.985													
IP (%)	-0.974	0.974	-0.922	-0.975												
Grava 3" (tamiz N° 4) (%)	-0.931	0.926	-0.577	-0.708	0.845											
Arena N° 4 – N° 200 (%)	0.944	-0.939	0.604	0.731	-0.86	-0.999										
Arena gruesa (N° 4 – N° 10) %	0.924	-0.915	0.685	0.797	-0.91	-0.946	0.945									
Arena media (N° 10 – N° 40) %	0.864	-0.862	0.444	0.581	-0.73	-0.967	0.966	0.833								
Arena fina (N° 40 – N° 200) %	0.321	-0.334	-0.004	0.058	-0.13	-0.393	0.401	0.082	0.605							
Finos < N° 200 (%)	-0.815	0.827	-0.912	-0.898	0.84	0.572	-0.604	-0.551	-0.54	-0.38						
MDS (g/cm3)	-0.987	0.984	-0.763	-0.863	0.953	0.967	-0.974	-0.97	-0.891	-0.27	0.713					
OCH (%)	0.997	-0.995	0.801	0.891	-0.97	-0.951	0.961	0.952	0.878	0.29	-0.765	-0.997				
Expansión (%)	0.584	-0.576	0.799	0.789	-0.74	-0.399	0.41	0.661	0.162	-0.562	-0.481	-0.588	0.592			
CBR al 100% MDS	-0.969	0.965	-0.673	-0.79	0.904	0.992	-0.996	-0.956	-0.945	-0.366	0.66	0.99	-0.98	-0.475		
CBR al 95% MDS	-0.961	0.96	-0.649	-0.764	0.877	0.986	-0.991	-0.911	-0.969	-0.48	0.689	0.971	-0.97	-0.38	0.992	
Desgaste (%)	-0.895	0.9	-0.589	-0.686	0.782	0.899	-0.91	-0.746	-0.949	-0.705	0.75	0.871	-0.88	-0.162	0.908	0.953

4.2.6. *Análisis ANOVA para diferencia de medias*

Se ha aplicado la prueba ANOVA para verificar si existe diferencia significativa entre los resultados determinados por tipo de propiedad, porcentaje de adición (0%, 5 y 10%) y por tipo de aditivo (PET y HDPE). Determinado que, el valor p es menor a 0.05 para propiedades, es decir existe diferencia significativa entre los resultados de diferentes propiedades físicas o mecánicas analizadas; asimismo, el valor p para porcentaje de adición es 0.0144, siendo menor a 0.05, por lo que se puede inferir que los resultados de las propiedades físicas y mecánicas del suelo varían significativamente de acuerdo al porcentaje de adición de uno u otro aditivo. Pero, el valor p para aditivo es 0.529, siendo mayor a 0.05, por lo que se infiere que, las propiedades del suelo no varían significativamente para uno u otro tipo de aditivo, sino que, se obtienen resultados similares usando PET o HDPE.

Tabla 55

Prueba ANOVA para las Propiedades Físico Mecánicas del Suelo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Propiedades	7	17795.3	2542.19	36.37	0.000
% de adición	3	394.4	131.46	1.88	0.014
Aditivo	1	28.1	28.13	0.40	0.529
Error	52	3634.5	69.89		
Total	63	21852.3			

4.2.7. Prueba t-student

Según el análisis ANOVA, no se encontró una diferencia significativa en los resultados basada en el tipo de aditivo (PET o HDPE), pero sí en relación con el porcentaje de adición. Por esta razón, se evaluó si el suelo con la adición de PET y HDPE, en porcentajes de 5% y 10%, cumple con las propiedades físico-mecánicas requeridas para un material de afirmado. Los resultados mostraron que los valores de p para los porcentajes de 5% y 10%, en relación con el índice de plasticidad (IP), porcentaje de desgaste y CBR, permitieron que estos aceptarán las hipótesis correspondientes al cumplimiento de los lineamientos normativos para material de afirmado dados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, lo que indica que se aceptan la hipótesis alternativa general correspondiente, infiriendo que cumplen con los requisitos del MTC (2014). Por tanto, la adición de PET y HDPE al material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, Chota, en proporciones del 5% y 10%, cumple con los estándares técnicos de la EG-2013 para su uso como afirmado en superficies de infraestructura vial.

4.2.7.1. Propiedades físicas

Hipótesis específica 1:

- H1: Las propiedades físicas: límite líquido y límite plástico del afirmado de la cantera Sivingan Bajo mejoran utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8” por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE).
- Ho: Las propiedades físicas: límite líquido y límite plástico del afirmado de la cantera Sivingan Bajo no mejoran utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8” por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE).

a) Límite líquido

H1: El límite líquido del suelo con adición de residuos PET y HDPE es menor a 35%.

H0: El límite líquido del suelo con adición de residuos PET y HDPE no es menor a 35%.

Tabla 56

Prueba t-student para Límite Líquido del Suelo con Adición de Residuos PET y HDPE

H0: $\mu = 35$

H1: $\mu < 35$

Muestra	Valor T	Valor p
0% adición	-11.69	0.27000*
5% adición	-2.15	0.0138**
10% adición	0.09	0.0285**

Nota: El valor p para 5% de adición es mayor a 0.05, por tanto, se acepta H0, y se infiere que esta dosificación no cumple con no superar el 35% del límite líquido.

b) Índice de plasticidad

H1: El índice de plasticidad del suelo con adición de residuos PET y HDPE es menor a 9%.

H0: El índice de plasticidad del suelo con adición de residuos PET y HDPE no es menor a 9%.

Tabla 57

Prueba t-student para Índice de Plasticidad del Suelo

H0: $\mu = 9$

H1: $\mu > 9$

Muestra	Valor T	Valor p
0% adición	0.44	0.0369*
5% adición	-1.37	0.799**
10% adición	-2.96	0.896**

Nota: El valor p para 5% y 10% de adición es mayor a 0.05, por tanto, se acepta H0, y se infiere que estas dosificaciones en promedio cumplen con ser iguales o inferiores a 9%.

4.2.7.2. Propiedades mecánicas

Hipótesis específica 2:

- H1: Las propiedades mecánicas: Proctor modificado y CBR de laboratorio del afirmado de la cantera Sivingan Bajo mejoran utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8” por separado: (PET) y (HDPE).
- Ho: Las propiedades mecánicas: Proctor modificado y CBR de laboratorio del afirmado de la cantera Sivingan Bajo no mejoran utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8” por separado: (PET) y (HDPE).

a) Porcentaje de desgaste

H1: El porcentaje de desgaste del suelo con adición de residuos PET y HDPE es menor a 50%.

Ho: El porcentaje de desgaste del suelo con adición de residuos PET y HDPE no es menor a 50%.

Tabla 58

Prueba t-student para Porcentaje de Desgaste por Abrasión del Suelo

Ho: $\mu = 50$

H1: $\mu < 50$

Muestra	Valor T	Valor p
0% adición	-79.46	0.004*
5% adición	-41.89	0.008*
10% adición	-6.77	0.047*

Nota: El valor p para 5% y 10% de adición es menor a 0.05, por tanto, se acepta H1, y se infiere que esta dosificación cumple con no superar el 50% de porcentaje de desgaste a abrasión.

b) CBR

H1: El CBR del suelo con adición de residuos PET y HDPE es mayor a 40%.

Ho: El CBR del suelo con adición de residuos PET y HDPE no es mayor a 40%.

Tabla 59

Prueba t-student para CBR del Suelo

H₀: $\mu = 40$

H₁: $\mu > 40$

Muestra	Valor T	Valor p
0% adición	16.91	0.059**
5% adición	7.31	0.043*
10% adición	-26.66	0.038*

Nota: El valor p para 5% y 10% de adición es menor a 0.05, por tanto, se acepta H₁, y se infiere que estas dosificaciones en promedio superan el 40% de CBR, mientras que, para la dosificación con 1% el valor p es mayor a 0.05, por tanto, se acepta H₀, y se infiere que en este caso no se cumple con superar el 40% de CBR.

4.2.7.3. Tipo de aditivo

Hipótesis específica 3:

- H₁: El tipo de polietileno que logra menor índice de plasticidad y mayor capacidad de soporte (CBR) al ser utilizado para mejorar las propiedades del afirmado de la cantera Sivingan Bajo en Chota es el HDPE.
- H₀: El tipo de polietileno que logra menor índice de plasticidad y mayor capacidad de soporte (CBR) al ser utilizado para mejorar las propiedades del afirmado de la cantera Sivingan Bajo en Chota no es el HDPE.

De acuerdo a la Tabla 55, el valor p para aditivo es 0.529, siendo mayor a 0.05, por lo que se infiere que, las propiedades del suelo no varían significativamente para uno u otro tipo de aditivo, sino que, se obtienen resultados similares usando PET o HDPE, siendo así se rechaza la hipótesis alternativa específica N° 3.

4.3. **Discusión de resultados**

El análisis de las propiedades físicas del afirmado de la cantera Sivingan Bajo con la incorporación de diferentes proporciones de polietileno triturado (PET y HDPE) permitió evaluar su impacto en el límite líquido y el límite plástico del material; los resultados muestran que la adición de PET y HDPE producen la reducción progresiva en estos parámetros, lo que indica la disminución de la plasticidad del material y, por ende, la mejora en su estabilidad.

En el caso del PET, se observó que el límite líquido disminuyó de 31.36% sin PET a 28.32% con 10% de PET, lo que representa reducción del 9.69%. De manera similar, el límite plástico se redujo de 20.18% a 18.48% con 10% de PET, mostrando tendencia decreciente en la cohesión del material; estas disminuciones son consistentes con Khalid & Alshawmar (2024), quienes concluyeron que la adición de fibras de PET reciclado hasta 2% mejora la estabilidad del suelo al reducir su plasticidad. Asimismo, Mogollón (2024) encontró que la incorporación de PET en bases granulares mejora su desempeño mecánico, lo que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación.

Por otro lado, el HDPE también generó reducción significativa en los valores de plasticidad. El límite líquido pasó de 31.36% sin HDPE a 24.44% con 10% de HDPE, lo que representa disminución del 22.07%. Asimismo, el límite plástico disminuyó de 20.18% a 17.67%, lo que refleja menor cohesión en la mezcla y mejor compactabilidad. Estos resultados concuerdan con Tabassum & Bheemasetti (2024), quienes encontraron que la adición de HDPE mejora la resistencia de los suelos limosos al disminuir su plasticidad. Además, Hyder & Altaf (2024) demostraron que la adición de HDPE reduce la absorción de agua de

los agregados, lo que podría explicar la menor plasticidad del afirmado con HDPE en esta investigación.

El índice de plasticidad (IP) también mostró tendencia decreciente con la incorporación de PET y HDPE. Con PET, el IP disminuyó de 11.18% a 9.84% con 10% de adición, mientras que con HDPE pasó de 11.18% a 6.77%. La disminución más pronunciada en el caso del HDPE indica que este material tiene mayor impacto en la reducción de la plasticidad del afirmado. Estos hallazgos coinciden con Suthar et al. (2024), quienes encontraron que la adición de PET mejora la firmeza al corte y reduce el IP, mejorando la estabilidad del suelo. Asimismo, la investigación de Shah & Thaker (2024) evidenció que el uso de residuos plásticos mejora las propiedades mecánicas de la subrasante, lo que refuerza la validez de los resultados obtenidos en este estudio.

Siendo así, la adición de PET y HDPE en este estudio presentó efectos similares en la reducción de la plasticidad del afirmado, aunque con mayor eficiencia en el caso del HDPE. Tamay (2022) y Fustamante (2021) demostraron que la inclusión de PET triturado mejora el desempeño mecánico del suelo, pero este efecto varía según la proporción utilizada y las características del suelo base. Por otro lado, Cueva & Alvarez (2023) reportaron que la adición de plástico reciclado molido en suelos arcillosos incrementa el CBR y disminuye la plasticidad, lo que respalda la aplicabilidad de estos materiales en afirmados.

Por tanto, los resultados de esta investigación confirman que tanto el PET como el HDPE contribuyen a mejorar las propiedades físicas del afirmado, reduciendo su plasticidad y haciéndolo más estable y adecuado para su uso en infraestructura vial. No obstante, el HDPE muestra mayor impacto en la disminución del índice de plasticidad y del límite líquido, lo que sugiere que su

incorporación en el afirmado podría ser más efectiva para mejorar la estabilidad del material en condiciones húmedas.

Por otro lado, respecto a la influencia de la incorporación de PET en las propiedades mecánicas del afirmado, los resultados mostraron que la MDS no experimentó cambios significativos con la adición de PET, manteniéndose en 2.1 g/cm³ para todas las combinaciones evaluadas. Sin embargo, se observó variación en el OCH, reduciéndose con 5% de PET y aumentando con 10%. Estos resultados coinciden con Khalid & Alshawmar (2024), quienes determinaron que la adición de PET reciclado en porcentajes controlados mejora la compactación del suelo sin afectar la densidad de manera significativa.

El CBR al 100% MDS aumentó de 40.1% (sin PET) a 43.8% con 5% de PET, pero disminuyó a 40.8% con 10%, lo que indica que una adición del 5% es más efectiva en la mejora de la capacidad de soporte. Este comportamiento es consistente con Suthar et al. (2024), quienes encontraron que la adición de 10% de PET mejora el CBR del suelo, pero mayor proporción puede afectar negativamente la cohesión del material.

En cuanto a la expansión, se evidenció reducción progresiva con la adición de PET, pasando del 2.5% (sin PET) al 1.7% con 10%, lo que mejora la estabilidad del afirmado ante la humedad. Esto es coherente con Shah & Thaker (2024), quienes determinaron que la adición de PET contribuye a la reducción de la expansividad del suelo, haciéndolo más estable en condiciones húmedas.

Por otro lado, el desgaste por abrasión disminuyó significativamente con la incorporación de PET, reduciéndose del 32.9% (sin PET) al 20.7% con 10%, indicando aumento en la durabilidad del material, tal como, Hyder & Altaf (2024),

quienes determinaron que los agregados tratados con plásticos reciclados presentan menor susceptibilidad al desgaste y mayor resistencia mecánica.

Al igual que con el PET, la MDS no experimentó cambios significativos con la adición de HDPE, manteniéndose en 2.1 g/cm³. No obstante, el OCH aumentó progresivamente con la incorporación del polímero, pasando de 6.8% (sin HDPE) a 7.7% con 10%. Este comportamiento es similar al reportado por Tabassum & Bheemasetti (2024), quienes observaron incremento en el contenido óptimo de humedad al adicionar HDPE en suelos limosos.

El CBR al 100% MDS se incrementó significativamente con 5% de HDPE, alcanzando un valor de 46.9%, pero disminuyó con 10% (43.0%), lo que sugiere que una adición controlada mejora la resistencia del afirmado sin afectar su compactabilidad. Estos resultados concuerdan con Ali et al. (2024), quienes evidenciaron que la inclusión de HDPE mejora los valores de CBR en suelos estabilizados, mejorando la capacidad de soporte del material.

En cuanto a la expansión, se redujo con la adición de HDPE, pasando del 2.5% (sin HDPE) al 2.0% con 10%, lo que indica una mejora en la estabilidad volumétrica del afirmado. Este comportamiento es similar al reportado por Karami et al. (2024), quienes determinaron que la combinación de plásticos reciclados con estabilizantes puede reducir la susceptibilidad a la expansión en suelos tratados.

El desgaste por abrasión disminuyó significativamente con la adición de HDPE, pasando de 32.9% (sin HDPE) a 20.0% con 10%. Esta tendencia es consistente con Mogollón (2024), quien reportó que la incorporación de plásticos reciclados en afirmados mejora la resistencia mecánica del material, haciéndolo más duradero frente a cargas de tránsito.

En general, la incorporación de PET y HDPE en el afirmado de la cantera Sivingan Bajo presenta tendencias similares a las reportadas en estudios previos, donde la adición de plásticos reciclados mejora la capacidad de soporte, reduce la expansividad y disminuye el desgaste del material. Sin embargo, los valores de CBR obtenidos en la presente investigación siguen estando por debajo de los requisitos establecidos en la normativa EG-2013 (MTC, 2015) para su uso como base, pero cumplen los requisitos de una subbase granular, lo que indica que, si bien el PET y el HDPE aportan mejoras mecánicas, su aplicación como base requiere combinaciones con otros estabilizantes.

En comparación con Tabassum & Bheemasetti (2024) quienes utilizaron combinaciones de plásticos reciclados con cemento, se observa que la adición de otros estabilizantes puede potenciar los efectos positivos del PET y HDPE. Por ello, se recomienda realizar estudios adicionales que analicen la combinación de estos materiales con cementantes u otros aditivos para mejorar sus propiedades mecánicas y garantizar su aplicabilidad en infraestructura vial.

Además, el análisis comparativo de las propiedades del material de afirmado con la adición de Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE) permitió evaluar cuál de estos materiales logra menor plasticidad y mayor capacidad de soporte (CBR), lo que es fundamental para la estabilidad del afirmado en infraestructura vial.

En cuanto a la humedad del material tratado con PET y HDPE, los resultados indican que, sin la adición de polímeros, la humedad es la misma en ambos casos (6.9%). Con la adición de 5% de PET, la humedad aumenta a 7.5%, mientras que con 5% de HDPE asciende a 7.8%, evidenciando una ligera mayor retención de humedad en el caso del HDPE. No obstante, con 10% de PET, la

humedad se incrementa a 8.1%, mientras que con 10% de HDPE se reduce a 7.1%. Este comportamiento sugiere que el HDPE retiene menos humedad que el PET a medida que se incrementa su porcentaje de adición.

El comportamiento del Límite líquido (LL) también mostró diferencias significativas. Sin adición de polietileno, el LL es de 31.36%. Con la adición de 5% de PET, este valor se reduce levemente a 30.19%, mientras que con 5% de HDPE desciende más drásticamente hasta 25.04%, mostrando mayor reducción con el HDPE. Con 10% de PET, el LL alcanza 28.32%, mientras que con 10% de HDPE baja a 24.44%. Estos resultados confirman que el HDPE es más efectivo en la reducción de la plasticidad del material.

De manera similar, el Límite plástico (LP) mostró tendencia decreciente con la adición de ambos materiales. Sin polietileno, el LP es de 20.18% en ambos casos. Con 5% de PET, el LP disminuye a 19.81%, mientras que con 5% de HDPE baja más drásticamente a 17.37%. Con 10% de PET, el LP alcanza 18.48%, mientras que con 10% de HDPE es de 17.67%. Esto indica que el HDPE reduce más la plasticidad del material de afirmado, proporcionando una mayor estabilidad en condiciones de humedad.

El Índice de Plasticidad (IP), también reflejó mayor reducción con el HDPE. Sin adición de polietileno, el IP es de 11.18% para ambos materiales. Con 5% de PET, el IP disminuye a 10.38%, mientras que con 5% de HDPE baja más significativamente a 7.67%. Con 10% de PET, el IP se reduce a 9.84%, mientras que con 10% de HDPE baja hasta 6.77%, lo que confirma la mayor eficiencia del HDPE en la reducción de la plasticidad del material.

Respecto a la MDS, ambos materiales mostraron mejoras en la compactación. Sin adición de polímeros, la MDS es de 2.066 g/cm³. Con 5% de

PET, aumenta ligeramente a 2.086 g/cm³, mientras que con 5% de HDPE sube a 2.112 g/cm³, mostrando una mayor densificación con HDPE. Con 10% de PET, la MDS disminuye a 2.05 g/cm³, mientras que con 10% de HDPE baja a 2.102 g/cm³, confirmando que el HDPE permite mayor densificación del material.

El CBR, mostró una mejora más pronunciada con la adición de HDPE. Sin polietileno, el CBR al 100% de la MDS es de 40.07%. Con 5% de PET, este valor aumenta a 43.78%, mientras que con 5% de HDPE asciende a 46.91%. Con 10% de PET, el CBR se mantiene en 40.81%, mientras que con 10% de HDPE alcanza 43.03%, lo que sugiere que el HDPE mejora más la capacidad de soporte.

Estos hallazgos son consistentes con Tabassum & Bheemasetti (2024) quienes encontraron que la adición de HDPE mejora la resistencia del afirmado, particularmente cuando se usa en combinación con cemento. De manera similar, Hyder & Altaf (2024) demostraron que el uso de plásticos reciclados mejora la estabilidad de los agregados en infraestructuras viales. También, Mogollón (2024) identificó que la adición de PET mejora el CBR, aunque en menor medida que otros estabilizantes, lo que coincide con los resultados obtenidos.

Por tanto, el HDPE es más efectivo que el PET para reducir la plasticidad y mejorar la capacidad de soporte del afirmado de la cantera Sivingan Bajo. La menor retención de humedad, la reducción más pronunciada en los índices de plasticidad y la mayor compactación obtenida con el HDPE lo convierten en la opción más viable para mejorar las propiedades del afirmado en aplicaciones de infraestructura vial. No obstante, futuras investigaciones podrían evaluar combinaciones de PET y HDPE o su uso conjunto con otros estabilizantes para mejorar aún más las propiedades mecánicas del material.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En términos generales, se concluye que la incorporación de residuos de PET y HDPE afecta positivamente las propiedades físico-mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, Chota, ya que mejora su granulometría, reduce su plasticidad y aumenta su capacidad de soporte, con coeficientes de correlación de Pearson de ± 0.90 . Sin embargo, los valores obtenidos no cumplen con los requisitos establecidos para base granular según la EG-2013 (MTC, 2015), debido a que el índice de plasticidad supera el máximo de 6% y el CBR al 100% de la MDS es menor a 80%. No obstante, sí cumplen con los parámetros establecidos para subbase granular y afirmado, dado que el índice de plasticidad es inferior a 9% y el CBR es superior al 40% cuando se adiciona 5% y 10% de PET o HDPE.

Las conclusiones específicas son las siguientes:

- 1) La adición de PET y HDPE reduce la plasticidad del afirmado de la cantera Sivingan Bajo. Con 10% de PET, el límite líquido disminuye de 31.4% a 28.3% y el índice de plasticidad de 11.2% a 9.8%, aunque sigue fuera del límite normativo (máx. 6%). En cambio, con 10% de HDPE, el límite líquido baja a 24.4% y el índice de plasticidad a 6.77%, acercándose al valor permitido. Además, el HDPE reduce mejor la retención de humedad (7.10% con 10% de adición). Por lo tanto, el HDPE es más efectivo que el PET para mejorar las propiedades físicas del afirmado.
- 2) La adición de PET y HDPE mejora las propiedades mecánicas del afirmado. Con 5% de PET, la máxima densidad seca (MDS), es decir, la mayor densidad

alcanzada por el material compactado bajo el ensayo Proctor modificado, se incrementa a 2.086 g/cm³, y el CBR al 100% de la MDS alcanza 43.78%, superando el mínimo de 40% requerido para subbase granular y afirmado. Sin embargo, con 10% de PET el CBR desciende a 40.81%. En el caso del HDPE, con 5% de adición, la MDS se eleva a 2.112 g/cm³ y el CBR al 100% MDS alcanza 46.91%; mientras que con 10% de HDPE, el CBR es de 43.03%. El desgaste por abrasión también disminuye, pasando de 32.9% sin adición a 24.7% con 5% de PET y a 20.7% con 10% de PET; mientras que con HDPE, el desgaste baja a 23.9% con 5% y a 20.0% con 10%. Estos resultados indican que, aunque ambos aditivos generan mejoras, el HDPE presenta mejores resultados en capacidad de soporte y resistencia al desgaste, siendo el 5% de adición la proporción adecuada para mejorar la estabilidad del afirmado.

- 3) El HDPE es el tipo de polietileno que logra una mayor reducción del índice de plasticidad y una mejor capacidad de soporte en comparación con el PET. Con 10% de HDPE, el índice de plasticidad se reduce a 6.77%, mientras que con 10% de PET se mantiene en 9.84%. En cuanto al CBR al 100% MDS, con 5% de HDPE se alcanza 46.91% y con 5% de PET se logra 43.78%. Ambos casos cumplen con los requisitos de la EG-2013 para subbase granular y afirmado ($CBR \geq 40\%$ e $IP \leq 9\%$), pero no alcanzan los valores mínimos exigidos para base granular ($CBR \geq 80\%$ e $IP \leq 6\%$). Por lo tanto, el HDPE resulta ser la mejor opción para mejorar las propiedades físico-mecánicas del afirmado, dentro del rango de subbase granular y afirmado.

5.2. Recomendaciones y/o sugerencias

- 1) Se recomienda priorizar el uso de HDPE en lugar de PET para mejorar las propiedades físicas del afirmado, ya que logra una mayor reducción de la plasticidad y menor retención de humedad. Además, se sugiere realizar ajustes adicionales en la proporción de HDPE o complementarlo con otros estabilizadores para cumplir completamente con los límites normativos de plasticidad.
- 2) Se recomienda la adición de 5% de HDPE como la proporción óptima para mejorar la capacidad de soporte y compactación del afirmado, asegurando una mayor estabilidad y resistencia estructural. Asimismo, se sugiere complementar los estudios con pruebas a largo plazo para evaluar la durabilidad del material bajo condiciones reales de tráfico y clima.
- 3) Dado que el HDPE demuestra mejores resultados en la reducción de la plasticidad y el incremento de la capacidad de soporte, se recomienda su uso sobre el PET para mejorar las propiedades mecánicas del afirmado.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS

- Acevedo, I. (2002). Aspectos éticos en la investigación científica. *Ciencia y enfermería*, 8(1), 1-5. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95532002000100003>
- Aguilar-Condori, P. (2024). Evaluación de los Impactos Ambientales en la Cantera Taparachi Generadas por la Explotación de Materiales Empleados en la Construcción. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 1307-1326. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10568
- Ahmad, F., Bateni, F., & Azmi, M. (2010). Performance evaluation of silty sand reinforced with fibres. *Geotextiles and geomembranes*, 28(1), 93-99. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2009.09.017>
- Ali, S. J., Ekinci, A., & Iravanian, A. (2024). Stiffness and strength of an artificially cemented Waste-PET-Shred Reinforced Clay. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 48(3), 1655-1670. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40996-024-01395-9>
- Arandes, J. M., Bilbao, J., & López, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 28-45.
- Ariza, C., Rojas, C., & Romero, Y. (2016). *Evaluación de la capacidad de soporte (CBR) de un suelo expansivo con adición de ceniza volante*. [Tesis de grado; Universidad la Gran Colombia]. <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5529/EVALUACI%c3%93N%20DE%20LA%20CAPACIDAD%20DE%20SOPORTE%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas*, 11(2), 1-6. <https://doi.org/https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/614>
- Arteaga, j. (2018). *Análisis del comportamiento de la base – cemento para pavimentos con adición de residuos PET reciclado*. [Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil, Universidad Católica de Colombia].
- ASTM C 13. (27 de octubre de 2020). Desgaste de Los Angeles. *ASTM International* , págs. 1-6.

- ASTM D1557 - 12e1. (5 de julio de 2021). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m^{3ASTM International, págs. 1-14. <https://doi.org/10.1520/D1557-12E01>}
- ASTM D1883 - 1. (10 de diciembre de 2021). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. *ASTM International*, págs. 1-16. <https://doi.org/10.1520/D1883-21>
- ASTM D2216-19. (19 de marzo de 2019). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. *ASTM International*, págs. 1-7. <https://doi.org/10.1520/D2216-19>
- ASTM D4318 - 17e1. (17 de abril de 2018). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. *ASTM International* , págs. 1-20. <https://doi.org/10.1520/D4318-17E01>
- ASTM D6913 / D6913M - 17 . (15 de febrero de 2021). Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis. *ASTM International*, págs. 1-34. https://doi.org/10.1520/D6913_D6913M-17
- Azam, F. A., bte Roslan, R., Baharudin, I. N., & Muchlas, N. H. (2024). Enhancing the soil stability using biological and plastic waste materials integrated sustainable technique. *Alexandria Engineering Journal*, 91(1), 321-333. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.02.016>
- Balboa, M. C. (2019). *Estudio del material afirmado para el terraplén de carreteras Chasquitambo*. [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3462>
- Bañón, L., & Beviá, J. (2000). *Manual de carreteras*. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1788>
- Barboza, D., & Rimapa, D. (2017). *Proyecto de pre-factibilidad de instalación de una planta de producción polietileno a partir de etileno*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo].
- Barcala, J. M. (2003). *Sistema automático de clasificación de plásticos para una planta de reciclaje de residuos sólidos urbanos*. [Doctoral dissertation, UNED. Universidad Nacional de Educación a Distancia].
- Borselli, L. (2019). *Parte II Clasificación ingenieril de los suelos y de los macizos rocosos*. Facultad de Ingeniería UASLP.

- Briones, M., & Irigoín, N. (2015). *Zonificación mediante el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y la capacidad portante del suelo, para viviendas unifamiliares en la expansión urbana del Anexo Lucmacucho Alto - Sector Lucmacucho, Distrito De Cajamarca*. [Tesis de grado: Universidad Privada del Norte].
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/6679/Briones%20Alva%20cMar%c3%ada%20Em%c3%a9rita%20%20Irigoin%20Gonzales%2c%20Nelson%20Ulices.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Calcina, M., & Delgado, C. (2019). *Analisis de la utilización de residuos plásticos HDPE como remplazo parcial de los componentes del concrete para resistencias $f_c=2010$ y 280 Kg/cm^2 , en la ciudad de Arequipa*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María].
- Canaria, A. G., & Iván, Á. (2020). *Estudio de estabilización de material para la conformación de afirmado en terraplenes del municipio de La Primavera – Vichada, mediante la adición de polímeros sintéticos ecológicos*. [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas].
<https://doi.org/http://hdl.handle.net/11349/25230>
- Capia, C. (2020). *Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca 2019*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión].
- Caraschi, J., & Lopes, A. (2002). Evaluación de las propiedades mecánicas de plásticos reciclados de residuos sólidos urbanos. *Acta Scientiarum. Tecnología* , 24(1), 1599-1602. <https://doi.org/https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v24i0.2462>
- Carlos, D. M., Pinho-Lopes, M., & Lopes, M. L. (2024). Evaluation of Penetration Resistance of Soils Reinforced with Geosynthetics Using CBR Tests. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 10(2), 22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40891-024-00524-8>
- Castro, L. R. (2024). *Influencia de organosilanos en las propiedades del afirmado de la cantera Roque - Jicamarca Anexo 22 – Lima – 2023*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12848/7764>
- Cueva, J. W., & Alvarez, L. A. (2023). *Propuesta para la estabilización de la subrasante en suelos arcillosos con el uso de plástico molido reciclado para carreteras en la zona de Lurín - Lima*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10757/670990>

- Dandin, S., Sathe, S., Wagale, M., & Jomde, A. (2024). Utilizing PET bottles for sustainable cellular reinforcement: A study on enhancing fly ash backfill bearing strength with innovative geocell alternative. *Construction and Building Materials*, 433(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136641>
- De Pedro, H. (12 de diciembre de 2019). PET, PVC, PS... ¿qué tipos de plásticos se pueden reciclar y cuáles no?. <https://afly.co/kp84>
- Delgado, Y. P. (2021). *Carpeta asfáltica reciclada para tratar las propiedades físicas y mecánicas de base granular deteriorada*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/2231>
- Franco, E., Ferrando, H., Luis, D., & MasPOCH, M. (2016). Reciclado mecánico de residuos plásticos. Caso práctico: Poliestireno de alto impacto para la fabricación de componentes de TV". *Afinidad*, 73(575), 226-235. <https://doi.org/https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/313761>
- Fustamante, N. (2021). *Evaluación de la capacidad de soporte del suelo adicionando polímeros reciclados (PET) en la sub rasante de la calle Camino Real, progresiva Km 0+000 - Km 0+750, Chota*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- García, J. (2005). *Diccionario de términos geológicos*. Ediciones Omega.
- García, L. (2003). Teoría del desarrollo sostenible y legislación ambiental colombiana , una reflexión, cultural. *Revista de Derecho*, 1(20), 198-215. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/pdf/851/85102008.pdf>
- Gastezzi, J. H. (2015). *Diseño de un laboratorio para el control de calidad para tuberías de HDPE según la norma INEN 1744 y el aseguramiento de la calidad de los resultados según la norma ISO 17025*. [Trabajo final para la obtención del título: Ingeniero Mecánico. Espol. Fimcp Guayaquil]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30715>
- Gaw, B., Zamora, S., Albano, L., & Tao, M. (2011). *Soil reinforcement with natural fibers for low-income housing communities*. [Partial fulfillment of the requirement for the Degree of Bachelor of Science: Worcester Polytechnic Institute. Project number: LDA-1006]. <https://core.ac.uk/download/pdf/212991772.pdf>
- Giral, J. M. (1995). La teoría del desarrollo sostenible y el objeto de la educación ambiental. *RIFOP: Revista interuniversitaria de formación del profesorado: continuación de la antigua Revista de Escuelas Normales*, 1(23), 53-64. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=117866>

- Gowthaman, S., Nakashima, K., & Kawasaki, S. (2018). A state-of-the-art review on soil reinforcement technology using natural plant fiber materials: Past findings, present trends and future directions. *Materials*, *11*(4), 553. <https://doi.org/10.3390/ma11040553>
- Grajales, T. (2000). *Tipos de investigación*. Efaind. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf
- Hartman, H., & Williams, J. J. (2024). *Materials: An environmental primer*. Routledge.
- Hejazi, S., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S., & Zadhoush, A. (2012). A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. *Construction and building materials*, *30*, 100-166. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.045>
- Hernandez, M., & Llerena, R. (2019). *Análisis de normativa internacional de carreteras no pavimentadas a fin de proponer estándares de diseño de la estructura de superficie de rodadura en Perú*. [Tesis de grado: Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2689>
- Hyder, M., & Altaf, E. A. (2024). Plastic Road Construction a Recent Advancement in Waste Management. *International Journal of Innovative Research in Engineering and Management*, *11*(3), 1-4. <https://doi.org/http://ijirem.irpublications.org/index.php/ijirem/article/view/29>
- Ibrahim, I. A., Khoo, K. S., Rawindran, H., Lim, J. W., Ng, H. S., Shahid, M. K., & Usman, A. (2023). Environmental Sustainability of Solvent Extraction Method in Recycling Marine Plastic Waste. *Sustainability*, *15*(22), 15742. <https://doi.org/10.3390/su152215742>
- Idrogo, D. Y. (2022). *Evaluación del nivel de intervención de vías afirmadas y su relación con el nivel de satisfacción de los usuarios, ruta Chota - Campamento*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- INACAL. (2019). *NTP 339.127 SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). *NTP 339.128 SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

- INACAL. (2019). *NTP 339.129 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). *NTP 339.141. SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)). 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). *NTP 339.145. SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (26 de noviembre de 2020). *NTP 400.019 AGREGADOS. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Método de ensayo. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).*
- Jave, J. A. (2020). *Propiedades físico-mecánicas de material para afirmado de la cantera El Gavilán con la adición de poliuretano en 2%, 4% y 6%.* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].
<https://doi.org/https://hdl.handle.net/11537/24717>
- Karaki, A., Hammoud, A., Masad, E., Khraisheh, M., Abdala, A. A., & Ouederni, M. (2024). A Review on Material Extrusion (MEX) of Polyethylene-Challenges, Opportunities, and Future Prospects. *Polymer*, *307*(1), 1-10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymer.2024.127333>
- Karami, M. R., Keramati, M., Maadi, R., & Moradi Moghaddam, H. (2024). Effect of layered polyethylene terephthalate (Geopet) for reinforcing stabilized sand with fly ash. *World Journal of Engineering*, *1*(1), 1-10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1108/WJE-12-2023-0501>
- Khalid, B., & Alshawmar, F. (2024). Comprehensive Review of Geotechnical Engineering Properties of Recycled Polyethylene Terephthalate Fibers and Strips for Soil Stabilization. *Polymers*, *16*(13), 1-10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym16131764>
- Kumar, M., Pratap, B., Azhar, M., Mondal, S., & Singh, R. P. (2024). The utilization of Plastic Waste for Stabilizing Expansive Soil Subgrade: A critical review. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, *xx*(xx), 1-43.
<https://doi.org/10.22059/cej.2024.369358.1991>

- Leiro, A., & Blanco, M. (1990). *Los geotextiles como nuevos materiales organicos en la obra pública*.
- López, I., Arriaga, A., & Pardo, M. (2018). La dimensión social del concepto de desarrollo sostenible: ¿La eterna olvidada? *Revista Española de Sociología*, 27(1), 25-41.
- Lorren, F. A. (2018). *Análisis comparativo de producción de afirmado cantera tres tomas con: técnica de estrato húmedo y seco – Ferreñafe, Lambayeque 2018*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/25680>
- Lorres, F. (2018). *Análisis comparativo de producción de afirmado cantera Tres Tomas con: Técnica de extracto húmedo y seco Ferreñafe, Lambayeque 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25680/Lorren_PF_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Martínez, A., & Campos, W. (2015). Correlación entre Actividades de Interacción Social Registradas con Nuevas Tecnologías y el grado de Aislamiento Social en los Adultos Mayores. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 36(3), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.17488/RMIB.36.3.4>
- Mendoza, M. E., & Perez, P. J. (2023). *Influencia del afirmado de cantera en la subbase del proyecto de pavimentación del Jr. Arica, Chincha 2022*. [Tesis de grado, Unviersidad César Vallejo]. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12692/113640>
- Mentzer, C. (2005). *Análisi global en la construcción con polietileno de alta densidad con propositos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de ingeniería*.
- Mere, R. (2014). *Elaboración y evaluación de placas aglomeradas abase de polieteleno de alta densidad reciclado y envases de letra PAK*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
- Merino, J. (2014). *Aseguramiento de la claidad en la construcción usando polietileno de la alta densidad (HDPE)*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Mogollon, J. Y. (2024). *Incorporación de partículas de plástico reciclado (PET) para mejorar propiedades en bases granulares para pavimentos de caminos de bajo tránsito*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura].
- Mora, R., Guevara Chávez, A. A., & Apaza Panca, C. Z. (2023). Influencia del polietileno tereftalato (PET) en el CBR de subrasantes tipo A-6 en la vía Mochenta-San

- Nicolás, Jaén. *Revista Científica Pakamuros*, 11(3), 129-144.
<https://doi.org/https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.c15f3h78>
- MPCH. (2018). *Plan de desarrollo urbano PDU 2017-2027 Chota*. Municipalidad Provincial de Chota (MPCH).
- MTC. (2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
- MTC. (2016). *Manual de ensayos de materiales*.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- MTC. (2018). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_1556.pdf
- Munar, D. A. (2019). *Caracterización mecánica, térmica y morfológica de la matriz de polietileno de alta densidad/polipropileno con cascarilla de arroz y determinación de sus posibles usos*. Universidad Santo Tomas.
- Palli, E. (2015). *Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román*. [Tesis de grado: Universidad Nacional del Altiplano].
http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/2444/Palli_Apaza_Edwin_Ever.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pantigozo, L. A. (2023). *Mejoramiento de la capacidad de soporte (CBR) de suelos grava arcillosas con polímeros y cemento para uso como afirmado en carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
- Pilapitiya, P. N., & Ratnayake, A. S. (2024). The world of plastic waste: a review. *Cleaner Materials*, 11(1), 1-23.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220>
- Quispe, A., & Yody, N. (2021). *ropuesta de gestión ambiental en base a la ISO 14001:2015 para la explotación de aljez en la cantera Yesera San Sebastian*. [Tesis de grado: Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17071>
- Ramirez, L. (2016). *Las Propiedades físicas y mecánicas de ladrillo ecológico suelo – cemento fabricadas con adición de 20% de aserrín de madera para muros no portantes en la ciudad de Huaraz*. [Tesis de grado: Universidad San Pedro].

- http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/5442/Tesis_57315.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ramos, G. (2014). *Mejoramiento de subrasantes de baja capacidad de soporte mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, Paucará Huancavelica 2014*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Ramos, G. (2014). *Mejoramiento de subrasantes de baja capacidad de soporte mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, Paucará Huancavelica 2014*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Reategui, G., & Zavaleta, J. (2020). *Caracterización de los agregados de las principales canteras de la provincia de Tacna para optimizar su uso en obras de construcción*. [tesis de grado: Universidad de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1467>
- Sabih, Z. E., & Al-Ameri, A. F. (2024). Improving the Bearing Capacity of Clay Soil Using Plastic Bottle Waste. *Journal of Engineering*, 30(02), 118-127. <https://doi.org/https://www.iasj.net/iasj/download/58261abd3f230b65>
- Shah, A., & Thaker, T. (2024). Utilization of Post-Consumer Plastic Water Bottles as an Admixture for Improving the Soil Subgrade. *Geo-Congress 2024*, 1(1), 471-481. <https://doi.org/https://doi.org/10.1061/9780784485330.048>
- Surentra, R., & Kummar, S. (2017). Role of Geotechnical Properties of Soil on Civil Engineering Structures. *Scientific & Academic*, 103-109. <https://doi.org/10.5923/j.re.20170704.03>
- Suthar, L., Meena, S., & Kumar, U. (2024). Utilization of plastic waste in reinforcing sandy soil for sustainable engineering applications. *Journal of engineering sciences*, 11(1), H1-H8. <https://doi.org/https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/94239>
- Tabassum, T., & Bheemasetti, T. V. (2024). Effects of Geometry and Forms of Recycled Plastics on Strength Properties of Silty Soils. *Geotechnical Testing Journal*, 47(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1520/GTJ20220261>
- Tamay, A. R. (2022). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas de una base granular tratada con adición de PET reciclado triturado, Cantera Chuyabamba, Chota, 2021*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/5503>
- Ticlla, T. N. (2021). *Evaluación de las características geotécnicas del suelo de las principales canteras para afirmado de carreteras del distrito de Chota*. [Tesis de

- grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://repositorio.unach.edu.pe/handle/UNACH/162>
- Valarezo, M. J., & Ruiz, L. (2002). El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular. *CEDAMAZ*, *12*(2), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.54753/cedamaz.v12i2.1265>
- Valdez, A. (2012). *Campaña de divulgación para reciclación*. [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Wang, Y. X., Guo, P., Ren, W., Yuan, B., Zhao, Y., & Cao, P. (2017). Laboratory investigation on strength characteristics of expansive soil treated with jute fiber reinforcement. *International Journal of Geomechanics*, *17*(11), 04017101. <https://doi.org/https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29GM.1943-5622.0000998>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Título: Mejoramiento de propiedades físico – mecánicas del afirmado de la cantera Sivingan Bajo utilizando residuos de Polietileno: PET y HDPE, Chota, 2024

Tesista(s): Elí Dávila Rimarachín

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>Problema general ¿Mejorarán las propiedades físicas y mecánicas del afirmado de la cantera Sivingan Bajo, utilizando diferentes dosis de polietileno triturado: PET y HDPE?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Mejorarán las propiedades físicas: límite líquido y límite plástico del afirmado de la cantera Sivingan Bajo utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8" por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE)? - ¿Mejorarán las propiedades mecánicas: Proctor modificado y CBR de laboratorio del afirmado de la cantera Sivingan Bajo utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8" por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE)? - ¿Cuál es el tipo de polietileno (PET o HDPE) que logra menor índice de plasticidad y mayor capacidad de soporte (CBR) al ser utilizado para mejorar las propiedades del afirmado de la cantera Sivingan Bajo en Chota? 	<p>Objetivo general Mejorar las propiedades físico – mecánicas del afirmado de la cantera Sivingan Bajo utilizando residuos de Polietileno: PET y HDPE, Chota, 2024.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mejorar las propiedades físicas: límite líquido y límite plástico del afirmado de la cantera Sivingan Bajo utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8" por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE). - Mejorar las propiedades mecánicas: Proctor modificado y CBR de laboratorio del afirmado de la cantera Sivingan Bajo utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8" por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE). - Determinar el tipo de polietileno (PET o HDPE) que logra menor índice de plasticidad y mayor capacidad de soporte (CBR) al ser utilizado para mejorar las propiedades del afirmado de la cantera Sivingan Bajo en Chota. 	<p>Hipótesis general H1: La adición de residuo PET y HDPE mejora las propiedades Físico Mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, Chota y cumple con los requisitos técnicos de la EG-2013 para su uso en la superficie de la infraestructura vial. Ho: La adición de residuo PET y HDPE no mejora las propiedades Físico Mecánicas del material de afirmado de la cantera Sivingan Bajo, Chota y no cumple con los requisitos técnicos de la EG-2013 para su uso en la superficie de la infraestructura vial.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las propiedades físicas: límite líquido y límite plástico del afirmado de la cantera Sivingan Bajo mejoran utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8" por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE). - Las propiedades mecánicas: Proctor modificado y CBR de laboratorio del afirmado de la cantera Sivingan Bajo mejoran utilizando 0%, 5% y 10% de residuos de polietileno triturado con tamaño máximo nominal de 3/8" por separado: Polietileno Tereftalato (PET) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE). - El tipo de polietileno que logra menor índice de plasticidad y mayor capacidad de soporte (CBR) al ser utilizado para mejorar las propiedades del afirmado de la cantera Sivingan Bajo en Chota es el HDPE. 	<p>VI Residuos de polietileno: PET y HDPE</p> <p>VD Propiedades físico – mecánicas del afirmado</p>	<p>Uso de PET triturado</p> <p>Uso de HDPE triturado</p> <p>Propiedades físicas</p> <p>Propiedades mecánicas</p> <p>Requisitos técnicos de afirmado</p>	<p>Porcentaje de adición</p> <p>Gradación del material</p> <p>Porcentaje de adición</p> <p>Gradación del material</p> <p>Contenido de humedad</p> <p>Granulometría</p> <p>Límite líquido</p> <p>Límite plástico</p> <p>Índice de plasticidad</p> <p>Abrasión de los ángulos</p> <p>Proctor modificado</p> <p>CBR de laboratorio</p> <p>Huso granulométrico</p> <p>Límite líquido</p> <p>Índice de plasticidad</p> <p>Abrasión de los ángulos</p> <p>CBR de laboratorio</p>	<p>Enfoque cuantitativo</p> <p>Tipo aplicada</p> <p>Nivel explicativo</p> <p>Diseño cuasi experimental</p> <p>descriptivo causal simple</p> <p>Muestra: El número de especímenes elaborado con los residuos plásticos PET y HDPE triturado que se utilizarán para mejorar las propiedades físico mecánicas del afirmado de la cantera Sivingan Bajo para su uso como material de afirmado en Chota.</p>

Anexo B. Panel fotográfico

Fotografía 1. Ensayo de Contenido de Humedad 90% Material de Cantera y 10% HDPE



Fotografía 2. Ensayo de Contenido de Humedad 90% Material de Cantera y 10% PET



Fotografía 3. Ensayo de Contenido de Humedad 95% Material de Cantera y 5% PET



Fotografía 4. Ensayo de Contenido de Humedad 90% Material de Cantera y 10% PET



Fotografía 5. Ensayo de Análisis Granulométrico de HDPE



Fotografía 6. Ensayo de Análisis Granulométrico 100% Material de Cantera



Fotografía 7. Ensayo de Análisis Granulométrico PET



Fotografía 8. Ensayo de Análisis Granulométrico HDPE



Fotografía 9. Ensayo de Límite de Consistencia: Límite Líquido 100% Material de Cantera



Fotografía 10. Ensayo de Límite de Consistencia: Límite Líquido 95% Material de Cantera y 5% HDPE



Fotografía 11. Ensayo de Límite de Consistencia: Límite Líquido 95% Material de Cantera y 5% PET



Fotografía 12. Ensayo de Límite de Consistencia: Límite Líquido 90% Material de Cantera y 10% PET



Fotografía 13. Ensayo de Límite de Consistencia: Límite Líquido 90% Material de Cantera y 10% HDPE



Fotografía 14. Ensayo de Proctor Modificado 100% Material de Cantera



Fotografía 15. Ensayo de CBR - 25 Golpes 95% Material de Cantera y 5% PET



Fotografía 16. Ensayo de CBR - 56 Golpes de 90% Material de Cantera y 10% PET



Fotografía 17. Ensayo de Abrasión del Material de la Cantera Sivingan Bajo



Fotografía 18. Ensayo de Abrasión 90% Material de Cantera y 10% PET



Anexo C. Resultado de ensayos de laboratorio

Autorización para realizar ensayos en laboratorio externo



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD
COORDINACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

"Año del bicentenario, de la consolidación de nuestra independencia, y de la
conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"



Chota, 26 de diciembre del 2024

CARTA N°116- 2024-UNACH-CFCI-ENCHV

Joven:
Eli Dávila Rimarachín.
Tesisistas

ASUNTO : Autorización concedida.

Referencia : FUT N°476-2024.

Me dirijo a usted para expresarle mi saludo cordial y manifestarle que cuenta con mi autorización para llevar a cabo sus ensayos de mecánica de suelos en el laboratorio "GSE LABORATORIO DE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN SAC" ubicado en la ciudad de Chota, quedando bajo su responsabilidad presentar los documentos que expresan los resultados encontrados, en papel membretado con el logo de la empresa, debidamente firmados por el responsable técnico del laboratorio y visado por el dueño y/o representante legal de la empresa.

Sin otro particular, expreso las muestras de mi especial consideración y estima personal

Atentamente,

DR. ING. ELMER NATIVIDAD CHÁVEZ VÁSQUEZ
COORDINADOR DE LA FCI
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA.



INFORME DE ENSAYOS

IE-2025-012-07

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 09/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 11/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-07	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: 90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE HDPE	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m).	: -		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO Y LA ROCA EN MASA

ASTM D2216 - 19

ENSAYO N°	1	---
N° DE TARA	T-51	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO (g)	2711.00	
MASA TARA + SUELO SECO (g)	2552.90	
MASA DE LA TARA (g)	311.00	---
MASA DEL AGUA (g)	158.10	
MASA DEL SUELO SECO (g)	2241.90	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.05	
HUMEDAD NATURAL (%)	7.1	---

Observaciones: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL - REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-07

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

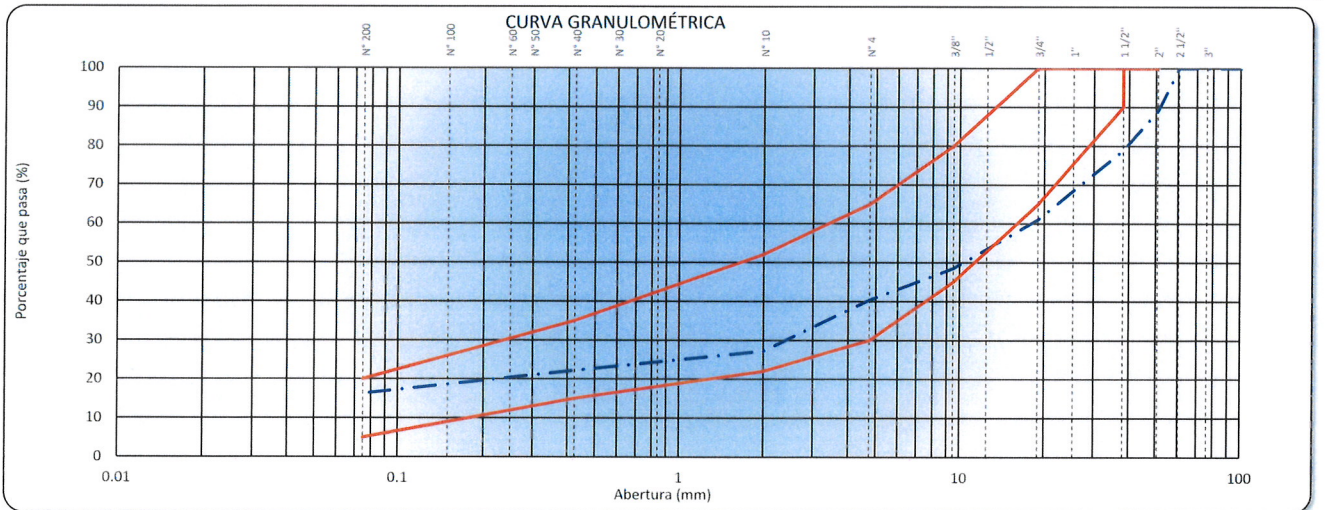
PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"
UBICACIÓN : CHOTA
SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN
CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589
CANTERA : SIVINGAN BAJO
CODIGO DE MUESTRA : M-012-07
PROF. (m) : -
MATERIAL : 90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE HDPE
ESTRUCTURA : AFIRMADO

REALIZADO POR : I.C.D
APROBADO POR : G.R.R
FECHA DE MUESTREO 09/01/2025
FECHA DE RECEPCIÓN 10/01/2025
FECHA DE ENSAYO 11/01/2025
FECHA DE EMISIÓN 11/02/2025
COORDENADAS E: 757438.00; **N**: 9280022.00

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRADACIÓN) DE LOS SUEOS MEDIANTE ANÁLISIS DE TAMIZ

ASTM D6913 / D6913M - 17

TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDO g.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	AFIRMADO A-1	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.600						Masa de la Muestra
3"	76.200						Masa Total de la Muestra (g) : 26620.0
2 1/2"	60.350				100.0		Material Fino < N°4 (g) : 10760
2"	50.800	2897	10.9	10.9	89.1	100 - 100	Material Grueso > N°4 (g) : 15860
1 1/2"	38.100	2701	10.1	21.0	79.0		Fracción Material < N°4 (g) : 520.0
1"	25.400	1989.0	7.5	28.5	71.5		Límites de Consistencia
3/4"	19.000	2760.0	10.4	38.9	61.1		Límite Líquido (%) : 24.44
1/2"	12.500	2320.0	8.7	47.6	52.4		Límite Plástico (%) : 17.67
3/8"	9.525	1019.0	3.8	51.4	48.6	45 - 80	Índice Plástico (%) : 6.78
N°4	4.760	2174.0	8.2	59.6	40.4	30 - 65	Clasificación de Suelo
N°8	2.380	157.7	12.3	71.8	28.2		Clasificación SUCS : GM-GC
N°10	2.000	12.6	1.0	72.8	27.2	22 - 52	Clasificación AASHTO : A-2-4 (0)
N°16	1.190	17.4	1.4	74.2	25.8		
N°20	0.840	22.9	1.8	75.9	24.1		
N°30	0.600	13.7	1.1	77.0	23.0		
N°40	0.425	10.1	0.8	77.8	22.2	15 - 35	
N°50	0.300	19.5	1.5	79.3	20.7		
N°60	0.250	11.6	0.9	80.2	19.8		Humedad Natural (%) : 7.05
N°100	0.150	10.9	0.8	81.1	18.9		Materia Orgánica (%) : ----
N°140	0.106	15.6	1.2	82.3	17.7		Máxima dens. Seca (g/cm³) : 2.102
N°200	0.075	18.7	1.5	83.7	16.3	5 - 20	Óptimo Cont. Humedad (%) : 7.70
< N°200	FONDO	209.3	16.3	100.0			CBR 0.1" al 95% MDS (%) : 36.64
							CBR 0.1" al 100% MDS (%) : 43.04



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL - REG. CP. N° 267370



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-07

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 09/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 26/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-07	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: 90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE HDPE	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m).	: -		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

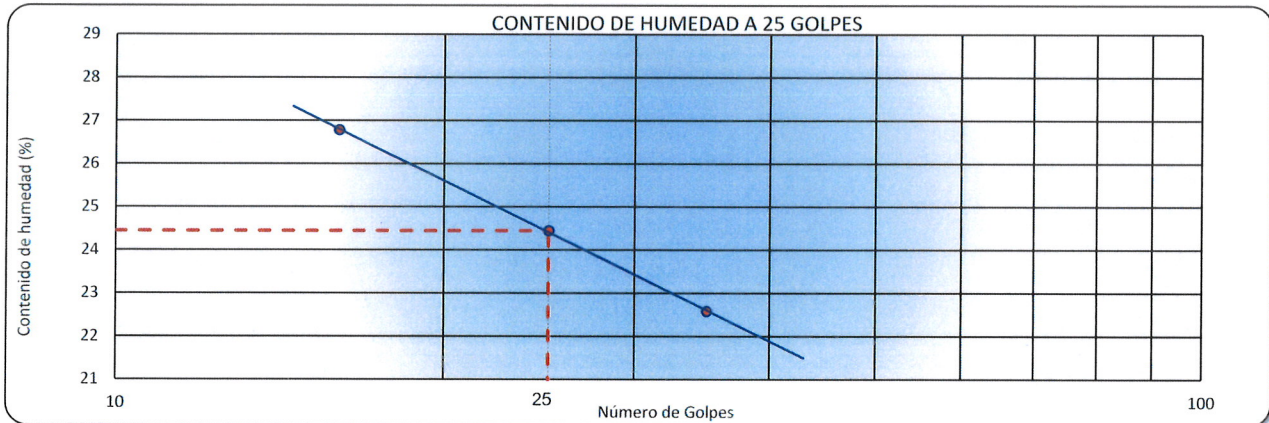
ASTM D4318 - 17e1

LÍMITE LÍQUIDO

N° DE TARA		T-23	T-24	T-25	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO	(g.)	42.65	41.04	43.21	
MASA TARA + SUELO SECO	(g.)	38.10	35.66	37.17	
MASA DEL AGUA	(g.)	4.55	5.38	6.04	
MASA DE LA TARA	(g.)	17.93	13.65	14.61	-----
MASA DEL SUELO SECO	(g.)	20.17	22.01	22.56	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	22.58	24.44	26.78	
NÚMERO DE GOLPES		35	25	16	

LÍMITE PLÁSTICO

N° DE TARA		T-13	T-14	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO	(g.)	16.45	15.55	
MASA TARA + SUELO SECO	(g.)	15.27	14.20	
MASA DE LA TARA	(g.)	8.51	6.65	-----
MASA DEL AGUA	(g.)	1.18	1.35	
MASA DEL SUELO SECO	(g.)	6.76	7.55	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	17.46	17.88	



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	24.44
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	17.7
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	(%)	6.8

OBSERVACIONES

LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.


Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:



 LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin

 Geremias Rimarachin Rimarachin

 JEFE DE LABORATORIO

 INGENIERO CIVIL, REG. G. N° 257370



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-07

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

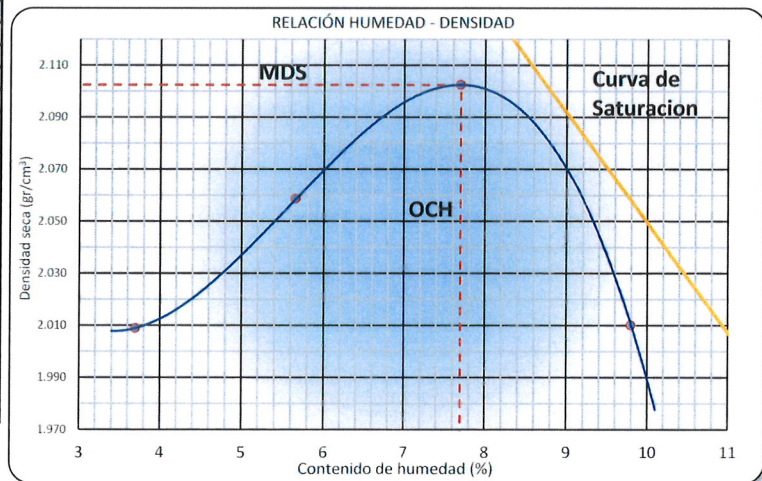
PROYECTO	"MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"		
UBICACIÓN	CHOTA	REALIZADO POR	I.C.D
SOLICITANTE	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	APROBADO POR	G.R.R
CONTACTO	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE MUESTREO	09/01/2025
CANTERA	SIVINGAN BAJO	FECHA DE RECEPCIÓN	10/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	M-012-07	FECHA DE ENSAYO	27/01/2025
MATERIAL	90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE HDPE	FECHA DE EMISION	11/02/2025
PROF. (m).	-	COORDENADAS	E: 757438.00; N: 9280022.00
ESTRUCTURA	AFIRMADO		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO DEL SUELO UTILIZANDO ESFUERZO MODIFICADO (56,000 FT-LBF / FT³ (2,700 KN-M/M³))

ASTM D1557 - 12e1

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de Capas	5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa	56	56	56	56
Masa suelo húmedo + molde (g)	10740	10928	11110	10993
Masa molde + base (g)	6484	6484	6484	6484
Masa suelo húmedo compactado (g)	4256	4444	4626	4509
Volumen del molde (cm ³)	2043	2043	2043	2043
Peso volumétrico húmedo (g/cm ³)	2.083	2.175	2.264	2.207
Tara N°	T-08	T-09	T-10	T-11
Peso del suelo húmedo + tara (g)	680.4	730.6	553.0	825.9
Peso del suelo seco + tara (g)	657.8	694.0	517.1	756.4
Peso de Tara (g)	47.2	47.7	50.2	46.8
Peso de agua (g)	22.6	36.6	35.9	69.5
Peso del suelo seco (g)	610.6	646.3	466.9	709.6
Contenido de agua (%)	3.7	5.7	7.7	9.8
Peso volumétrico seco (g/cm ³)	2.009	2.059	2.102	2.010
Densidad máxima (g/cm ³)				2.102
Humedad óptima (%)				7.7

DATOS DESARROLLO DE ENSAYO	
Altura de Caída de Pison	45.7 cm
Masa del Pison	4.5 kg
Volumen Molde	2043
N° capas	5
N° golpes/Capas	56
GRADACION DE LA MUESTRA	
TAMIZ	RET. PARCIAL (%) PASA (%)
3"	0 100
2"	10.9 89.1
3/4"	10.4 61.1
3/8"	3.8 48.6
N° 4	8.2 40.4
< N°4	40.4
DATOS	
METODO C	
Gravedad Especifica (g/cm ³)	
Maxima densidad Seca (g/cm ³)	2.102
Optimo Ontenido de Humedad (%)	7.7



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

 Geremías Rimarachín Rimarachín
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL - REG. Nº 47257870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-07

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 09/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 14/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-07	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: 90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE HDPE	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m).	: -		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

ASTM D1883 - 1

C.B.R

Molde N°	3		4		11	
N° Capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12621	12627	12336	12340	11825	11826
Masa de molde + base (g)	7810	7810	7759	7759	7556	7556
Masa del suelo húmedo (g)	4811	4817	4577	4581	4269	4270
Volumen del molde (cm ³)	2119	2119	2121	2121	2197	2197
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.270	2.273	2.158	2.160	1.943	1.944
N° Tara	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14	T-15
Masa suelo húmedo + tara (g)	700.5	825.9	770.4	847.2	690.6	658.3
Masa suelo seco + tara (g)	656.9	769.4	719.8	790.3	646.3	615.2
Masa de tara (g)	98.6	88.5	79.6	88.4	92.6	90.0
Masa de agua (g)	43.6	56.5	50.6	56.9	44.3	43.1
Masa de suelo seco (g)	558.3	680.9	640.2	701.9	553.7	525.2
Contenido de humedad (%)	7.8	8.3	7.9	8.1	8.0	8.2
Densidad seca (g/cm ³)	2.106	2.099	2.000	1.998	1.799	1.796

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
14/01/2025	10:26	0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
15/01/2025	10:26	24	31.00	0.787	0.68	39.00	0.991	0.85	59.00	1.499	1.29
16/01/2025	10:26	48	47.00	1.194	1.03	49.00	1.245	1.07	87.00	2.210	1.91
17/01/2025	10:26	72	68.00	1.727	1.49	72.00	1.829	1.58	96.00	2.438	2.10
18/01/2025	10:26	96	75.00	1.905	1.64	88.00	2.235	1.93	106.00	2.692	2.32

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm ²)	MOLDE N° 3				MOLDE N° 4				MOLDE N° 11			
		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0					0		
0.635			142			121					91		
1.270			296			252					189		
1.905			429			365					273		
2.540	70.5		586	589.1	43.3	498	500.8	36.8			374	375.6	27.6
3.810			902			767					575		
5.080	105.7		1155	1158.8	56.7	982	985.0	48.2			736	738.7	36.2
6.350			1403			1193					894		
7.620			1645			1398					1049		
10.600			2140			1819					1364		
12.700			2464			2094					1571		

Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
Geremías Rimarachín Rimarachín
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2024-012-07

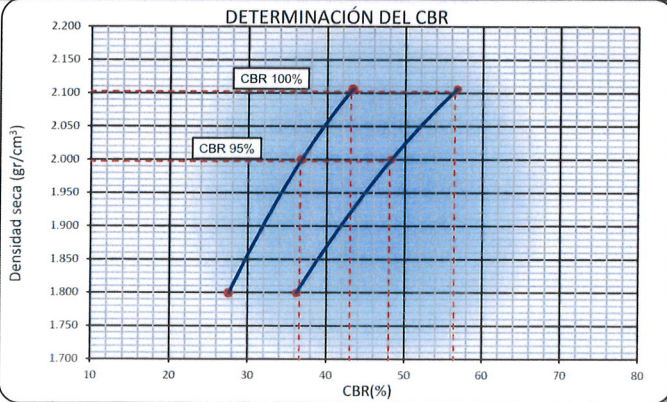
"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	"MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMAO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"		
UBICACIÓN	CHOTA	REALIZADO POR	I.C.D
SOLICITANTE	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	APROBADO POR	G.R.R
CONTACTO	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE MUESTREO	09/01/2025
CANTERA	SIVINGAN BAJO	FECHA DE RECEPCIÓN	10/01/2025
CODIGO DE MUESTR:	M-012-07	FECHA DE ENSAYO	11/01/2025
MATERIAL	90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE HDPE	FECHA DE EMISION	11/02/2025
PROF. (m).	-	COORDENADAS	E: 757438.00; N: 9280022.00
ESTRUCTURA	AFIRMAO		

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

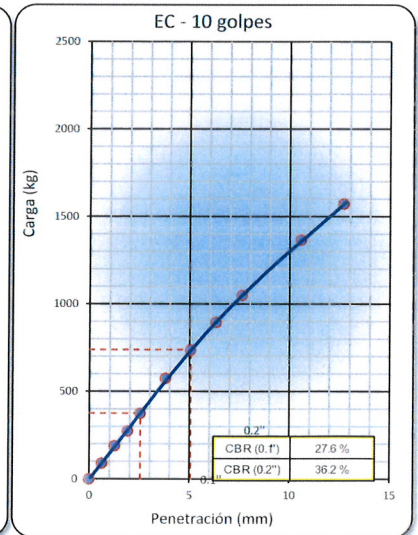
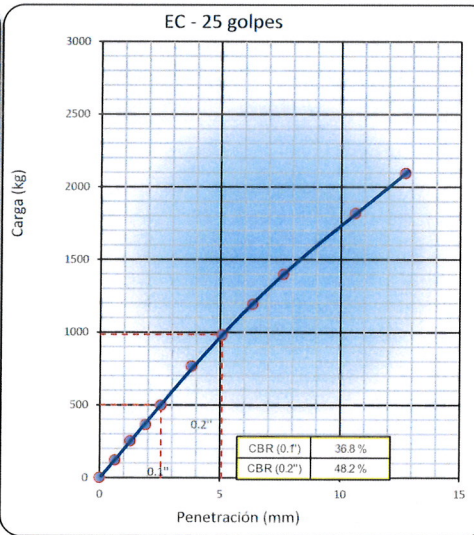
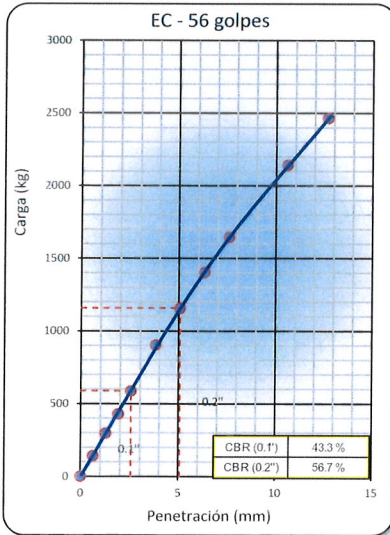
ASTM D1883 - 1



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	
PROCTOR MODIFICADO ASTM	: 1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2.102
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 7.7
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 1.997

PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	36.6	0.2"	48.0
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	43.0	0.2"	56.4
PORCENTAJE DE EXPANSIÓN		2.0		

Observaciones:



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.
 Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
 El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.
 Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
 Geremias Rimarachin Rimarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL REG. CIP N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-07

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"

UBICACIÓN : CHOTA REALIZADO POR : I.C.D

SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN APROBADO POR : G.R.R

CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589 FECHA DE MUESTREO : 09/01/2025

CANTERA : SIVINGAN BAJO FECHA DE RECEPCIÓN : 10/01/2025

CODIGO DE MUESTRA : M-012-07 FECHA DE ENSAYO : 26/01/2025

MATERIAL : 90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE HDPE FECHA DE EMISION : 11/02/2025

PROF. (m). : - COORDENADAS : E: 757438.00; N: 9280022.00

ESTRUCTURA : AFIRMADO

ABRASIÓN LOS ANGELES

ASTM C 13

TAMIZ PASA - RETIENE	GRADACIÓN			
	"A"	B	C	D
1 1/2" - 1"				
1" - 3/4"				
3/4" - 1/2"				
1/2" - 3/8"				
3/8" - 1/4"			2500	
1/4" - N° 4			2500	
N° 4 - N° 8				
PESO TOTAL			5000	
MATERIAL RETENIDO TAMIZ N° 12			4002	
MATERIAL PASA TAMIZ N° 12			998	
N° DE ESFERAS			8	
PESO DE LAS ESFERAS (gr)			3330 ± 20	
PORCENTAJE DE DESGASTE			20.0	

Observaciones: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

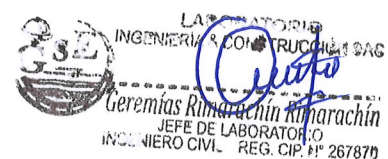
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:


LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267879

FIN DE DOCUMENTO



INFORME DE ENSAYOS

IE-2025-012-06

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"

UBICACIÓN : CHOTA REALIZADO POR : I.C.D

SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN APROBADO POR : G.R.R

CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589 FECHA DE MUESTREO : 07/01/2025

CANTERA : SIVINGAN BAJO FECHA DE RECEPCIÓN : 10/01/2025

CODIGO DE MUESTRA : M-012-06 FECHA DE ENSAYO : 10/01/2025

MATERIAL : 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE HDPE FECHA DE EMISION : 11/02/2025

PROF. (m). : - COORDENADAS : E: 757438.00; N: 9280022.00

ESTRUCTURA : AFIRMADO

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO Y LA ROCA EN MASA

ASTM D2216 - 19

ENSAYO N°	1	---
N° DE TARA	T-37	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO (g)	2231.60	
MASA TARA + SUELO SECO (g)	2086.50	
MASA DE LA TARA (g)	231.60	---
MASA DEL AGUA (g)	145.10	
MASA DEL SUELO SECO (g)	1854.90	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.82	
HUMEDAD NATURAL (%)	7.8	---

Observaciones:

LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

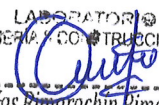
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
ING. NIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-06

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

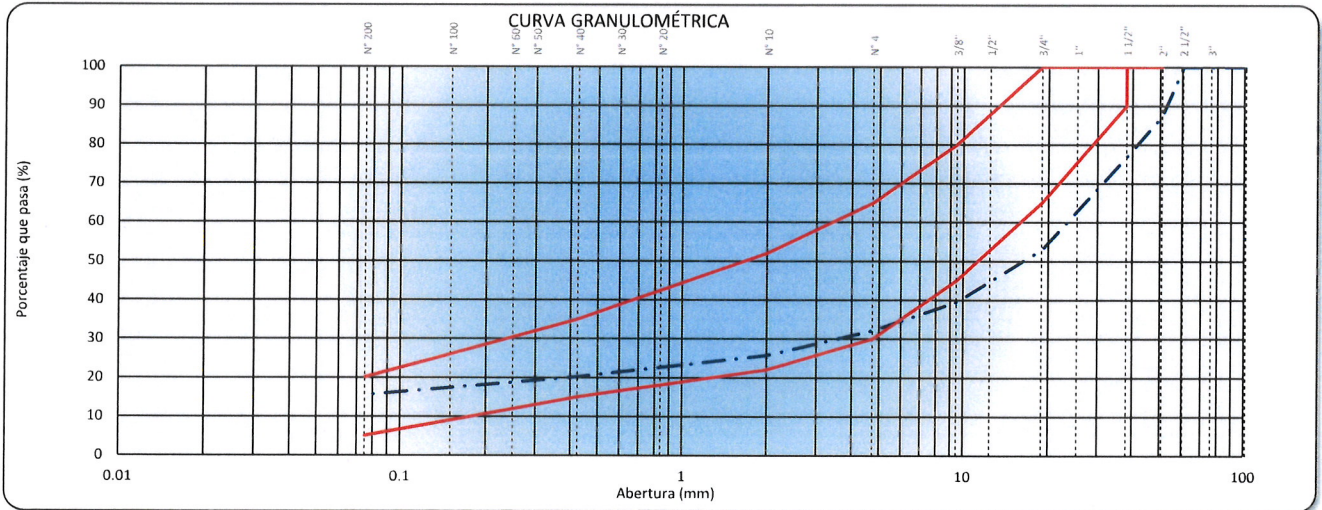
DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 25/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-06	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
PROF. (m).	: -	COORDENADAS E	: 757438.00; N: 9280022.00
MATERIAL	: 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE HDPE		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRADACIÓN) DE LOS SUEOS MEDIANTE ANÁLISIS DE TAMIZ

ASTM D6913 / D6913M - 17

TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDO g.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	AFIRMADO A-1	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.600						Masa de la Muestra
3"	76.200						Masa Total de la Muestra (g): 46930.8
2 1/2"	60.350				100.0		Material Fino < N°4 (g): 15091
2"	50.800	5894	12.6	12.6	87.4	100 - 100	Material Grueso > N°4 (g): 31840
1 1/2"	38.100	4970	10.6	23.1	76.9		Fracción Material < N°4 (g): 505.3
1"	25.400	7546.0	16.1	39.2	60.8		Límites de Consistencia
3/4"	19.000	3668.0	7.8	47.0	53.0		Límite Líquido (%): 25.04
1/2"	12.500	4748.0	10.1	57.2	42.8		Límite Plástico (%): 17.37
3/8"	9.525	1538.0	3.3	60.4	39.6	45 - 80	Índice Plástico (%): 7.67
N°4	4.760	3475.8	7.4	67.8	32.2	30 - 65	Clasificación de Suelo
N°8	2.380	72.7	4.6	72.5	27.5		Clasificación SUCS : GC
N°10	2.000	28.6	1.8	74.3	25.7	22 - 52	Clasificación AASHTO : A-2-4 (0)
N°16	1.190	29.3	1.9	76.2	23.8		
N°20	0.840	28.6	1.8	78.0	22.0		
N°30	0.600	11.2	0.7	78.7	21.3		
N°40	0.425	17.5	1.1	79.8	20.2	15 - 35	
N°50	0.300	13.2	0.8	80.6	19.4		Humedad Natural (%): 7.82
N°60	0.250	15.2	1.0	81.6	18.4		Materia Orgánica (%): ----
N°100	0.150	18.5	1.2	82.8	17.2		Máxima dens. Seca (g/cm³): 2.112
N° 140	0.106	12.5	0.8	83.6	16.4		Óptimo Cont. Humedad (%): 7.20
N°200	0.075	14.6	0.9	84.5	15.5	5 - 20	CBR 0.1" al 95% MDS (%): 39.90
< N°200	FONDO	243.4	15.5	100.0			CBR 0.1" al 100% MDS (%): 46.91



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

Geremias Rimaruchin Rimaruchin
JEFE DE LABORATORIO
ING. NIENRO CIVIL. REG. CIP N° 267876



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-06

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 01/02/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-06	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE HDPE	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m).	: -		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

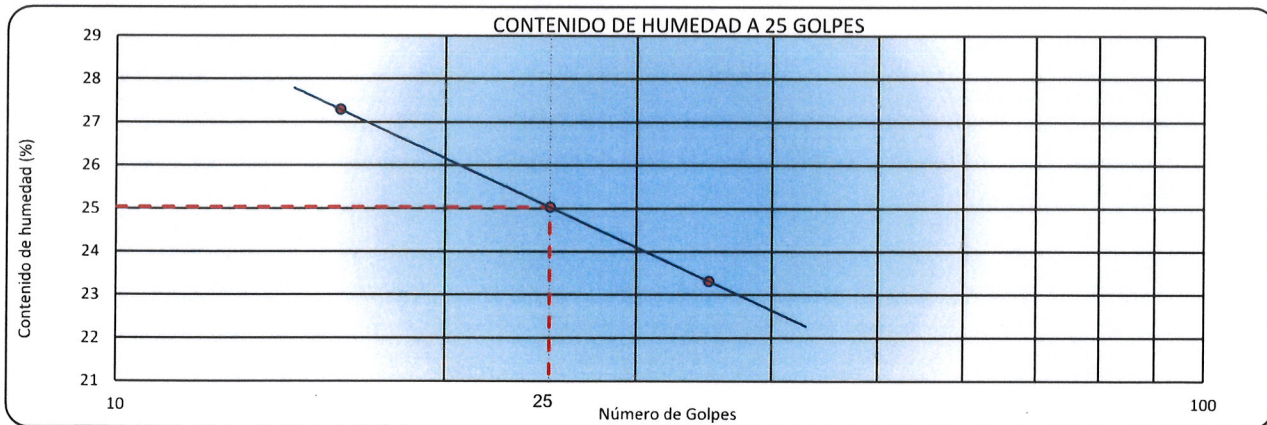
ASTM D4318 - 17e1

LÍMITE LÍQUIDO

N° DE TARA		T-10	T-11	T-12	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO	(g.)	41.90	41.32	43.47	-----
MASA TARA + SUELO SECO	(g.)	36.88	36.10	37.42	
MASA DEL AGUA	(g.)	5.02	5.22	6.05	
MASA DE LA TARA	(g.)	15.35	15.25	15.25	
MASA DEL SUELO SECO	(g.)	21.53	20.85	22.17	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	23.31	25.04	27.29	
NÚMERO DE GOLPES		35	25	16	

LÍMITE PLÁSTICO

N° DE TARA		T-13	T-14	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO	(g.)	16.60	15.68	-----
MASA TARA + SUELO SECO	(g.)	15.40	14.35	
MASA DE LA TARA	(g.)	8.51	6.65	
MASA DEL AGUA	(g.)	1.20	1.33	
MASA DEL SUELO SECO	(g.)	6.89	7.70	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	17.41	17.32	



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	25.04
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	17.4
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	(%)	7.7

OBSERVACIONES

LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.


Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:


Geremias Rimarachin Rimarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 REG. NIERO CIVIL. REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-06

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

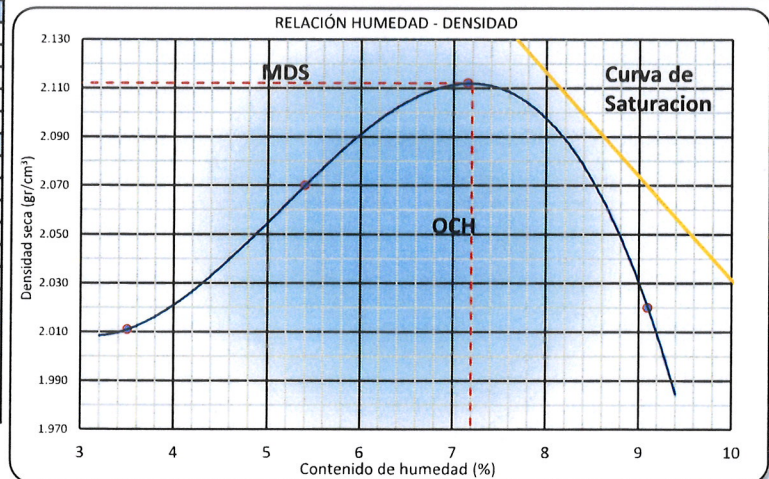
PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"
UBICACIÓN : CHOTA **REALIZADO POR** : I.C.D
SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN **APROBADO POR** : G.R.R
CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589 **FECHA DE MUESTREO** : 07/01/2025
CANTERA : SIVINGAN BAJO **FECHA DE RECEPCIÓN** : 10/01/2025
CODIGO DE MUESTRA : M-012-06 **FECHA DE ENSAYO** : 27/01/2025
MATERIAL : 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE HDPE **FECHA DE EMISION** : 11/02/2025
PROF. (m) : - **COORDENADAS** : E: 757438.00; N: 9280022.00
ESTRUCTURA : AFIRMADO

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO DEL SUELO UTILIZANDO ESFUERZO MODIFICADO (56,000 FT-LBF / FT³ (2,700 KN-M/M³))

ASTM D1557 - 12e1

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de Capas	5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa	56	56	56	56
Masa suelo húmedo + molde (g)	10754	10966	11139	11013
Masa molde + base (g)	6341	6341	6341	6341
Masa suelo húmedo compactado (g)	4413	4625	4798	4672
Volumen del molde (cm ³)	2120	2120	2120	2120
Peso volumétrico húmedo (g/cm ³)	2.081	2.182	2.263	2.204
Tara N°	T-20	T-21	T-22	T-23
Peso del suelo húmedo + tara (g)	649.2	689.1	506.8	736.5
Peso del suelo seco + tara (g)	629.7	657.8	478.5	681.4
Peso de Tara (g)	73.7	77.4	83.0	76.2
Peso de agua (g)	19.5	31.3	28.3	55.1
Peso del suelo seco (g)	556.0	580.4	395.5	605.2
Contenido de agua (%)	3.5	5.4	7.2	9.1
Peso volumétrico seco (g/cm ³)	2.011	2.070	2.112	2.020
Densidad máxima (g/cm³)				2.112
Húmedad óptima (%)				7.2

DATOS DESARROLLO DE ENSAYO		
Altura de Caída de Pison	45.7 cm	
Masa del Pison	4.5 kg	
Volumen Molde	2120	
N° capas	5	
N° golpes/Capas	56	
GRADACION DE LA MUESTRA		
TAMIZ	RET. PARCIAL (%)	PASA (%)
3"	0	100
2"	12.6	87.4
3/4"	7.8	53.0
3/8"	3.3	39.6
N° 4	7.4	32.2
< N°4	32.2	
DATOS		
METODO C		
Gravedad Especifica (g/cm ³)		
Maxima densidad Seca (g/cm ³)	2.112	
Óptimo Ontenido de Humedad (%)	7.2	



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

<p>Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.</p> <p>Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.</p> <p>El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.</p> <p>Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.</p> <p>Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.</p> <p>Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.</p>	<p>AUTORIZADO POR</p> <p>Jefe de Laboratorio:</p>
---	--



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-06

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	"MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"		
UBICACIÓN	CHOTA	REALIZADO POR	I.C.D
SOLICITANTE	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	APROBADO POR	G.R.R
CONTACTO	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE MUESTREO	07/01/2025
CANTERA	SIVINGAN BAJO	FECHA DE RECEPCIÓN	10/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	M-012-06	FECHA DE ENSAYO	28/01/2025
MATERIAL	95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE HDPE	FECHA DE EMISION	11/02/2025
PROF. (m)	-	COORDENADAS	E: 757438.00; N: 9280022.00
ESTRUCTURA	AFIRMADO		

METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

ASTM D1883 - 1

C.B.R

Molde N°	5		6		16	
N° Capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12718	12700	12226	12207	12361	12346
Masa de molde + base (g)	7880	7880	7578	7578	8226	8226
Masa del suelo húmedo (g)	4838	4820	4648	4629	4135	4120
Volumen del molde (cm³)	2129	2129	2151	2151	2125	2125
Densidad húmeda (g/cm³)	2.273	2.264	2.161	2.152	1.946	1.939
N° Tara	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06
Masa suelo húmedo + tara (g)	678.1	810.2	752.1	830.1	875.4	789.6
Masa suelo seco + tara (g)	635.0	759.8	705.5	778.7	821.3	740.0
Masa de tara (g)	45.0	88.0	76.3	102.5	100.5	95.6
Masa de agua (g)	43.1	50.4	46.6	51.4	54.1	49.6
Masa de suelo seco (g)	590.0	671.8	629.2	676.2	720.8	644.4
Contenido de humedad (%)	7.3	7.5	7.4	7.6	7.5	7.7
Densidad seca (g/cm³)	2.118	2.106	2.012	2.000	1.810	1.800

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
28/01/2025	09:46	0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
29/01/2025	09:46	24	27.00	0.688	0.59	35.00	0.889	0.77	41.00	1.041	0.90
30/01/2025	09:46	48	39.00	0.991	0.85	45.00	1.143	0.99	53.00	1.346	1.16
31/01/2025	09:46	72	48.00	1.219	1.05	52.00	1.321	1.14	57.00	1.448	1.25
01/02/2025	09:46	96	55.00	1.397	1.20	69.00	1.753	1.51	77.00	1.956	1.69

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm2)	MOLDE N° 5				MOLDE N° 6				MOLDE N° 16			
		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0					0		
0.635			154			131					98		
1.270			312			265					199		
1.905			502			427					320		
2.540	70.5		647	644.5	47.3	550	547.8	40.2			412	410.9	30.2
3.810			945			803					602		
5.080	105.7		1236	1224.2	59.9	1051	1040.5	51.0			788	780.4	38.2
6.350			1457			1238					929		
7.620			1699			1444					1083		
10.600			2194			1865					1399		
12.700			2518			2140					1605		

Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.


Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:



 LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

 Geremías Rimarachín Rimarachín

 JEFE DE LABORATORIO

 INGENIERO CIVIL - REG. Nº 41 267876

JR. ANAXIMANDRO VEGA N° 865

CHOTA - CAJAMARCA - PERÚ

EMAIL: gselaboratprio2019@gmail.com



INFORME DE ENSAYO

IE-2024-012-06

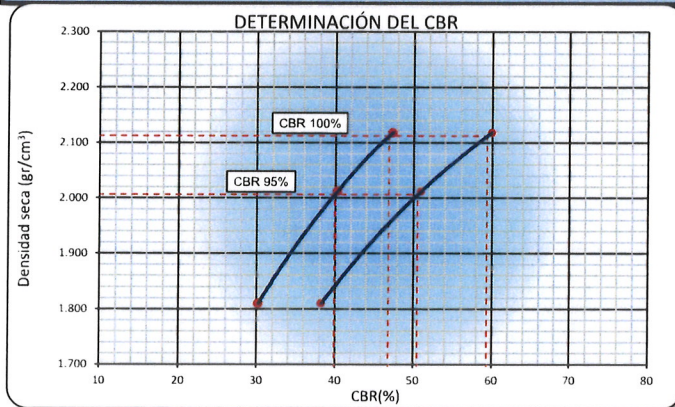
"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 28/01/2025
CODIGO DE MUESTR	: M-012-06	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE HDPE	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m).	: -		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

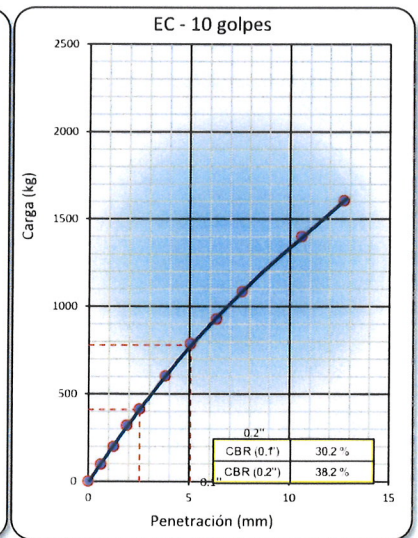
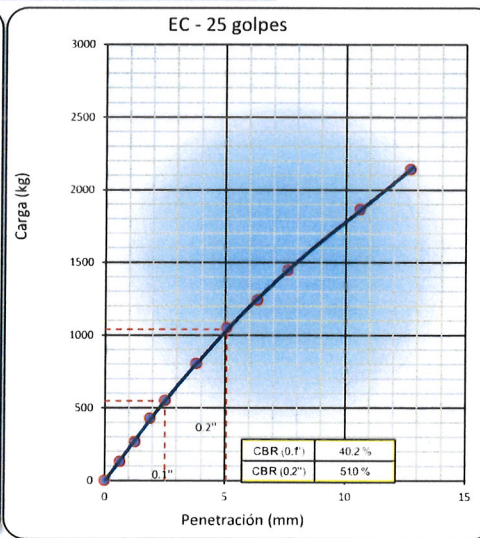
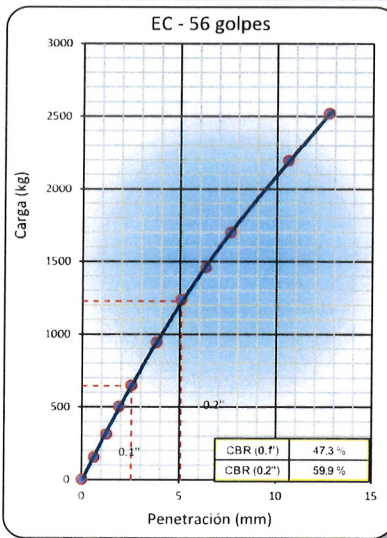
ASTM D1883 - 1



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	
PROCTOR MODIFICADO ASTM	: 1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³):	2.112
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	7.2
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³):	2.006

PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	39.9	0.2"	50.5
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	46.9	0.2"	59.4
PORCENTAJE DE EXPANSIÓN			1.5	

Observaciones:



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

Geremías Rimarachín Rimarachín
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL - REG. PROF. N° 1057270



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-06

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"

UBICACIÓN : CHOTA
SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN
CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589
CANTERA : SIVINGAN BAJO
CODIGO DE MUESTRA : M-012-06
MATERIAL : 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE HDPE
PROF. (m). : -
ESTRUCTURA : AFIRMADO

REALIZADO POR : I.C.D
APROBADO POR : G.R.R
FECHA DE MUESTREO : 07/01/2025
FECHA DE RECEPCIÓN : 10/01/2025
FECHA DE ENSAYO : 22/01/2025
FECHA DE EMISION : 11/02/2025
COORDENADAS : E: 757438.00; N: 9280022.00

ABRASION LOS ANGELES

ASTM C 13

TAMIZ PASA - RETIENE	GRADACIÓN			
	"A"	B	C	D
1 1/2" - 1"				
1" - 3/4"				
3/4" - 1/2"				
1/2" - 3/8"				
3/8" - 1/4"			2500	
1/4" - N° 4			2500	
N° 4 - N° 8				
PESO TOTAL			5000	
MATERIAL RETENIDO TAMIZ N° 12			3805	
MATERIAL PASA TAMIZ N° 12			1195	
N° DE ESFERAS			8	
PESO DE LAS ESFERAS (gr)			3330 ± 20	
PORCENTAJE DE DESGASTE			23.9	

Observaciones:

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

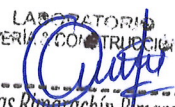
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL - REG. CO. N° 257370

FIN DE DOCUMENTO



INFORME DE ENSAYOS

IE-2025-012-03

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"

UBICACIÓN : CHOTA REALIZADO POR : I.C.D

SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN APROBADO POR : G.R.R

CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589 FECHA DE MUESTREO : 07/01/2025

CANTERA : SIVINGAN BAJO FECHA DE RECEPCIÓN : 10/01/2025

CODIGO DE MUESTRA : M-012-03 FECHA DE ENSAYO : 10/01/2025

MATERIAL : 90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE PET FECHA DE EMISION : 11/02/2025

PROF. (m). : - COORDENADAS : E: 757438.00; N: 9280022.00

ESTRUCTURA : AFIRMADO

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO Y LA ROCA EN MASA

ASTM D2216 - 19

ENSAYO N°	1	---
N° DE TARA	T-32	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO (g)	3177.00	
MASA TARA + SUELO SECO (g)	2997.00	
MASA DE LA TARA (g)	777.00	---
MASA DEL AGUA (g)	180.00	
MASA DEL SUELO SECO (g)	2220.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.11	
HUMEDAD NATURAL (%)	8.1	---

Observaciones: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

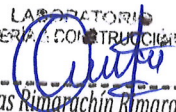
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:


LABORATORIOS INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
Geremías Rimarachín Rimarachín
JEFE DE LABORATORIO
REGISTRO CIVIL: INSC. GEN. 1257376



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-03

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

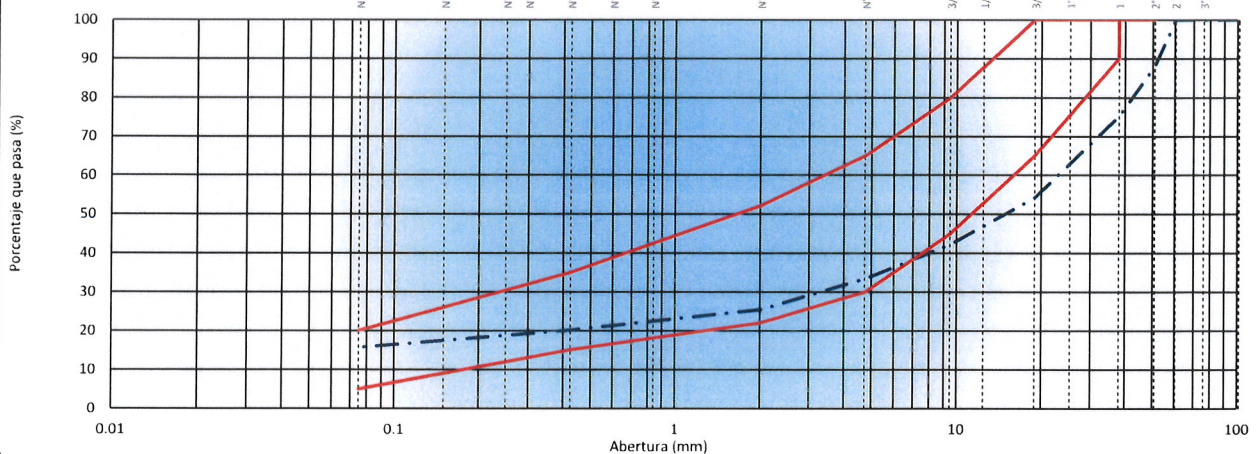
PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 21/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-03	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
PROF. (m).	: -	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
MATERIAL	: 90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE PET		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRADACIÓN) DE LOS SUEOS MEDIANTE ANÁLISIS DE TAMIZ

ASTM D6913 / D6913M - 17

TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDO g.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	AFIRMADO A-1	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.600						Masa de la Muestra
3"	76.200						Masa Total de la Muestra (g): 27720.0
2 1/2"	60.350				100.0		Material Fino < N°4 (g): 9271
2"	50.800	3254	11.7	11.7	88.3	100 - 100	Material Grueso > N°4 (g): 18449
1 1/2"	38.100	3606	13.0	24.7	75.3		Fracción Material < N°4 (g): 500.0
1"	25.400	3180.0	11.5	36.2	63.8		Límites de Consistencia
3/4"	19.000	2630.0	9.5	45.7	54.3		Límite Líquido (%): 28.32
1/2"	12.500	2382.0	8.6	54.3	45.7		Límite Plástico (%): 18.48
3/8"	9.525	952.0	3.4	57.7	42.3	45 - 80	Índice Plástico (%): 9.84
N°4	4.760	2444.8	8.8	66.6	33.4	30 - 65	Clasificación de Suelo
N°8	2.380	110.1	7.4	73.9	26.1		Clasificación SUCS : GC
N°10	2.000	8.8	0.6	74.5	25.5	22 - 52	Clasificación AASHTO : A-2-4 (0)
N°16	1.190	34.1	2.3	76.8	23.2		
N°20	0.840	20.5	1.4	78.2	21.8		
N°30	0.600	14.1	0.9	79.1	20.9		
N°40	0.425	10.9	0.7	79.8	20.2	15 - 35	
N°50	0.300	6.8	0.5	80.3	19.7		Humedad Natural (%): 8.11
N°60	0.250	20.0	1.3	81.6	18.4		Materia Orgánica (%): ----
N°100	0.150	12.9	0.9	82.5	17.5		Máxima dens. Seca (g/cm ³): 2.050
N°140	0.106	16.3	1.1	83.6	16.4		Óptimo Cont. Humedad (%): 7.20
N°200	0.075	10.1	0.7	84.3	15.7	5 - 20	CBR 0.1" al 95% MDS (%): 34.74
< N°200	FONDO	235.4	15.7	100.0			CBR 0.1" al 100% MDS (%): 40.81

CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

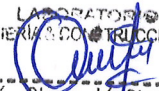
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:


 INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
 Geremías Rimarachin Rimarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 N° DE IDENTIFICACION: 352357378



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-03

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 13/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-03	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: 90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE PET	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m).	: -		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

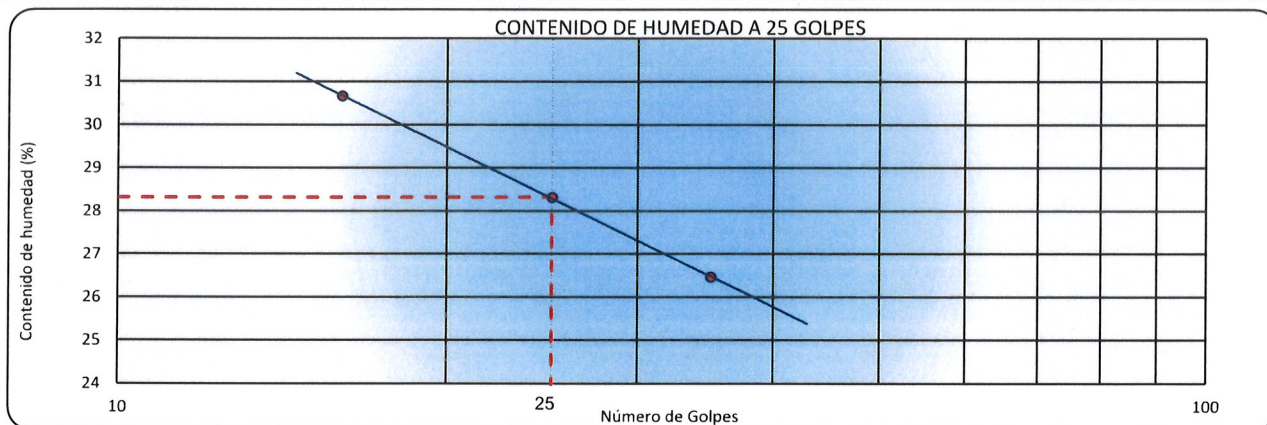
ASTM D4318 - 17e1

LÍMITE LÍQUIDO

N° DE TARA		T-10	T-11	T-12	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO	(g.)	42.93	41.85	42.94	-----
MASA TARA + SUELO SECO	(g.)	37.16	35.98	36.44	
MASA DEL AGUA	(g.)	5.77	5.87	6.50	
MASA DE LA TARA	(g.)	15.35	15.25	15.25	
MASA DEL SUELO SECO	(g.)	21.81	20.73	21.19	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	26.47	28.32	30.66	
NÚMERO DE GOLPES		35	25	16	

LÍMITE PLÁSTICO

N° DE TARA		T-13	T-14	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO	(g.)	16.51	16.06	-----
MASA TARA + SUELO SECO	(g.)	15.27	14.59	
MASA DE LA TARA	(g.)	8.51	6.65	
MASA DEL AGUA	(g.)	1.24	1.47	
MASA DEL SUELO SECO	(g.)	6.76	7.94	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	18.41	18.55	



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	28.32
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	18.5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	(%)	9.8

OBSERVACIONES

LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

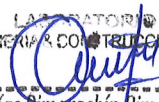
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:


Geremías Rimarachín Rimarachín
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL - REG. CIP. N° 267876



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-03

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

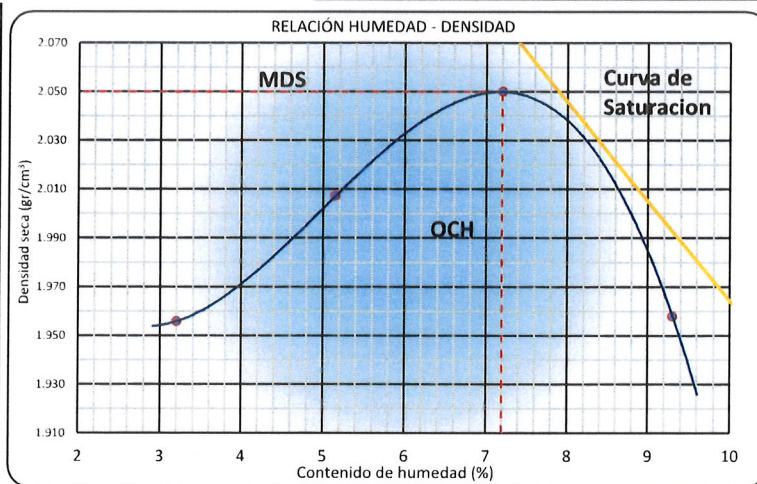
PROYECTO	"MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"		
UBICACIÓN	CHOTA	REALIZADO POR	I.C.D
SOLICITANTE	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	APROBADO POR	G.R.R
CONTACTO	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE MUESTREO	07/01/2025
CANTERA	SIVINGAN BAJO	FECHA DE RECEPCIÓN	10/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	M-012-03	FECHA DE ENSAYO	27/01/2025
MATERIAL	90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE PET	FECHA DE EMISION	11/02/2025
PROF. (m).	-	COORDENADAS	E: 757438.00; N: 9280022.00
ESTRUCTURA	AFIRMADO		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO DEL SUELO UTILIZANDO ESFUERZO MODIFICADO (56,000 FT-LBF / FT³ (2,700 KN-M/M³))

ASTM D1557 - 12e1

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de Capas	5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa	56	56	56	56
Masa suelo húmedo + molde (g)	10608	10796	10974	10856
Masa molde + base (g)	6484	6484	6484	6484
Masa suelo húmedo compactado (g)	4124	4312	4490	4372
Volumen del molde (cm³)	2043	2043	2043	2043
Peso volumétrico húmedo (g/cm³)	2.019	2.111	2.198	2.140
Tara N°	T-08	T-05	T-07	T-09
Peso del suelo húmedo + tara (g)	752.6	789.4	580.0	825.4
Peso del suelo seco + tara (g)	730.7	756.0	544.2	759.2
Peso de Tara (g)	47.2	107.8	47.5	47.7
Peso de agua (g)	21.9	33.4	35.8	66.2
Peso del suelo seco (g)	683.5	648.2	496.7	711.5
Contenido de agua (%)	3.2	5.2	7.2	9.3
Peso volumétrico seco (g/cm³)	1.956	2.007	2.050	1.958
Densidad máxima (g/cm³)				2.050
Humedad óptima (%)				7.2

DATOS DESARROLLO DE ENSAYO	
Altura de Caída de Pison	45.7 cm
Masa del Pison	4.5 kg
Volumen Molde	2043
N° capas	5
N° golpes/Capas	56
GRADACION DE LA MUESTRA	
TAMIZ	RET. PARCIAL (%) PASA (%)
3"	0 100
2"	11.7 88.3
3/4"	9.5 54.3
3/8"	3.4 42.3
N° 4	8.8 33.4
< N°4	33.4
DATOS	
METODO C	
Gravedad Especifica (g/cm³)	
Maxima densidad Seca (g/cm³)	2.050
Optimo Ontenido de Humedad (%)	7.2



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 26787b



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-03

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 31/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-03	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: 90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE PET	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m)	: -		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

ASTM D1883 - 1

C.B.R

Molde N°	5		6		8	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
N° Capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12568	12586	12085	12099	12079	12093
Masa de molde + base (g)	7880	7880	7578	7578	8019	8019
Masa del suelo húmedo (g)	4688	4706	4507	4521	4060	4074
Volumen del molde (cm³)	2129	2129	2151	2151	2151	2151
Densidad húmeda (g/cm³)	2.202	2.210	2.095	2.102	1.887	1.894
N° Tara	T-15	T-16	T-17	T-18	T-19	T-20
Masa suelo húmedo + tara (g)	680.1	825.8	750.1	816.5	790.6	736.5
Masa suelo seco + tara (g)	639.7	767.4	704.2	757.8	740.9	683.0
Masa de tara (g)	85.6	88.4	92.5	83.6	87.4	82.3
Masa de agua (g)	40.4	58.4	45.9	58.7	49.7	53.5
Masa de suelo seco (g)	554.1	679.0	611.7	674.2	653.5	600.7
Contenido de humedad (%)	7.3	8.6	7.5	8.7	7.6	8.9
Densidad seca (g/cm³)	2.052	2.036	1.949	1.934	1.754	1.739

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
31/01/2025	11:39	0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
01/02/2025	11:39	24	29.00	0.737	0.64	36.00	0.914	0.79	47.00	1.194	1.03
02/02/2025	11:39	48	39.00	0.991	0.85	47.00	1.194	1.03	56.00	1.422	1.23
03/02/2025	11:39	72	47.00	1.194	1.03	53.00	1.346	1.16	61.00	1.549	1.34
04/02/2025	11:39	96	52.00	1.321	1.14	62.00	1.575	1.36	79.00	2.007	1.73

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm²)	MOLDE N° 5						MOLDE N° 6						MOLDE N° 8					
		CARGA		CORRECCIÓN		Dial (div)	kg	%	CARGA		CORRECCIÓN		Dial (div)	kg	%	CARGA		CORRECCIÓN	
		kg	%	kg	%				kg	%	kg	%							
0.000																			
0.635					126				107					80					
1.270					263				224					168					
1.905					403				343					257					
2.540	70.5				565	557.7	41.0		480	474.0	34.8			360	355.5	26.1			
3.810					859				730					548					
5.080	105.7				1162	1153.4	56.5		988	980.4	48.0			741	735.3	36.0			
6.350					1410				1199					899					
7.620					1652				1404					1053					
10.600					2147				1825					1369					
12.700					2471				2100					1575					

Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.


Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:


Geremias Rimarachin Rimarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL - REG. CAR. 41267870

JR. ANAXIMANDRO VEGA N° 865

CHOTA - CAJAMARCA - PERÚ

EMAIL: gselaboratprio2019@gmail.com



INFORME DE ENSAYO

IE-2024-012-03

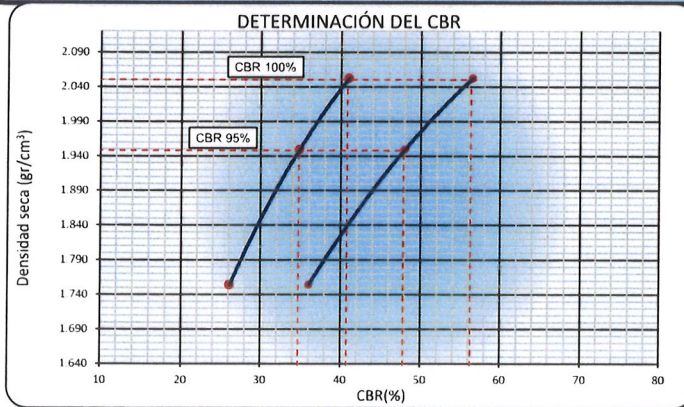
"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 31/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-03	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: 90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE PET	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m)	: -		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

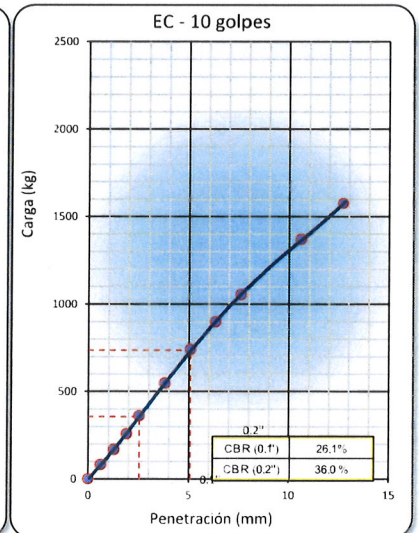
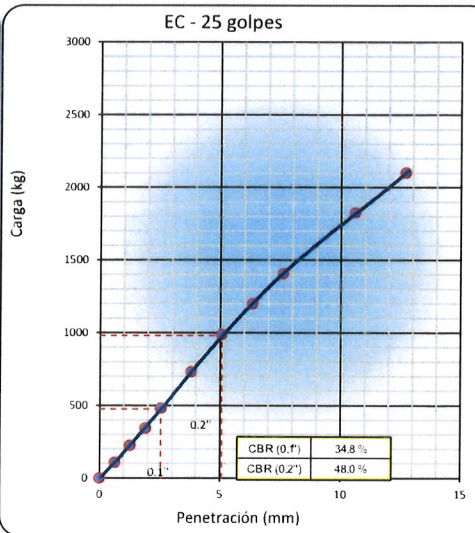
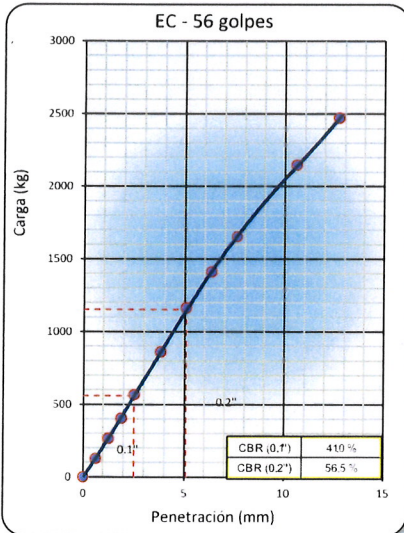
ASTM D1883 - 1



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	
PROCTOR MODIFICADO ASTM	: 1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2.050
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 7.2
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 1.948

PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	34.7	0.2"	47.9
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	40.8	0.2"	56.3
PORCENTAJE DE EXPANSIÓN			1.4	

Observaciones:



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

 Geremias Rimarachin Rimarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL. REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-03

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"
UBICACIÓN : CHOTA **REALIZADO POR** : I.C.D
SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN **APROBADO POR** : G.R.R
CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589 **FECHA DE MUESTREO** : 07/01/2025
CANTERA : SIVINGAN BAJO **FECHA DE RECEPCIÓN** : 10/01/2025
CODIGO DE MUESTRA : M-012-03 **FECHA DE ENSAYO** : 13/01/2025
MATERIAL : 90% DE MATERIAL DE CANTERA Y 10% DE PET **FECHA DE EMISION** : 11/02/2025
PROF. (m) : - **COORDENADAS** : E: 757438.00; N: 9280022.00
ESTRUCTURA : AFIRMADO

ABRASION LOS ANGELES ASTM C 13

TAMIZ PASA - RETIENE	GRADACIÓN			
	"A"	B	C	D
1 1/2" - 1"				
1" - 3/4"				
3/4" - 1/2"				
1/2" - 3/8"				
3/8" - 1/4"			2500	
1/4" - Nº 4			2500	
Nº 4 - Nº 8				
PESO TOTAL			5000	
MATERIAL RETENIDO TAMIZ Nº 12			3966	
MATERIAL PASA TAMIZ Nº 12			1034	
Nº DE ESFERAS			8	
PESO DE LAS ESFERAS (gr)			3330 ± 20	
PORCENTAJE DE DESGASTE			20.7	

Observaciones: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

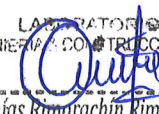
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:


 LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
 Geremías Rimarachín Rimarachín
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL REG. GR. N° 267870



INFORME DE ENSAYOS

IE-2025-012-02

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"

UBICACIÓN : CHOTA REALIZADO POR : I.C.D

SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN APROBADO POR : G.R.R

CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589 FECHA DE MUESTREO : 07/01/2025

CANTERA : SIVINGAN BAJO FECHA DE RECEPCIÓN : 10/01/2025

CODIGO DE MUESTRA : M-012-02 FECHA DE ENSAYO : 10/01/2025

MATERIAL : 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE PET FECHA DE EMISION : 11/02/2025

PROF. (m). : - COORDENADAS : E: 757438.00; N: 9280022.00

ESTRUCTURA : AFIRMADO

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO Y LA ROCA EN MASA

ASTM D2216 - 19

ENSAYO N°	1	---
N° DE TARA	T-30	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO (g)	2245.00	
MASA TARA + SUELO SECO (g)	2105.00	
MASA DE LA TARA (g)	245.00	---
MASA DEL AGUA (g)	140.00	
MASA DEL SUELO SECO (g)	1860.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.53	
HUMEDAD NATURAL (%)	7.5	---

Observaciones: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

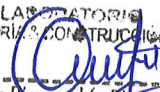
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. C.P. 47 257370



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-02

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"

UBICACIÓN : CHOTA

SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN

CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589

CANTERA : SIVINGAN BAJO

CODIGO DE MUESTRA : M-012-02

PROF. (m) : -

MATERIAL : 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE PET

ESTRUCTURA : AFIRMADO

REALIZADO POR : I.C.D

APROBADO POR: G.R.R

FECHA DE MUESTREO 07/01/2025

FECHA DE RECEPCIÓN 10/01/2025

FECHA DE ENSAYO 29/01/2025

FECHA DE EMISION 11/02/2025

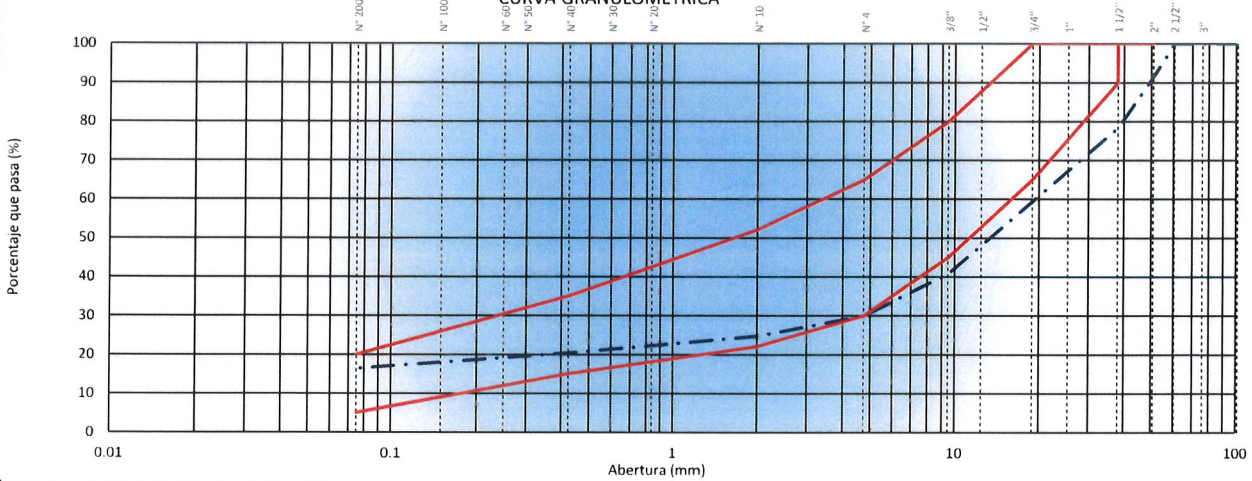
COORDENADAS E: 757438.00; N: 9280022.00

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRADACIÓN) DE LOS SUEOS MEDIANTE ANÁLISIS DE TAMIZ

ASTM D6913 / D6913M - 17

TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDO g.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	AFIRMADO A-1	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.600						Masa de la Muestra
3"	76.200						Masa Total de la Muestra (g) : 33293.0
2 1/2"	60.350				100.0		Material Fino < N°4 (g) : 10005
2"	50.800	2820	8.5	8.5	91.5	100 - 100	Material Grueso > N°4 (g) : 23288
1 1/2"	38.100	4365	13.1	21.6	78.4		Fracción Material < N°4 (g) : 550.0
1"	25.400	3116.0	9.4	30.9	69.1		Límites de Consistencia
3/4"	19.000	3193.0	9.6	40.5	59.5		Límite Líquido (%) : 30.19
1/2"	12.500	4208.0	12.6	53.2	46.8		Límite Plástico (%) : 19.81
3/8"	9.525	1965.0	5.9	59.1	40.9	45 - 80	Índice Plástico (%) : 10.38
N°4	4.760	3621.4	10.9	69.9	30.1	30 - 65	Clasificación de Suelo
N°8	2.380	78.3	4.3	74.2	25.8		Clasificación SUCS : GC
N°10	2.000	17.9	1.0	75.2	24.8	22 - 52	Clasificación AASHTO : A-2-6 (0)
N°16	1.190	35.2	1.9	77.1	22.9		
N°20	0.840	22.1	1.2	78.3	21.7		
N°30	0.600	11.5	0.6	79.0	21.0		
N°40	0.425	10.8	0.6	79.6	20.4	15 - 35	
N°50	0.300	12.9	0.7	80.3	19.7		Humedad Natural (%) : 7.53
N°60	0.250	18.2	1.0	81.3	18.7		Materia Orgánica (%) : ----
N°100	0.150	16.3	0.9	82.1	17.9		Máxima dens. Seca (g/cm³) : 2.086
N°140	0.106	15.2	0.8	83.0	17.0		Óptimo Cont. Humedad (%) : 6.20
N°200	0.075	11.2	0.6	83.6	16.4	5 - 20	CBR 0.1" al 95% MDS (%) : 37.21
< N°200	FONDO	300.4	16.4	100.0			CBR 0.1" al 100% MDS (%) : 43.78

CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin

JEFE DE LABORATORIO

INGENIERO CIVIL REG. COLEGIADO 257370



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-02

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"
UBICACIÓN : CHOTA **REALIZADO POR** : I.C.D
SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN **APROBADO POR** : G.R.R
CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589 **FECHA DE MUESTREO** : 07/01/2025
CANTERA : SIVINGAN BAJO **FECHA DE RECEPCIÓN** : 10/01/2025
CODIGO DE MUESTRA : M-012-02 **FECHA DE ENSAYO** : 06/02/2025
MATERIAL : 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE PET **FECHA DE EMISION** : 11/02/2025
PROF. (m). : - **COORDENADAS** : E: 757438.00; N: 9280022.00
ESTRUCTURA : AFIRMADO

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

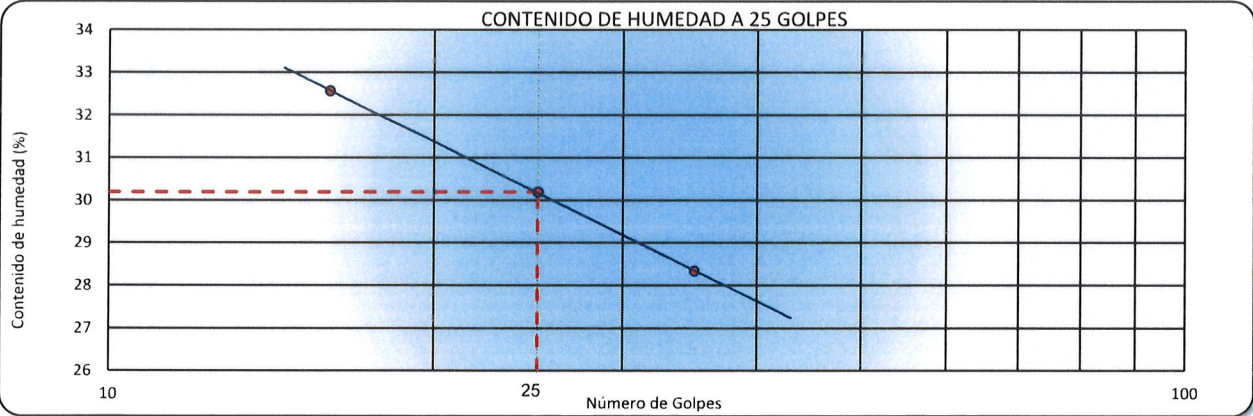
ASTM D4318 - 17e1

LÍMITE LÍQUIDO

N° DE TARA		T-06	T-07	T-08	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO	(g.)	43.22	42.60	43.00	---
MASA TARA + SUELO SECO	(g.)	37.52	36.25	36.13	
MASA DEL AGUA	(g.)	5.70	6.35	6.87	
MASA DE LA TARA	(g.)	17.42	15.22	15.04	
MASA DEL SUELO SECO	(g.)	20.10	21.03	21.09	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	28.34	30.19	32.57	
NÚMERO DE GOLPES		35	25	16	

LÍMITE PLÁSTICO

N° DE TARA		T-09	T-10	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO	(g.)	16.66	16.12	---
MASA TARA + SUELO SECO	(g.)	15.31	14.86	
MASA DE LA TARA	(g.)	8.50	8.51	
MASA DEL AGUA	(g.)	1.35	1.26	
MASA DEL SUELO SECO	(g.)	6.81	6.35	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	19.85	19.77	



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	30.19
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	19.8
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	(%)	10.4

OBSERVACIONES

LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

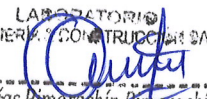
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:


Geremias Rimarachin Rimarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL - REG. Nº 1207870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-02

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

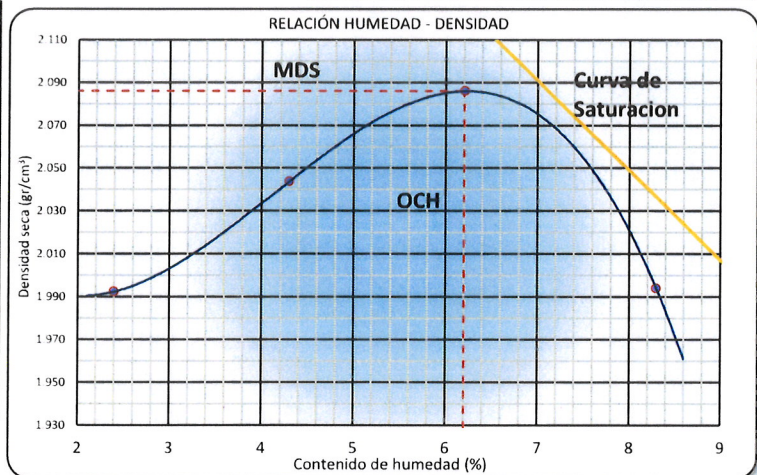
PROYECTO	"MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"		
UBICACIÓN	CHOTA	REALIZADO POR	I.C.D
SOLICITANTE	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	APROBADO POR	G.R.R
CONTACTO	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE MUESTREO	07/01/2025
CANTERA	SIVINGAN BAJO	FECHA DE RECEPCIÓN	10/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	M-012-02	FECHA DE ENSAYO	27/01/2025
MATERIAL	95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE PET	FECHA DE EMISION	11/02/2025
PROF. (m).	-	COORDENADAS	E: 757438.00; N: 9280022.00
ESTRUCTURA	AFIRMADO		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO DEL SUELO UTILIZANDO ESFUERZO MODIFICADO (56,000 FT-LBF / FT³ (2,700 KN-M/M³))

ASTM D1557 - 12e1

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de Capas	5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa	56	56	56	56
Masa suelo húmedo + molde (g)	10666	10860	11038	10919
Masa molde + base (g)	6341	6341	6341	6341
Masa suelo húmedo compactado (g)	4325	4519	4697	4578
Volumen del molde (cm ³)	2120	2120	2120	2120
Peso volumétrico húmedo (g/cm ³)	2.040	2.132	2.216	2.159
Tara N°	T-10	T-11	T-12	T-13
Peso del suelo húmedo + tara (g)	695.3	850.4	670.1	750.9
Peso del suelo seco + tara (g)	680.2	817.3	636.0	699.8
Peso de Tara (g)	50.2	46.8	86.7	84.0
Peso de agua (g)	15.1	33.1	34.1	51.1
Peso del suelo seco (g)	630.0	770.5	549.3	615.8
Contenido de agua (%)	2.4	4.3	6.2	8.3
Peso volumétrico seco (g/cm ³)	1.992	2.044	2.086	1.994
Densidad máxima (g/cm ³)				2.086
Húmedad óptima (%)				6.2

DATOS DESARROLLO DE ENSAYO		
Altura de Caída de Pison	45.7 cm	
Masa del Pison	4.5 kg	
Volumen Molde	2120	
N° capas	5	
N° golpes/Capas	56	
GRADACION DE LA MUESTRA		
TAMIZ	RET. PARCIAL (%)	PASA (%)
3"	0	100
2"	8.5	91.5
3/4"	9.6	59.5
3/8"	5.9	40.9
N° 4	10.9	30.1
< N° 4	30.1	
DATOS		
METODO C		
Gravedad Especifica (g/cm ³)		
Maxima densidad Seca (g/cm ³)	2.086	
Optimo Ontenido de Humedad (%)	6.2	



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin
 Geremias Rimarachin Rimarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 N° DE REG. CIVIL: REG. CIVIL N° 267870

JR. ANAXIMANDRO VEGA N° 865

CHOTA - CAJAMARCA - PERÚ

EMAIL: gselaboratorio2019@gmail.com



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-02

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 31/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-02	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE PET	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m).	: -		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

ASTM D1883 - 1

C.B.R

Molde N°	1		2		10	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
N° Capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	11589	11602	12188	12196	11889	11902
Masa de molde + base (g)	6899	6899	7607	7607	7835	7835
Masa del suelo húmedo (g)	4690	4703	4581	4589	4054	4067
Volumen del molde (cm ³)	2112	2112	2169	2169	2130	2130
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.221	2.227	2.112	2.116	1.903	1.909
N° Tara	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14	T-15
Masa suelo húmedo + tara (g)	645.1	800.7	789.2	823.0	836.0	785.1
Masa suelo seco + tara (g)	612.9	752.9	746.5	772.3	791.0	736.6
Masa de tara (g)	101.2	98.6	78.5	86.9	99.2	89.3
Masa de agua (g)	32.2	47.8	42.7	50.7	45.0	48.5
Masa de suelo seco (g)	511.7	654.3	668.0	685.4	691.8	647.3
Contenido de humedad (%)	6.3	7.3	6.4	7.4	6.5	7.5
Densidad seca (g/cm ³)	2.089	2.075	1.985	1.970	1.787	1.776

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
31/01/2025	04:12	0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
01/02/2025	04:12	24	35.00	0.889	0.77	46.00	1.168	1.01	58.00	1.473	1.27
02/02/2025	04:12	48	48.00	1.219	1.05	58.00	1.473	1.27	66.00	1.676	1.45
03/02/2025	04:12	72	59.00	1.499	1.29	69.00	1.753	1.51	78.00	1.981	1.71
04/02/2025	04:12	96	66.00	1.676	1.45	72.00	1.829	1.58	89.00	2.261	1.95

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm ²)	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 10			
		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0					0		
0.635			170			145					108		
1.270			288			245					184		
1.905			432			367					275		
2.540	70.5		582	599.0	44.0	495	509.1	37.4			371	381.8	28.0
3.810			922			784					588		
5.080	105.7		1225	1213.2	59.4	1041	1031.2	50.5			781	773.4	37.9
6.350			1473			1252					939		
7.620			1715			1458					1093		
10.600			2210			1879					1409		
12.700			2534			2154					1615		

Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin

GEREMIAS RIMARACHIN RIMARACHIN
JEFE DE LABORATORIO
TEL: NIERO CIVI RES: 011 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2024-012-02

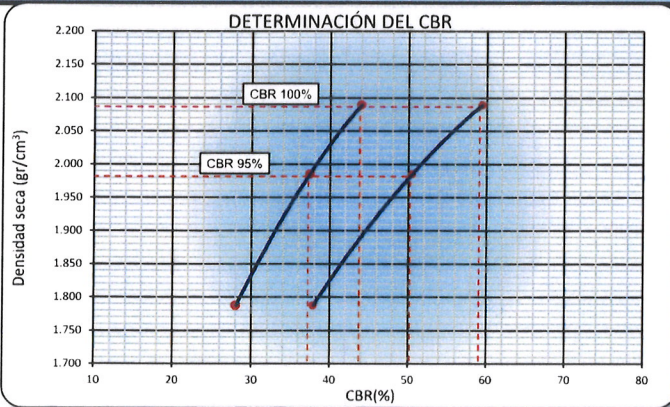
"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 31/01/2025
CODIGO DE MUESTR	: M-012-02	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE PET	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m)	: -		
ESTRUCTURA	: AFIRMADO		

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

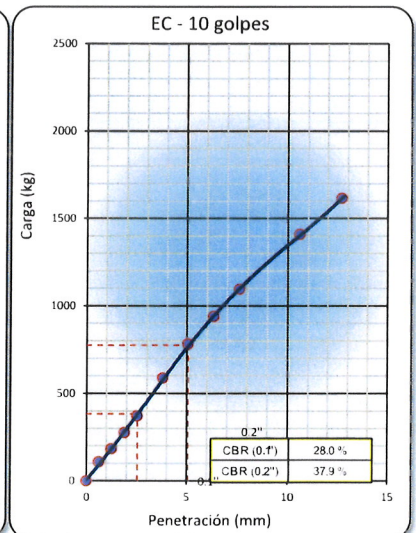
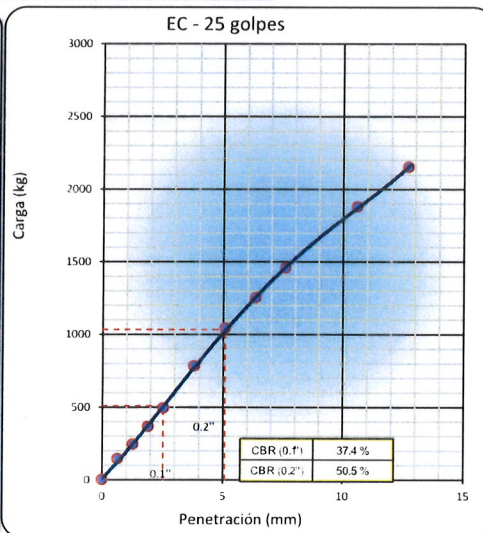
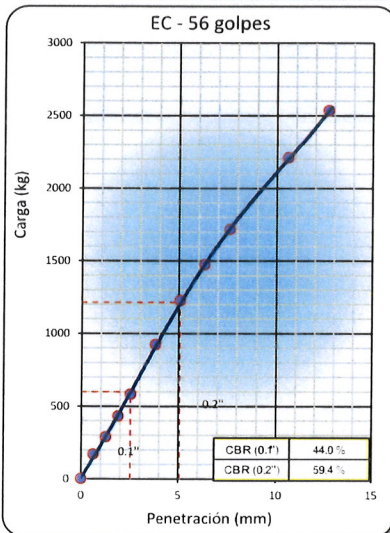
ASTM D1883 - 1



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	
PROCTOR MODIFICADO ASTM	: 1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2.086
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 6.2
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 1.982

PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	37.2	0.2"	50.2
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	43.8	0.2"	59.1
PORCENTAJE DE EXPANSIÓN		1.7		

Observaciones:



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

 Geremias Rimarachin Himarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL - REG. QP N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-02

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"

UBICACIÓN : CHOTA
SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN
CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589
CANTERA : SIVINGAN BAJO
CODIGO DE MUESTRA : M-012-02
MATERIAL : 95% DE MATERIAL DE CANTERA Y 5% DE PET
PROF. (m). : -
ESTRUCTURA : AFIRMADO

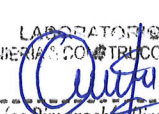

REALIZADO POR : I.C.D
APROBADO POR : G.R.R
FECHA DE MUESTREO : 07/01/2025
FECHA DE RECEPCIÓN : 10/01/2025
FECHA DE ENSAYO : 18/01/2025
FECHA DE EMISION : 11/02/2025
COORDENADAS : E: 757438.00; N: 9280022.00

ABRASION LOS ANGELES

ASTM C 13

TAMIZ PASA - RETIENE	GRADACIÓN			
	"A"	B	C	D
1 1/2" - 1"				
1" - 3/4"				
3/4" - 1/2"				
1/2" - 3/8"				
3/8" - 1/4"			2500	
1/4" - N° 4			2500	
N° 4 - N° 8				
PESO TOTAL			5000	
MATERIAL RETENIDO TAMIZ N° 12			3766	
MATERIAL PASA TAMIZ N° 12			1234	
N° DE ESFERAS			8	
PESO DE LAS ESFERAS (gr)			3330 ± 20	
PORCENTAJE DE DESGASTE			24.7	

Observaciones:

<p>Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.</p> <p>Sin la aprobacion del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.</p> <p>El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.</p> <p>Los resultados se aplican a la muestra como se recibio.</p> <p>Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.</p> <p>Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.</p>	<p>AUTORIZADO POR</p> <p>Jefe de Laboratorio:</p> <p> Geremias Rimarachin Rimarachin JEFE DE LABORATORIO INGENIERO CIVIL - REG. O.P. N° 267870</p>
	<p>LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC</p> <p></p>

FIN DE DOCUMENTO



INFORME DE ENSAYOS

IE-2025-012-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"

UBICACIÓN : CHOTA REALIZADO POR : I.C.D

SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN APROBADO POR : G.R.R

CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589 FECHA DE MUESTREO : 07/01/2025

CANTERA : SIVINGAN BAJO FECHA DE RECEPCIÓN : 10/01/2025

CODIGO DE MUESTRA : M-012-01 FECHA DE ENSAYO : 10/01/2025

MATERIAL : AFIRMADO FECHA DE EMISION : 11/02/2025

PROF. (m). : - COORDENADAS : E: 757438.00; N: 9280022.00

ESTRUCTURA : -

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO Y LA ROCA EN MASA

ASTM D2216 - 19

ENSAYO N°	1	---
N° DE TARA	T-53	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO (g)	2599.00	
MASA TARA + SUELO SECO (g)	2457.00	
MASA DE LA TARA (g)	399.00	---
MASA DEL AGUA (g)	142.00	
MASA DEL SUELO SECO (g)	2058.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.90	
HUMEDAD NATURAL (%)	6.9	---

Observaciones:

LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.


Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:


LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

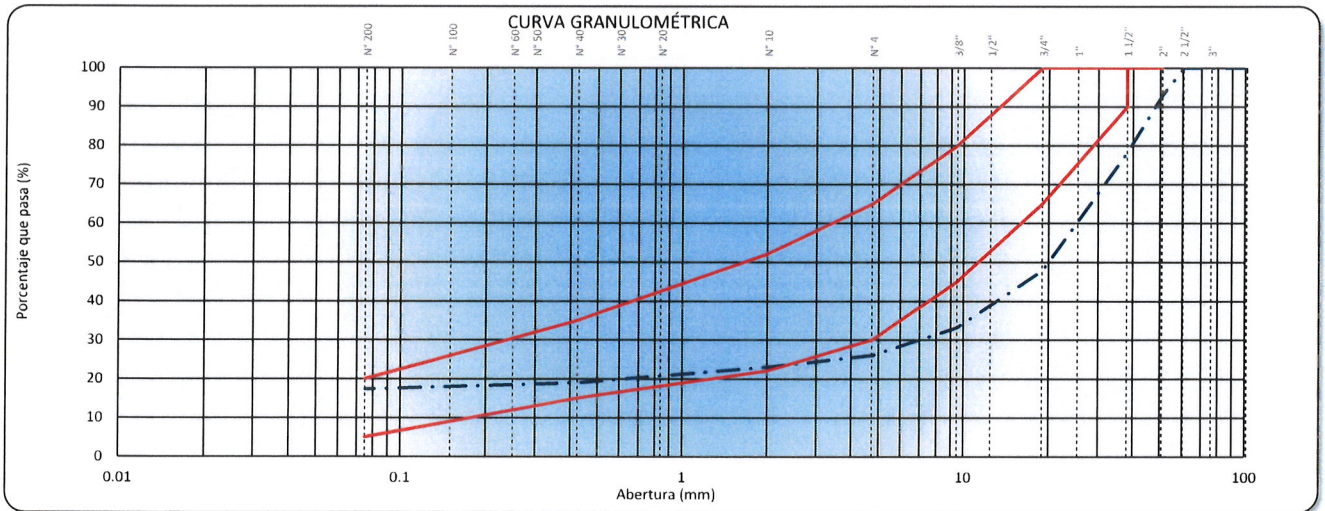
PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"
UBICACIÓN : CHOTA
SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN
CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589
CANTERA : SIVINGAN BAJO
CODIGO DE MUESTRA : M-012-01
PROF. (m) : -
MATERIAL : AFIRMADO
ESTRUCTURA : -

REALIZADO POR : I.C.D
APROBADO POR : G.R.R
FECHA DE MUESTREO 07/01/2025
FECHA DE RECEPCIÓN 10/01/2025
FECHA DE ENSAYO 17/01/2025
FECHA DE EMISION 11/02/2025
COORDENADAS E: 757438.00; N: 9280022.00

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRADACIÓN) DE LOS SUEOS MEDIANTE ANÁLISIS DE TAMIZ

ASTM D6913 / D6913M - 17

TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDO g.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	AFIRMADO A-1	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.600						Masa de la Muestra
3"	76.200						Masa Total de la Muestra (g): 42614.0
2 1/2"	60.350				100.0		Material Fino < N°4 (g): 11110
2"	50.800	2968	7.0	7.0	93.0	100 - 100	Material Grueso > N°4 (g): 31504
1 1/2"	38.100	6286	14.8	21.7	78.3		Fracción Material < N°4 (g): 500.0
1"	25.400	9046.0	21.2	42.9	57.1		Límites de Consistencia
3/4"	19.000	3962.0	9.3	52.2	47.8		Límite Líquido (%): 31.36
1/2"	12.500	4484.0	10.5	62.8	37.2		Límite Plástico (%): 20.18
3/8"	9.525	1692.0	4.0	66.7	33.3	45 - 80	Índice Plástico (%): 11.18
N°4	4.760	3066.0	7.2	73.9	26.1	30 - 65	Clasificación de Suelo
N°8	2.380	41.9	2.2	76.1	23.9		Clasificación SUCS : GC
N°10	2.000	16.8	0.9	77.0	23.0	22 - 52	Clasificación AASHTO : A-2-6 (0)
N°16	1.190	33.1	1.7	78.7	21.3		
N°20	0.840	20.8	1.1	79.8	20.2		
N°30	0.600	12.8	0.7	80.5	19.5		
N°40	0.425	10.9	0.6	81.0	19.0	15 - 35	
N°50	0.300	5.3	0.3	81.3	18.7		Humedad Natural (%): 6.90
N°60	0.250	6.8	0.4	81.7	18.3		Materia Orgánica (%): ----
N°100	0.150	8.5	0.4	82.1	17.9		Máxima dens. Seca (g/cm³): 2.066
N°140	0.106	5.3	0.3	82.4	17.6		Óptimo Cont. Humedad (%): 6.80
N°200	0.075	5.5	0.3	82.7	17.3	5 - 20	CBR 0.1" al 95% MDS (%): 34.05
< N°200	FONDO	332.3	17.3	100.0			CBR 0.1" al 100% MDS (%): 40.07



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
 Geremias Rimarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL, REG. CIP N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 29/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-01	FECHA DE EMISIÓN	: 11/02/2025
MATERIAL	: AFIRMADO	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m).	: -		
ESTRUCTURA	: -		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

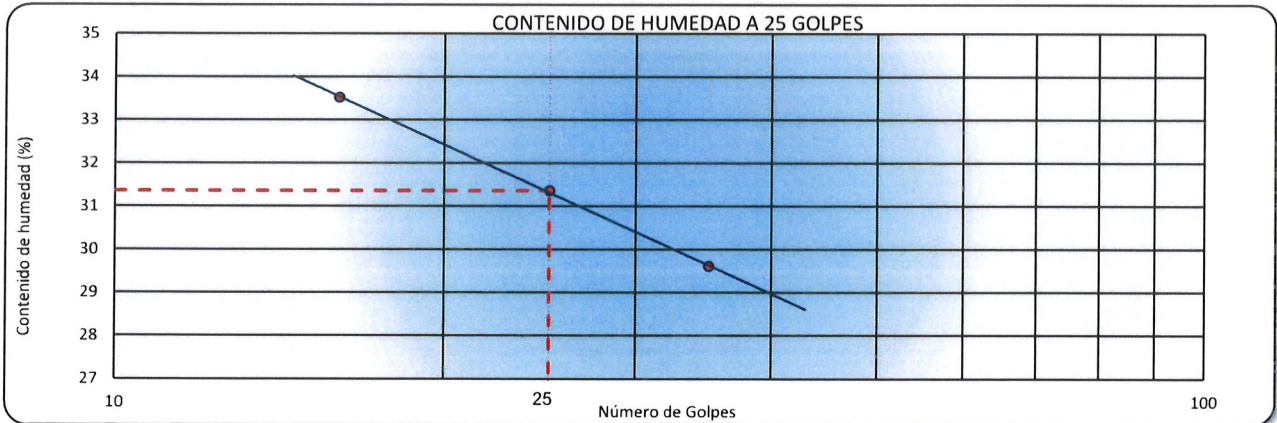
ASTM D4318 - 17e1

LÍMITE LÍQUIDO

N° DE TARA		T-01	T-02	T-03	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO	(g.)	43.51	42.56	43.29	-----
MASA TARA + SUELO SECO	(g.)	37.46	36.15	36.22	
MASA DEL AGUA	(g.)	6.05	6.41	7.07	
MASA DE LA TARA	(g.)	17.02	15.71	15.14	
MASA DEL SUELO SECO	(g.)	20.44	20.44	21.08	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	29.61	31.36	33.52	
NÚMERO DE GOLPES		35	25	16	

LÍMITE PLÁSTICO

N° DE TARA		T-04	T-05	
MASA TARA + SUELO HÚMEDO	(g.)	16.64	16.49	-----
MASA TARA + SUELO SECO	(g.)	15.27	14.77	
MASA DE LA TARA	(g.)	8.47	6.27	
MASA DEL AGUA	(g.)	1.37	1.72	
MASA DEL SUELO SECO	(g.)	6.80	8.50	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.15	20.21	



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	31.36
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	20.2
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	(%)	11.2

OBSERVACIONES

LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Si la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

 Geremias Rimarachin Rimarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL - REG. CIP N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

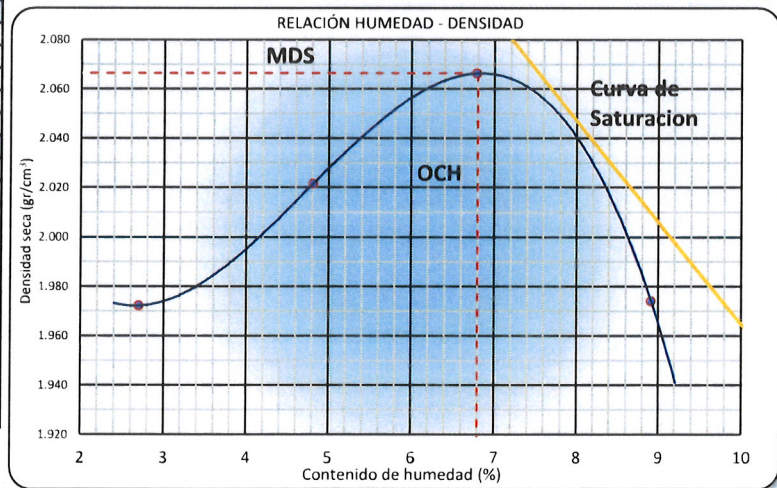
PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 18/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-01	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: AFIRMADO	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m)	: -		
ESTRUCTURA	: -		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO DEL SUELO UTILIZANDO ESFUERZO MODIFICADO (56,000 FT-LBF / FT² (2,700 KN-M/M²))

ASTM D1557 - 12e1

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de Capas	5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa	56	56	56	56
Masa suelo húmedo + molde (g)	10635	10833	11019	10899
Masa molde + base (g)	6341	6341	6341	6341
Masa suelo húmedo compactado (g)	4294	4492	4678	4558
Volumen del molde (cm ³)	2120	2120	2120	2120
Peso volumétrico húmedo (g/cm ³)	2.025	2.119	2.207	2.150
Tara N°	T-01	T-03	T-05	T-08
Peso del suelo húmedo + tara (g)	680.1	840.2	600.0	740.6
Peso del suelo seco + tara (g)	664.5	806.0	567.1	683.9
Peso de Tara (g)	86.5	95.2	82.3	47.2
Peso de agua (g)	15.6	34.2	32.9	56.7
Peso del suelo seco (g)	578.0	710.8	484.8	636.7
Contenido de agua (%)	2.7	4.8	6.8	8.9
Peso volumétrico seco (g/cm ³)	1.972	2.022	2.066	1.974
			Densidad máxima (g/cm³)	2.066
			Húmedad óptima (%)	6.8

DATOS DESARROLLO DE ENSAYO		
Altura de Caída de Pison	45.7 cm	
Masa del Pison	4.5 kg	
Volumen Molde	2120	
N° capas	5	
N° golpes/Capas	56	
GRADACION DE LA MUESTRA		
TAMIZ	RET. PARCIAL (%)	PASA (%)
3"	0	100
2"	7.0	93.0
3/4"	9.3	47.8
3/8"	4.0	33.3
N° 4	7.2	26.1
< N°4	26.1	
DATOS METODO C		
Gravedad Especifica (g/cm ³)		
Maxima densidad Seca (g/cm ³)	2.066	
Optimo Ontenido de Humedad (%)	6.8	



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

Geremias Rimarachin Rimarachin

 JEFE DE LABORATORIO

 INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	"MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"		
UBICACIÓN	CHOTA	REALIZADO POR	I.C.D
SOLICITANTE	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	APROBADO POR	G.R.R
CONTACTO	ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE MUESTREO	07/01/2025
CANTERA	SIVINGAN BAJO	FECHA DE RECEPCIÓN	10/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	M-012-01	FECHA DE ENSAYO	03/02/2025
MATERIAL	AFIRMADO	FECHA DE EMISION	11/02/2025
PROF. (m).	-	COORDENADAS	E: 757438.00; N: 9280022.00
ESTRUCTURA	-		

METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

ASTM D1883 - 1

C.B.R

Molde N°	10		12		15	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
N° Capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12542	12563	12363	12385	12060	12089
Masa de molde + base (g)	7835	7835	7939	7939	8049	8049
Masa del suelo húmedo (g)	4707	4728	4424	4446	4011	4040
Volumen del molde (cm ³)	2130	2130	2105	2105	2123	2123
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.210	2.220	2.102	2.112	1.889	1.903
N° Tara	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06
Masa suelo húmedo + tara (g)	610.2	790.5	655.4	690.1	835.6	770.4
Masa suelo seco + tara (g)	574.2	734.9	618.0	643.0	788.8	715.8
Masa de tara (g)	45.0	88.0	76.3	102.5	100.5	95.6
Masa de agua (g)	36.0	55.6	37.4	47.1	46.8	54.6
Masa de suelo seco (g)	529.2	646.9	541.7	540.5	688.3	620.2
Contenido de humedad (%)	6.8	8.6	6.9	8.7	6.8	8.8
Densidad seca (g/cm ³)	2.069	2.044	1.966	1.943	1.769	1.749

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
03/02/2025	02:13	0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
04/02/2025	02:13	24	26.00	0.660	0.57	36.00	0.914	0.79	48.00	1.219	1.05
05/02/2025	02:13	48	35.00	0.889	0.77	58.00	1.473	1.27	63.00	1.600	1.38
06/02/2025	02:13	72	45.00	1.143	0.99	77.00	1.956	1.69	84.00	2.134	1.84
07/02/2025	02:13	96	52.00	1.321	1.14	89.00	2.261	1.95	115.00	2.921	2.52

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm ²)	MOLDE N° 10				MOLDE N° 12				MOLDE N° 15			
		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0					0		
0.635			96			82					61		
1.270			235			200					150		
1.905			395			336					252		
2.540	70.5		585	547.8	40.2	480	465.6	34.2			360	349.2	25.7
3.810			895			761					571		
5.080	105.7		1206	1234.2	60.4	1025	1049.0	51.4			769	786.8	38.5
6.350			1586			1348					1011		
7.620			1865			1585					1189		
10.600			2486			2113					1585		
12.700			2968			2523					1892		

Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

 Geremias Rimarachin Rimarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL - REG. CIP. N° 267370

JR. ANAXIMANDRO VEGA N° 865

CHOTA - CAJAMARCA - PERÚ

EMAIL: gselaboratprio2019@gmail.com



INFORME DE ENSAYO

IE-2024-012-01

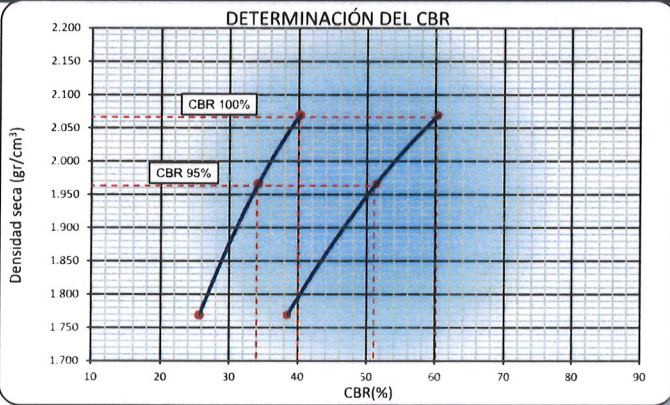
"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 07/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: SIVINGAN BAJO	FECHA DE ENSAYO	: 03/02/2025
CODIGO DE MUESTR	: M-012-01	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
MATERIAL	: AFIRMADO	COORDENADAS	: E: 757438.00; N: 9280022.00
PROF. (m)	: -		
ESTRUCTURA	: -		

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

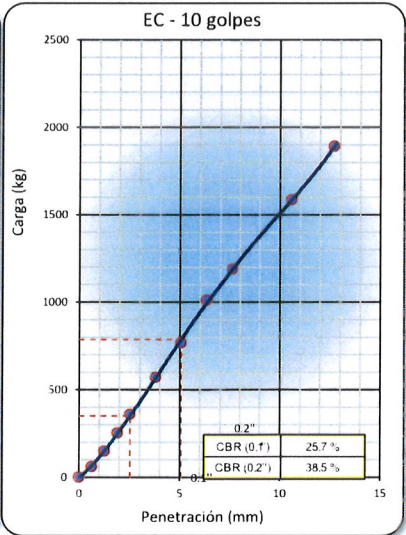
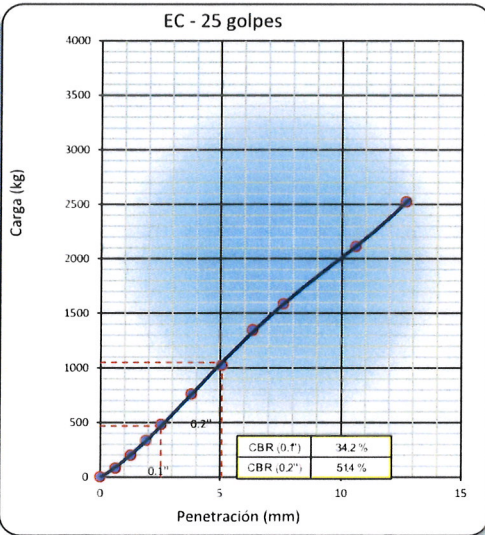
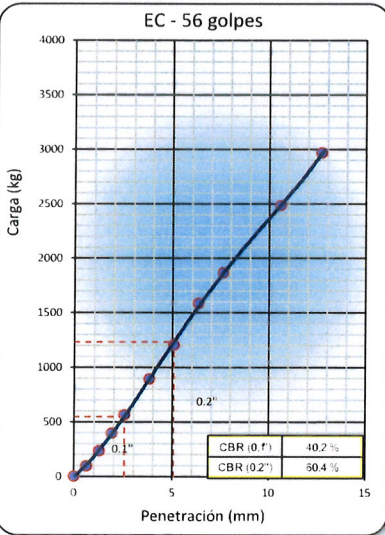
ASTM D1883 - 1



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	
PROCTOR MODIFICADO ASTM	: 1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2.066
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 6.8
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 1.963

PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	34.1	0.2"	51.1
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	40.1	0.2"	60.2
PORCENTAJE DE EXPANSIÓN				1.9

Observaciones:



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

Geremias Rimarachin Rimarachin
 JEFE DE LABORATORIO
 INGENIERO CIVIL - REG. Nº 47 287378



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"

UBICACIÓN : CHOTA REALIZADO POR : I.C.D

SOLICITANTE : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN APROBADO POR : G.R.R

CONTACTO : ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589 FECHA DE MUESTREO : 07/01/2025

CANTERA : SIVINGAN BAJO FECHA DE RECEPCIÓN : 10/01/2025

CODIGO DE MUESTRA : M-012-01 FECHA DE ENSAYO : 10/01/2025

MATERIAL : AFIRMADO FECHA DE EMISION : 11/02/2025

PROF. (m). : - COORDENADAS : E: 757438,00; N: 9280022,00

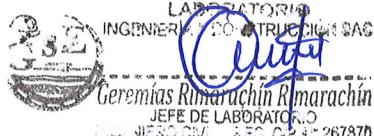
ESTRUCTURA : -

ABRASION LOS ANGELES

ASTM C 13

TAMIZ PASA - RETIENE	GRADACIÓN			
	"A"	B	C	D
1 1/2" - 1"	1250			
1" - 3/4"	1250			
3/4" - 1/2"	1250			
1/2" - 3/8"	1250			
3/8" - 1/4"				
1/4" - N° 4				
N° 4 - N° 8				
PESO TOTAL	5,000			
MATERIAL RETENIDO TAMIZ N° 12	3,353			
MATERIAL PASA TAMIZ N° 12	1,647			
N° DE ESFERAS	12			
PESO DE LAS ESFERAS (gr)	5000 ± 25			
PORCENTAJE DE DESGASTE	32.9			

Observaciones: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

<p>Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.</p> <p>Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.</p> <p>El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.</p> <p>Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.</p> <p>Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.</p> <p>Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.</p>	AUTORIZADO POR
	<p>Jefe de Laboratorio:</p>  <p>LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC Geremías Rimarachín Rimarachín JEFE DE LABORATORIO INGENIERO CIVIL - REG. C.P. N° 267870</p>

FIN DE DOCUMENTO



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-05

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

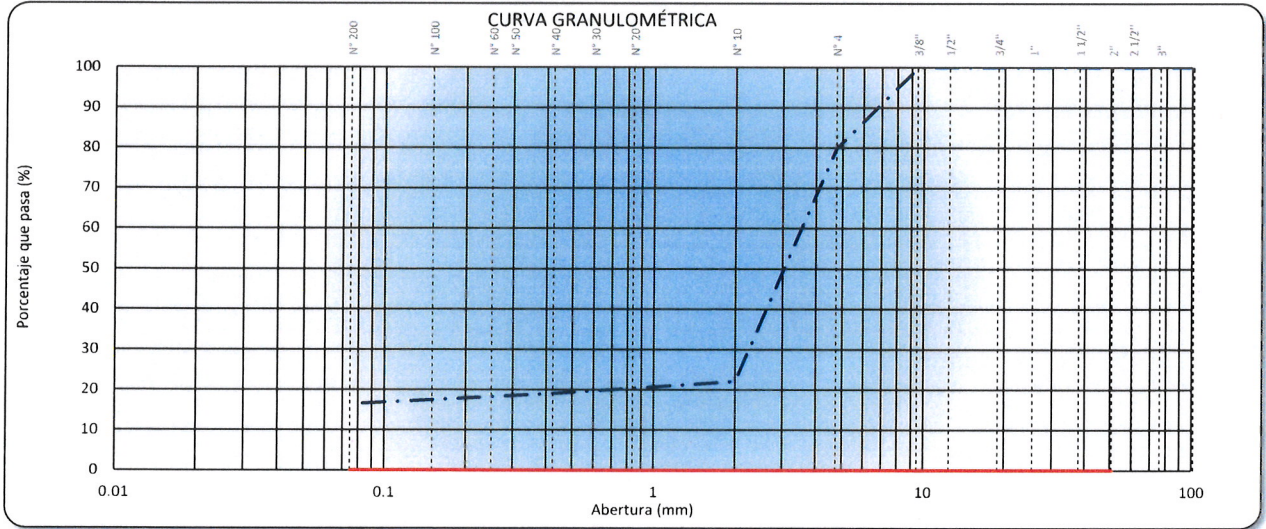
DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 04/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: -	FECHA DE ENSAYO	: 18/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-05	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
PROF. (m)	: -	COORDENADAS	: -
MATERIAL	: HDPE		
ESTRUCTURA	: -		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTICULA (GRADACION) DE LOS SUEOS MEDIANTE ANALISIS DE TAMIZ

ASTM D6913 / D6913M - 17

TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDO g.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.600					Masa de la Muestra
3"	76.200					Masa Total de la Muestra (g): 500.0
2 1/2"	60.350					Material Fino < N°4 (g): 400
2"	50.800					Material Grueso > N°4 (g): 101
1 1/2"	38.100					Fracción Material < N°4 (g): 500.0
1"	25.400					Límites de Consistencia
3/4"	19.000					Límite Líquido (%):
1/2"	12.500					Límite Plástico (%):
3/8"	9.525				100.0	Índice Plástico (%):
N°4	4.760	100.5	20.1	20.1	79.9	Clasificación de Suelo
N°8	2.380	348.3	55.7	75.8	24.2	Clasificación SUCS:
N°10	2.000	13.6	2.2	77.9	22.1	Clasificación AASHTO:
N°16	1.190	7.3	1.2	79.1	20.9	
N°20	0.840	5.8	0.9	80.0	20.0	
N°30	0.600	3.4	0.5	80.6	19.4	
N°40	0.425	2.7	0.4	81.0	19.0	
N°50	0.300	4.2	0.7	81.7	18.3	Humedad Natural (%):
N°60	0.250	3.8	0.6	82.3	17.7	Materia Orgánica (%):
N°100	0.150	2.1	0.3	82.6	17.4	Máxima dens. Seca (g/cm³):
N°140	0.106	3.9	0.6	83.2	16.8	Óptimo Cont. Humedad (%):
N°200	0.075	2.3	0.4	83.6	16.4	CBR 0.1" al 95% MDS (%):
< N°200	FONDO	102.6	16.4	100.0		CBR 0.1" al 100% MDS (%):



Observaciones : **LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.**

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL, REG. CIP N° 267870

FIN DE DOCUMENTO



INFORME DE ENSAYO

IE-2025-012-04

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

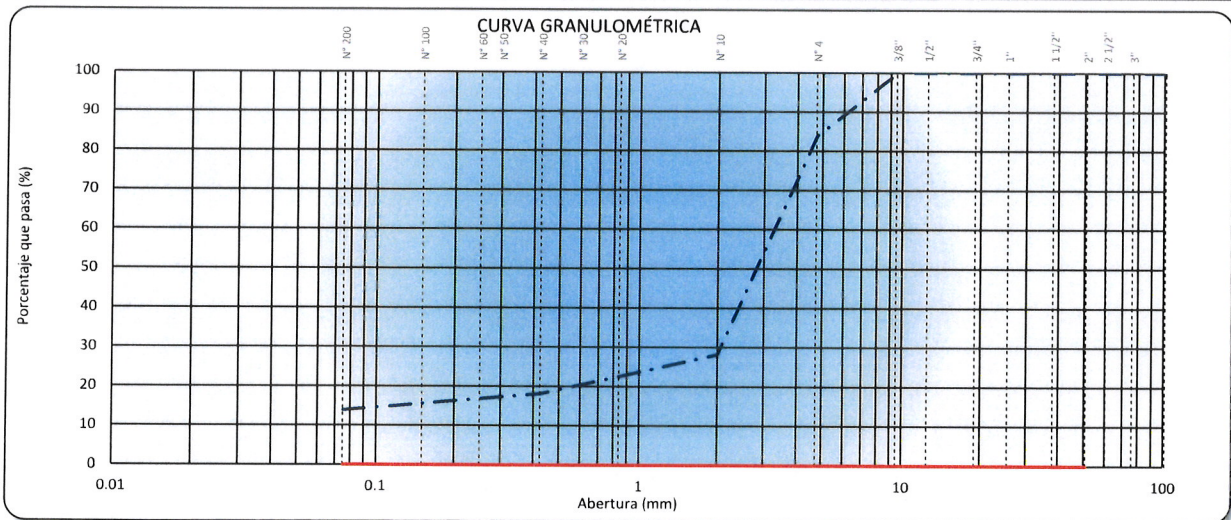
DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	: "MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024"	REALIZADO POR	: I.C.D
UBICACIÓN	: CHOTA	APROBADO POR	: G.R.R
SOLICITANTE	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN	FECHA DE MUESTREO	: 04/01/2025
CONTACTO	: ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN / CEL. 930451589	FECHA DE RECEPCIÓN	: 10/01/2025
CANTERA	: -	FECHA DE ENSAYO	: 18/01/2025
CODIGO DE MUESTRA	: M-012-04	FECHA DE EMISION	: 11/02/2025
PROF. (m)	: -	COORDENADAS	: -
MATERIAL	: PET		
ESTRUCTURA	: -		

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRADACIÓN) DE LOS SUELOS MEDIANTE ANÁLISIS DE TAMIZ

ASTM D6913 / D6913M - 17

TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDO g.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.600					Masa de la Muestra
3"	76.200					Masa Total de la Muestra (g) : 1260.0
2 1/2"	60.350					Material Fino < N°4 (g) : 1056
2"	50.800					Material Grueso > N°4 (g) : 204
1 1/2"	38.100					Fracción Material < N°4 (g) : 1260.0
1"	25.400					Límites de Consistencia
3/4"	19.000					Límite Líquido (%) :
1/2"	12.500					Límite Plástico (%) :
3/8"	9.525				100.0	Índice Plástico (%) :
N°4	4.760	203.8	16.2	16.2	83.8	Clasificación de Suelo
N°8	2.380	728.6	48.5	64.6	35.4	Clasificación SUCS :
N°10	2.000	108.1	7.2	71.8	28.2	Clasificación AASHTO :
N°16	1.190	84.5	5.6	77.5	22.5	
N°20	0.840	36.0	2.4	79.9	20.1	
N°30	0.600	12.3	0.8	80.7	19.3	
N°40	0.425	18.6	1.2	81.9	18.1	
N°50	0.300	24.6	1.6	83.5	16.5	Humedad Natural (%) :
N°60	0.250	18.0	1.2	84.7	15.3	Materia Orgánica (%) :
N°100	0.150	12.2	0.8	85.6	14.4	Máxima dens. Seca (g/cm³) :
N°140	0.106	4.7	0.3	85.9	14.1	Óptimo Cont. Humedad (%) :
N°200	0.075	4.0	0.3	86.1	13.9	CBR 0.1" al 95% MDS (%) :
< N°200	FONDO	208.4	13.9	100.0		CBR 0.1" al 100% MDS (%) :



Observaciones : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE.

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL, REG. CP. N° 267870

FIN DE DOCUMENTO



Colpa Matara, 21 de julio del 2025.

C.O. N° 23-2025-UI-EPIC

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis titulado: **“MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL AFIRMADO DE LA CANTERA SIVINGAN BAJO UTILIZANDO RESIDUOS DE POLIETILENO: PET Y HDPE, CHOTA, 2024”**, elaborado por el bachiller en ingeniería civil: **ELÍ DÁVILA RIMARACHÍN**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 12% excluyendo texto citado, bibliografía y fuentes que tengan coincidencias de menos de 10 palabras; por lo tanto, cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en el acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.

Se expide la presente, en conformidad a la directiva antes mencionada, para los fines que estime pertinentes.



Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH