

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



Evaluación de la adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos
(caucho granular) en material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto,

Chota

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Presentado por:

NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO

Asesor: Dr. Ing. LUIS FERNANDO ROMERO CHUQUILÍN

Línea de investigación: Estudio de propiedades geotécnicas y

comportamiento de suelos

Chota – Perú

2025

**EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS
ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO
GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA
CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA**

POR:

NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO

**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



Mg. Cristhian Saúl López Villanueva

PRESIDENTE



Dr. Edwar Cieza Sánchez

SECRETARIO



Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales

VOCAL



Colpa Matara, 10 de octubre del 2025.

C.O. N° 29-2025-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: **“EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil: **NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI y EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 9% 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

NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI EDGAR OMAR...

EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATE...

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

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3360791401

Fecha de entrega

3 oct 2025, 3:47 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

10 oct 2025, 11:58 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

6_INFORME_FINAL_DE_TESIS_NURYNARDA_Y_EDGA_OMAR.docx

Tamaño del archivo

9.9 MB

174 páginas

36.009 palabras

187.955 caracteres




9% 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

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
118 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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

- 8% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 4% 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	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
3	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
4	Internet	hdl.handle.net	<1%
5	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco	<1%
7	Internet	repositorio.unp.edu.pe	<1%
8	Internet	www.fict.espol.edu.ec	<1%
9	Internet	www.regionarequipa.gob.pe	<1%
10	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
11	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%

12	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
13	Internet	repositorio.urp.edu.pe	<1%
14	Internet	www.coursehero.com	<1%
15	Internet	repositorio.unsch.edu.pe	<1%
16	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte	<1%
18	Internet	vsip.info	<1%
19	Internet	repositorio.uancv.edu.pe	<1%
20	Internet	repositorio.upao.edu.pe	<1%
21	Trabajos del estudiante	Universidad Continental	<1%
22	Internet	repositorio.unu.edu.pe	<1%
23	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
24	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Cientifica del Sur	<1%

26	Internet	core.ac.uk	<1%
27	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
28	Internet	repositorio.upla.edu.pe	<1%
29	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
30	Internet	www.aepro.com	<1%
31	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Santa	<1%
32	Internet	slebeeas.home.blog	<1%
33	Internet	www.dspace.unitru.edu.pe	<1%
34	Trabajos del estudiante	Universidad de Cantabria	<1%
35	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
36	Internet	repositorio.untrm.edu.pe	<1%
37	Internet	www.agritotal.com.ar	<1%
38	Trabajos del estudiante	American Public University System	<1%
39	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%

40	Internet	es.slideshare.net	<1%
41	Internet	fdocuments.es	<1%
42	Internet	repositorio.uandina.edu.pe	<1%
43	Internet	repositorio.udh.edu.pe	<1%
44	Internet	repositorio.utea.edu.pe	<1%
45	Internet	www.researchgate.net	<1%
46	Publicación	Jonatan Baños-Chaparro. "Gestión del tiempo y compromiso académico en estudi...	<1%
47	Publicación	Jordi Martínez Ventura. "Enseñanza de la Arquitectura y Educación para el desarr...	<1%
48	Internet	creativecommons.org	<1%
49	Internet	pirhua.udep.edu.pe	<1%
50	Internet	repositorio.une.edu.pe	<1%
51	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
52	Internet	repositorio.unj.edu.pe	<1%
53	Internet	rid.unam.edu.ar	<1%



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 06:30 p.m. del día 12 de noviembre 2025, reunidos en la sala de Incuba- 2do piso del local administrativo, los miembros del jurado de tesis que suscriben, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por los bachilleres: **Nurynarda Coronel Verastegui Y Edgar Omar Cusma Tarrillo**, denominada: **“EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA”**; escuchada la sustentación, y absueltas las preguntas a las observaciones formuladas, la declaramos:

Aprobado

CON EL CALIFICATIVO (*)

13 (Summa Cum Laude)

En consecuencia, se les declara **EXPEDITOS** 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 noviembre 2025.

Mg. Cristhian Saúl López Villanueva
PRESIDENTE

Dr. Edwar Cieza Sánchez.
SECRETARIO

Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
VOCAL

Dr. Luis Fernando Romero Chuquilín
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).

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis, en primer lugar, a Dios, fuente de fortaleza y sabiduría, por guiarnos con su luz en cada etapa de este camino y colmarnos de bendiciones. A nuestro hijo, inspiración constante y motor de superación, con la esperanza de que este logro sea para él un ejemplo de perseverancia y esfuerzo. A nuestras familias, por su amor incondicional, su apoyo firme y sus palabras de aliento en los momentos más difíciles. A nuestros amigos, por su compañía sincera, su motivación constante y por estar presentes a lo largo de este proceso. A todos ustedes, gracias por ser parte esencial en la conquista de esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento a Dios, por brindarnos la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar con éxito esta investigación. Agradecemos sinceramente al Dr. Ing. Luis Fernando Romero Chuquilín, nuestro asesor, por su valiosa orientación, conocimientos y acompañamiento constante durante el desarrollo de este trabajo. Nuestro reconocimiento también al propietario de la cantera Rejopampa Alto, por permitirnos el acceso al material y colaborar activamente en la recolección de muestras, haciendo posible la ejecución de este estudio. A los técnicos del laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (EPIC-UNACH), les expresamos nuestro aprecio por su dedicación y apoyo técnico en cada uno de los ensayos realizados. De igual manera, extendemos nuestro agradecimiento a los carpinteros de la ciudad de Chota, por proporcionarnos el aserrín necesario para las pruebas experimentales, contribuyendo significativamente al desarrollo del proyecto. Finalmente, a nuestros familiares y amigos, gracias por su apoyo incondicional, comprensión y aliento constante, que fueron pilares fundamentales para afrontar los desafíos y lograr la culminación de esta etapa.

A todos ustedes, nuestros más sinceros agradecimientos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Planteamiento del problema	17
1.2. Formulación del problema	21
1.2.1. Problema general	21
1.2.2. Problemas específicos.....	21
1.3. Justificación	22
1.3.1. Justificación Científica	22
1.3.2. Justificación Técnica	23
1.4. Delimitación de la investigación	24
1.5. Limitaciones	25
1.6. Objetivos	25
1.6.1. Objetivo general.....	25
1.6.2. Objetivos específicos	25
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	27
2.1. Antecedentes	27
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	27
2.1.2. Antecedentes nacionales	30
2.1.3. Antecedentes regionales	33
2.2. Bases teórico – científicas	35
2.2.1. Teoría de las tres dimensiones del desarrollo sostenibilidad.....	35
2.2.2. Fundamentos de la mecánica de suelos para carreteras.....	36
2.2.3. Uso de residuos de acuerdo a la teoría del desarrollo sostenible.....	38
2.3. Marco conceptual	40
2.3.1. Residuos orgánicos	40
2.3.2. Residuos inorgánicos	43
2.3.3. Caucho granular.....	45

2.3.4. Aserrín	48
2.3.5. Cantera.....	50
2.3.6. Suelo y suelo granular	51
2.3.7. Propiedades físicas del suelo	57
2.3.8. Propiedades mecánicas del suelo.....	60
2.3.9. Afirmado.....	63
2.3.10. Subbase granular.....	64
2.3.11. Base granular	65
2.4. Hipótesis.....	66
2.4.1. Hipótesis general	66
2.4.2. Hipótesis específicas.....	66
2.5. Operacionalización de variables	67
2.5.1. Variable independiente: Residuos orgánicos (Aserrín) e Inorgánicos (Caucho granular).....	67
2.5.2. Variable dependiente: Material de afirmado	67
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	69
3.1. Tipo y nivel de investigación	69
3.2. Diseño de investigación	70
3.3. Métodos de investigación.....	70
3.4. Población, muestra y muestreo	72
3.4.1. Población	72
3.4.2. Muestreo	74
3.4.3. Muestra	77
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	79
3.5.1. Técnicas de recolección de datos.....	79
3.5.2. Instrumentos para la recolección de datos	79
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	80
3.6.1. Proceso de ejecución de la investigación.....	80
3.6.2. Procesamiento y presentación de resultados.....	93
3.6.3. Análisis e interpretación de resultados	93
3.7. Aspectos éticos	93

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	94
4.1. Descripción de resultados	94
4.1.1. Propiedades del suelo de la cantera Rejopampa Alto, Chota.	94
4.1.2. Propiedades del suelo con 1%, 5% y 10% de aserrín	98
4.1.3. Propiedades del suelo con 1%, 5% y 10% de caucho granular	114
4.1.4. Comparación de las propiedades físicas y mecánicas del material granular con aserrín y caucho granular.....	131
4.1.5. Verificación del cumplimiento de los requisitos técnicos del material granular con aserrín y caucho granular para su uso como afirmado, subbase y base granular	141
4.2. Contrastación de hipótesis.....	149
4.3. Discusión de resultados.....	157
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	174
5.1. Conclusiones	174
5.2. Recomendaciones y/o sugerencias	176
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS	178
CAPÍTULO VII. ANEXOS	189
Anexo A. Matriz de consistencia.....	189
Anexo B. Ficha técnica y cotización del caucho granular.....	190
Anexo C. Resultado de ensayos de laboratorio	194

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Composición de un Neumático	47
Tabla 2	Categoría del Suelo según IP	59
Tabla 3	Categoría del Suelo según EA.....	59
Tabla 4	Gradación y Características Técnicas del Material para Afirmado.....	63
Tabla 5	Gradación para Subbase Granular	64
Tabla 6	Características Técnicas de una Subbase Granular	64
Tabla 7.	Gradación y Características Técnicas de Base Granular.....	65
Tabla 8	Operacionalización de Variables.....	68
Tabla 9	Tipo de Investigación según Criterios.....	69
Tabla 10	Características de la Cantera Rejopampa Alto	73
Tabla 11	Criterios de Inclusión y Exclusión del Sitio de Extracción: Cantera	74
Tabla 12	Criterios de Inclusión y Exclusión del Material a Utilizar: Suelo Granular de Cantera	75
Tabla 13	Criterios de Inclusión y Exclusión de los Aditivos a Incorporar.....	75
Tabla 14	Criterios de Inclusión y Exclusión de las Dosificaciones	76
Tabla 15	Criterios de Inclusión y Exclusión de las Muestras a Preparar en Laboratorio.....	76
Tabla 16	Número Ensayos de Laboratorio en el Suelo granular con Residuos Orgánicos	77
Tabla 17	Número Ensayos de Laboratorio en el Suelo granular con Residuos Inorgánicos.....	78
Tabla 18	Propiedades Físico mecánicas del Caucho Granular.....	80
Tabla 19	Ubicación de Algunas Carpinterías de Chota 2024.....	82
Tabla 20	Dosificaciones de Combinación de Suelo con Aserrín y Caucho Granular	84
Tabla 21	Propiedades del Suelo Natural	95
Tabla 22	Propiedades del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto con Aserrín	100
Tabla 23	Granulométrica de la Subbase Granular con Aserrín.....	101
Tabla 24	Contenido de Humedad del Suelo con Aserrín	103
Tabla 25	Límites de Consistencia del Suelo con Aserrín.....	104
Tabla 26	Límite Líquido del Suelo con Aserrín.....	105
Tabla 27	Límite Plástico del Suelo con Aserrín.....	106
Tabla 28	Índice de Plasticidad del Suelo con Aserrín.....	107
Tabla 29	Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo con Aserrín	108
Tabla 30	CBR al 100% MDS del Suelo con Aserrín	108
Tabla 31	CBR al 95% MDS del Suelo con Aserrín	108
Tabla 32	Compactación del Suelo con Aserrín	110
Tabla 33	Máxima Densidad Seca del Suelo con Aserrín	111

Tabla 34 Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Aserrín.....	111
Tabla 35 Desgaste por Abrasión del Suelo con Aserrín.....	113
Tabla 36 Propiedades del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto con Caucho Granular.....	117
Tabla 37 Granulometría del Suelo de la Cantera Rejopampa con Caucho Granular.....	118
Tabla 38 Contenido de Humedad del Suelo con Caucho.....	120
Tabla 39 Límites de Plasticidad del Suelo con Caucho.....	121
Tabla 40 Límite Líquido del Suelo con Caucho.....	122
Tabla 41 Límite Plástico del Suelo con Caucho.....	123
Tabla 42 Índice de Plasticidad del Suelo con Caucho.....	124
Tabla 43 Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo con Caucho.....	125
Tabla 44 CBR al 100% MDS del Suelo con Caucho.....	125
Tabla 45 CBR al 95% MDS del Suelo con Caucho.....	125
Tabla 46 Compactación del Suelo con Caucho.....	127
Tabla 47 Máxima Densidad Seca del Suelo con Caucho.....	128
Tabla 48 Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Caucho.....	129
Tabla 49 Desgaste por Abrasión del Suelo con Caucho Granular.....	130
Tabla 50 Humedad del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular.....	131
Tabla 51 Límite Líquido del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho.....	132
Tabla 52 Límite Plástico del Material Granular con Aserrín y Caucho Granular.....	133
Tabla 53 Índice de Plasticidad del Material Granular con Aserrín y Caucho Granular.....	134
Tabla 54 Máxima Densidad Seca del Material Granular de Aserrín y Caucho Granular.....	135
Tabla 55 Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Aserrín y Caucho Granular.....	136
Tabla 56 Desgaste a Abrasión del Material Granular con Aserrín y Caucho Granular.....	137
Tabla 57 CBR al 95% MDS del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular.....	139
Tabla 58 CBR al 100% MDS del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular.....	139
Tabla 59 Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Aserrín para Afirmado con el MTC (2014).....	141
Tabla 60 Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Aserrín para Subbase Granular con la EG-2013 (MTC, 2015).....	142
Tabla 61 Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Aserrín para Base Granular con la norma CE.010 (MVCS, 2010).....	142
Tabla 62 Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Caucho para Afirmado con el MTC (2014).....	145
Tabla 63 Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Caucho para Subbase Granular con la EG-2013 (MTC, 2015).....	146

Tabla 64 Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Caucho para Base Granular con la norma CE.010 (MVCS, 2010).....	146
Tabla 65 Propiedades Físico Mecánicas del Suelo para el Análisis Estadístico	149
Tabla 66 Correlación de Pearson Calificación.....	152
Tabla 67 Correlaciones del Afirmado de la Cantera Rejopampa Alto con Aserrín	153
Tabla 68 Correlaciones del Afirmado de la Cantera Rejopampa Alto con Caucho Granular. 153	
Tabla 69 Prueba ANOVA para las Propiedades Físico Mecánicas del Suelo.....	154
Tabla 70 Prueba t-student para Límite Líquido del Suelo con Adición de Residuos Orgánicos e Inorgánicos.....	155
Tabla 71 Prueba t-student para Índice de Plasticidad del Suelo.....	156
Tabla 72 Prueba t-student para Porcentaje de Desgaste por Abrasión del Suelo	156
Tabla 73 Prueba t-student para CBR del Suelo.....	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Sostenibilidad: Análisis de Dimensiones Social, Ambiental y Económico.....	36
Figura 2	Fases del Suelo: Sólido, Líquido (Agua), Gaseoso (Vacíos).....	37
Figura 3	Residuos Orgánicos Comunes	42
Figura 4	Tamaños de Caucho Granulado según la Norma ASTM D6270-17	45
Figura 5	Proceso de Producción de Caucho Granulado	46
Figura 6	Tipos de Canteras	51
Figura 7	(a)Fases del suelo y (b) Escala de Tamaño.....	52
Figura 8	Tipos de Suelos.....	52
Figura 9	Clasificación de Suelos basada en AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282.....	55
Figura 10	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	56
Figura 11	Curva Granulométrica	57
Figura 12	Límites de Consistencia de Atterberg.....	58
Figura 13	Curva de Compactación.....	60
Figura 14	Curva de Compactación para Diferentes Tipos de Suelo	61
Figura 15	Modelo de Curva CBR	62
Figura 16	Diseño de Investigación Experimental con Grupo de Control	71
Figura 17	Ubicación de la Cantera Rejopampa Alto.....	73
Figura 18	Cantera Rejopampa Alto.....	78
Figura 19	Granulometría del Caucho Granular.....	80
Figura 20	Caucho Granular Comercial Adquirido para el Estudio	81
Figura 21	Máquina Encargada del Proceso de Trituración de Neumáticos Fuera de Uso	81
Figura 22	Aserrín Obtenido de las Carpinterías en Chota.....	82
Figura 23	Cantera Rejopampa Alto y Proceso de Recolección del Suelo Granular	83
Figura 24	Combinaciones de Suelo con los Aditivos	84
Figura 25	Realización de Ensayos de Laboratorio con Apoyo de los Técnicos	85
Figura 26	Realización del Ensayo de Granulometría en el Suelo con Aserrín	86
Figura 27	Realización del Ensayo de Límite Líquido.....	88
Figura 28	Realización del Ensayo de Límite Plástico.....	89
Figura 29	Realización del Ensayo de Compactación: Proctor Modificado.....	90
Figura 30	Realización del Ensayo de CBR de Laboratorio	91
Figura 31	Realización del Ensayo de Abrasión Los Ángeles	92
Figura 32	Curva Granulométrica del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto	96
Figura 33	Curva de Fluidez del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto.....	96
Figura 34	Curva de Compactación del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto	97

Figura 35 Curva CBR del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto	97
Figura 36 Curva Granulométrica del Suelo con Aserrín – Gradación A-1 para Afirmado.....	102
Figura 37 Curva Granulométrica del Suelo con Aserrín – Gradación B para Base Granular..	102
Figura 38 Curva de Fluidez del Suelo con Aserrín	104
Figura 39 Límite Líquido del Suelo con Aserrín	105
Figura 40 Límite Plástico del Suelo con Aserrín	106
Figura 41 Índice de Plasticidad del Suelo con Aserrín	107
Figura 42 CBR al 100% MDS del Suelo con Aserrín.....	109
Figura 43 CBR al 95% MDS del Suelo con Aserrín.....	109
Figura 44 Curva de Compactación del Suelo con Aserrín	110
Figura 45 Máxima Densidad Seca del Suelo con Aserrín.....	112
Figura 46 Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Aserrín	112
Figura 47 Desgaste por Abrasión del Suelo con Aserrín	113
Figura 48 Curva Granulométrica del Suelo con Caucho Granular – Huso A-1 para Afirmado	119
Figura 49 Curva Granulométrica del Suelo con Caucho Granular – Huso B para Base Granular	119
Figura 50 Curva de Plasticidad del Suelo con Caucho	121
Figura 51 Límite Líquido del Suelo con Caucho	122
Figura 52 Límite Plástico del Suelo Natural con Caucho	123
Figura 53 Índice de Plasticidad del Suelo con Caucho	124
Figura 54 CBR al 100% MDS del Suelo con Concreto	126
Figura 55 CBR al 95% MDS del Suelo con Caucho.....	126
Figura 56 Curva de Compactación del Suelo con Caucho.....	127
Figura 57 Máxima Densidad Seca del Suelo con Caucho	128
Figura 58 Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Caucho	129
Figura 59 Desgaste por Abrasión del Suelo con Caucho Granular.....	130
Figura 60 Humedad del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular.....	131
Figura 61 Límite Líquido del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho.....	132
Figura 62 Límite Plástico del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular.....	133
Figura 63 Índice de Plasticidad del Material Granular con Aserrín y Caucho Granular	134
Figura 64 Máxima Densidad Seca del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular.....	135
Figura 65 Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Aserrín y Caucho Granular	136
Figura 66 Desgaste a Abrasión del Material Granular con Aserrín y Caucho Granular.....	137
Figura 67 CBR al 95% MDS del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular	140

Figura 68 CBR al 100% MDS del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular	140
Figura 69 Verificación del Límite Líquido del Suelo con Aserrín.....	143
Figura 70 Verificación del Índice de Plasticidad del Suelo con Aserrín.....	143
Figura 71 Verificación del Porcentaje de Desgaste del Suelo con Aserrín.....	144
Figura 72 Verificación del CBR del Suelo con Aserrín.....	144
Figura 73 Verificación del Límite Líquido del Suelo con Caucho	147
Figura 74 Verificación del Índice Plástico del Suelo con Caucho.....	147
Figura 75 Verificación del Porcentaje de Desgaste del Suelo con Caucho.....	148
Figura 76 Verificación del CBR del Suelo con Caucho.....	148
Figura 77 Prueba de Normalidad para las Propiedades del Suelo con Aserrín.....	151
Figura 78 Prueba de Normalidad para las Propiedades del Suelo con Caucho Granular.....	151

SIGLAS Y ABREVIATURAS

AASHTO	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes
ASTM	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
CBC	Bases granulares aglomeradas con cemento
CBR	Capacidad de soporte
CR	Caucho triturado
EG-2013	Manual de Especificaciones Técnicas Generales de la Construcción
EPIC	Escuela Profesional de Ingeniería Civil
GSB	Subbase granular con caucho triturado
IP	Índice de plasticidad
INACAL	Instituto Nacional de Calidad
LL	Límite líquido
LP	Límite plástico
OCH	Óptimo contenido de humedad
MDS	Máxima densidad seca
MPCH	Municipalidad Provincial de Chota
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
NFU	Neumáticos fuera de uso
NTP	Norma Técnica Peruana
RSM	Mezclas de caucho granulado y suelo
SDA	Ceniza de aserrín
SUCS	Sistema de Clasificación Unificado de Suelos

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) en el material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, Chota, para elaborar una base granular que cumpla con los requisitos técnicos de la EG-2013 (MTC, 2015). La metodología incluyó enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y nivel descriptivo correlacional, utilizando diseño experimental con grupo de control. Se realizaron pruebas en muestras de suelo natural y mezclas con 1%, 5% y 10% de aserrín y caucho granular por separado. Los resultados mostraron que el suelo natural presenta índice de plasticidad (10.77%) superior al permitido para material de afirmado, aunque cumple con los valores de capacidad de soporte (CBR) con 69.81%. La adición de aserrín aumentó el límite líquido, disminuyó la plasticidad y aumentó la densidad seca, afectando negativamente la capacidad de soporte a porcentajes superiores al 1%; siendo el CBR al 100% de Máxima Densidad Seca (MDS) del suelo con 1%, 5% y 10% de aserrín 74.20%, 64.41% y 24.29%, respectivamente. El caucho granular, por otro lado, redujo el índice de plasticidad y mejoró la capacidad de soporte hasta un 1% de adición, pero disminuyó significativamente a mayores porcentajes, siendo el CBR al 100% de Máxima Densidad Seca (MDS) del suelo con 1%, 5% y 10% de caucho granular 70.44%, 58.68% y 25.46%, respectivamente. Concluyó que el suelo de la cantera Rejopampa Alto, con hasta 5% de adición de aserrín o caucho granular, es apto para afirmado, pero no cumple con las normativas para ser utilizado como subbase o base granular, según la EG-2013.

Palabras clave: Propiedades físicas, propiedades mecánicas, capacidad de soporte, material granular, suelo.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the addition of organic (sawdust) and inorganic (granular rubber) residues in the aggregate material from the Rejopampa Alto quarry, Chota, to produce a granular base that complies with the technical requirements of the EG-2013 (MTC, 2015). The methodology included quantitative approach, applied type and descriptive correlational level, using experimental design with control group. Tests were conducted on samples of natural soil and mixtures with 1%, 5% and 10% sawdust and granular rubber separately. The results showed that the natural soil has a plasticity index (10.77%) higher than that allowed for paving material, although it complies with the bearing capacity values (CBR) with 69.81%. The addition of sawdust increased the liquid limit, decreased the plasticity and increased the dry density, negatively affecting the bearing capacity at percentages higher than 1%; the CBR at 100% MDS of the soil with 1%, 5% and 10% sawdust was 74.20%, 64.41% and 24.29%, respectively. Granular rubber, on the other hand, reduced the plasticity index and improved the bearing capacity up to 1% addition, but decreased significantly at higher percentages, with the CBR at 100% MDS of the soil with 1%, 5% and 10% granular rubber being 70.44%, 58.68% and 25.46%, respectively. It was concluded that the soil from the Rejopampa Alto quarry, with up to 5% addition of sawdust or granular rubber, is suitable for paving, but does not comply with the regulations for use as a subbase or granular base, according to the EG-2013.

Key words: Physical properties, mechanical properties, bearing capacity, granular material, soil.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El uso de bases y subbases tratadas o estabilizadas mediante métodos físicos, mecánicos o químicos ha sido ampliamente recomendado en la construcción de pavimentos. Amulya & Shankar (2020) señalan que estos tratamientos pueden incrementar el valor del CBR hasta en 45% respecto al suelo natural, dependiendo del tipo de aditivo y método utilizado. Nnochiri et al. (2017) afirman que la estabilización permite reducir la plasticidad del suelo en más del 50%, mejorando su resistencia mecánica a corto y largo plazo.

Para mejorar las bases granulares también se pueden utilizar materiales residuales. Según Fenner et al. (2024), aproximadamente el 30% de los residuos sólidos urbanos pueden reutilizarse en aplicaciones geotécnicas, entre ellos los residuos de caucho y aserrín. Narayanamoorthy et al. (2024) clasifican estos residuos en orgánicos (como el aserrín) e inorgánicos (como el caucho granular), señalando que su uso combinado con suelos puede modificar significativamente las propiedades físicas y mecánicas del material tratado.

La acumulación de desechos de caucho ha emergido como una preocupación mundial. De acuerdo con Tabasum et al. (2023), cada año se generan más de 1,500 millones de neumáticos desechados a nivel global, y menos del 40% son reciclados de manera efectiva. Las exigencias ambientales han motivado el estudio de su reutilización. Peláez et al. (2017) reportan que la incorporación de caucho triturado en suelos arcillosos puede incrementar el CBR hasta en un 60%, dependiendo del tipo de suelo y del porcentaje de adición.

Saparudin et al. (2022), Elhakim et al. (2022) y Tabasum et al. (2023) respaldan la eficacia del caucho en la estabilización, destacando que su uso puede reducir la expansión superficial del suelo en más de un 30%; no obstante, enfatizan que el efecto del caucho granular varía según la granulometría del suelo y la proporción de aditivo utilizado.

En paralelo, las industrias madereras generan diariamente grandes cantidades de aserrín. Según la FAO, se estima que a nivel mundial se producen más de 300 millones de toneladas de residuos de madera anualmente. Según Nezami & Kharaghani (2018) este residuo tiene un efecto significativo en la reducción plástica y el aumento del CBR del suelo. Edeh et al. (2014) reportan que el aserrín, utilizado como aditivo, ha logrado reducir la plasticidad del suelo hasta en 40%, mientras que Karim et al. (2018) evidenciaron un incremento del CBR de 7% a 18% en suelos tratados con ceniza de aserrín. No obstante, Singh et al. (2019) advierten que la efectividad del tratamiento con aserrín depende del tipo de suelo y del contexto geotécnico local.

En Perú, a pesar de las altas inversiones que se realizan en carreteras, la estructura de la capa de rodadura generalmente no soporta el período de tiempo para el que se ha construido, por lo que es necesario buscar nuevos métodos de estabilización para los materiales empleados en la elaboración de pavimentos (Chipana & Chipana, 2024).

En la región Cajamarca, el cumplimiento de las especificaciones de la capa granular dados en la EG-2013 no siempre se obtiene a través de las fuentes disponibles, lo que, ha llevado a la búsqueda continua de nuevos materiales o tratamientos estabilizantes (Huaman & Ydrogo, 2024). Pero, de acuerdo a investigaciones internacionales se ha constatado que, el uso de residuos como el

aserrín y/o caucho granular son alternativas viables, que pueden lograr estabilizar el suelo en infraestructura vial (Ahmed & Purnanandam, 2019); sin embargo, es necesario validar dicha información para cada localidad, debido a que, las características del suelo determinaron la viabilidad del uso de dichos residuos, y en cada localidad las características del suelo son variables.

La superficie natural de las carreteras de la ciudad de Chota, generalmente presenta límites de plasticidad elevados y CBR por debajo de 10% (Idrogo, 2022), además de un potencial alto de expansibilidad, razón por la que amerita la colocación de material de afirmado para caminos con poco tráfico vehicular, y a nivel de subbase y base para vías con tráfico vehicular superior a 400 veh/día (MTC, 2018). Sin embargo, muchas veces el material granular que se ha colocado en las vías no satisface las condiciones requeridas mínimas para subbase o base granular dadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014). Esto se debe a que los suelos son elevadamente plásticos (Ticlla, 2021), razón que demanda el mejoramiento de los mismos.

La cantera Rejopampa Alto, es una cantera de material granular para afirmado de carreteras que cumple con los requisitos técnicos para su uso como afirmado en cuanto a gradación y CBR, pero que requiere de la incorporación de aditivos para disminuir la plasticidad del suelo (Ticlla, 2021). Esta alta plasticidad implica que, al ser utilizado como material de afirmado se experimentan problemas de estabilidad, especialmente en épocas de lluvia, donde el suelo se vuelve más susceptible a deformaciones permanentes y a la generación de baches; pero a pesar de ello, el material de este banco de préstamo se emplea en la formación de la capa de rodadura de las vías adyacentes sin algún mejoramiento o tratamiento previo (Fernández-Irigoín & Ticlla-Ríos, 2020).

Dado este problema identificado por Tiella (2021), surge la necesidad de encontrar una solución que mejore las características mecánicas del material de afirmado. En este sentido, la incorporación de aserrín y caucho granular ofrece una posible alternativa para reducir la plasticidad del suelo y aumentar su resistencia, durabilidad y capacidad portante. No obstante, es esencial evaluar las proporciones adecuadas de mezcla y su comportamiento en las condiciones locales de Chota, donde la variabilidad climática y las cargas de tráfico representan desafíos adicionales.

Jasim & Cetin (2016) demostraron que el uso de aserrín en suelos puede aumentar la resistencia al corte en un 35% y reducir el índice plástico en más de un 25%. Sin embargo, estos estudios fueron aplicados a cimentaciones, no a bases granulares. Así mismo, Bustamante (2023) llevó a cabo un estudio experimental sobre la estabilización de suelos con caucho granular también aplicado a cimentaciones, encontrando resultados favorables en el aumento de la resistencia al corte del suelo, pero también, se desconoce su efecto al utilizarlo en el tratamiento de bases granulares. Por ello, y considerando la duración temporal de los residuos orgánicos (aserrín), y prolongada de los residuos inorgánicos (Caucho granular), es pertinente comparar cuál de estos residuos puede lograr una mayor mejora del CBR del suelo.

Siendo así, la investigación tiene la finalidad de evaluar la adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) en el material extraído de la cantera Rejopampa Alto, Chota, para elaborar una base granular que se ajuste a los requisitos técnicos establecidos en la EG-2013 (MTC, 2015).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye la adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) en las características del material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, Chota y en qué medida estas mejoras cumplen con los requisitos técnicos de la EG-2013 para su uso en la superficie de la infraestructura vial?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, Chota?
- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, con 1%, 5%, 10% de aserrín?
- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, con 1%, 5% y 10% de caucho granular?
- ¿En qué se diferencian las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto con la adición de aserrín y caucho granular por separado?
- ¿Cumple el suelo de la cantera Rejopampa Alto, con la adición de aserrín y caucho granular por separado, los requisitos técnicos establecidos en la EG-2013 para su empleo como material de afirmado, subbase y/o base granular?

1.3. Justificación

Es común que al buscar fuentes de material granular éstas no cumplan con los requisitos del MTC (MTC, 2014) o la EG-2013 (MTC, 2015), razón por la que para la formación de bases y subbases se realizan mezclas de material granular, pero en ocasiones no existen canteras cercanas para ser combinadas o las canteras próximas también presentan iguales características haciendo imposible la mezcla granular. Frente a este problema se propuso el mejoramiento del suelo de la cantera Rejopampa Alto, con materiales residuales que abundan en la ciudad de Chota, como el “aserrín” y el “caucho granular”. Residuos que en la actualidad no tienen una disposición final adecuada, solo son depositados en chacras, botaderos u en las mismas zonas de extracción maderera en el caso del aserrín, lo que genera contaminación ambiental, por las micropartículas del aserrín en polvo; y ubicados en las áreas periféricas de la ciudad en el caso de los neumáticos fuera de uso de los que, se obtiene el caucho granular.

1.3.1. Justificación Científica

La investigación generó conocimiento científico inédito para el estudio de nuevos materiales que pueden ser utilizados como afirmado, base y subbase en el distrito de Chota. La información que se obtuvo tiene la calidad científica, por tanto, puede ser indexada o presentada en revistas científicas. Además, se generó un estado de valor adicional a un material de afirmado que puede mejorar sus características como subbase o base granular.

La investigación es original en el medio local y nacional no existen investigaciones que apliquen el polvo de aserrín y/o residuos de caucho granular en el mejoramiento del suelo para infraestructura vial. En el repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, existen diversas investigaciones en las

que se utilizó aserrín para optimizar las propiedades mecánicas del terreno utilizado en la producción de ladrillos, no obstante, no existen investigaciones en las que, haya aplicado este componente para mejorar el suelo en carreteras, además, los resultados positivos de las mismas hicieron pensar que, se pueden encontrar resultados favorables de la aplicación del aserrín en el campo de la ingeniería vial. Así mismo, los estudios de Chávez (2023) que, si bien no está orientado al uso de caucho granular sino longitudinal para formar geo celdas, y de Bustamante (2023) que, aplicó restos de caucho procesado para optimizar la calidad del suelo de cimentación, sirvieron de referente sobre como el uso de caucho granular pudo servir de estabilizante, mejorando el suelo de cantera.

1.3.2. *Justificación Técnica*

Los caminos y carreteras cuyo material de rodadura no cumple con las exigencias técnicas, se convierten en caminos intransitables, debido a capas de rodadura con fallas por ondulamientos, erosión, deformaciones, baches, lodazal entre otros rasgos de deterioro (Idrogo, 2022), lo que dificulta el libre tránsito vehicular. Para evitar esta problemática se propuso el uso de polvo de aserrín y/o residuos de caucho granular en el material de afirmado de una de las canteras de mayor uso en la zona sureste de Chota, como es la cantera Rejopampa Alto.

La investigación buscó mejorar el comportamiento físico-mecánico del material granular del suelo utilizado como afirmado de las vías de tercera clase, especialmente en las rutas cercanas a la carretera departamental Chota – Cajamarca, debido a que son las carreteras cuyo tráfico vehicular se vio incremento pues conecta a la vía principal 3N. En dicho trayecto se encontró la cantera Rejopampa Alto, cantera cuyo material puede ser utilizado para la superficie de rodadura de carreteras cercanas, siempre y cuando se demuestre que

al ser mejorada cumple con los estándares para subbase y base granular dados en la EG-2013 (MTC, 2015). Por tanto, los hallazgos de la investigación pueden ser empleados por ingenieros civiles, consultores, autoridades locales y diferentes interesados en el ámbito de la infraestructura de carreteras.

Además, la utilización de un residuo industrial como el aserrín y/o caucho granular para la mejora de la superficie granular de una cantera brinda una disposición final adecuada para este material de desecho generando efectos positivos en el ambiente.

1.4. Delimitación de la investigación

Delimitación espacial: La investigación se realizó en la cantera Rejopampa Alto, ubicada en la provincia de Chota, región Cajamarca, Perú. Esta cantera fue seleccionada debido a su relevancia como fuente de material granular para obras viales y su proximidad a la zona de estudio, permitiendo un análisis detallado de sus propiedades geotécnicas.

Delimitación temporal: Durante el período comprendido entre enero y diciembre del año 2023.

Delimitación temática: La investigación se centró en evaluar el efecto de la adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la cantera Rejopampa Alto, con el objetivo de determinar su viabilidad como material de afirmado, subbase y/o base granular. Se analizaron parámetros como la granulometría, humedad, límites de consistencia, densidad, capacidad de soporte (CBR) y resistencia a la abrasión, comparando los resultados obtenidos con los requisitos técnicos establecidos en la normativa EG-2013 (MTC, 2015) y la norma CE.010 (MVCS, 2010). La investigación se enfocó exclusivamente en el comportamiento del suelo con

adición de aserrín y caucho granular en diferentes proporciones (1%, 5% y 10% determinadas en base a los antecedentes de la investigación) por separado, excluyendo el uso de otros estabilizadores o métodos de mejoramiento del suelo.

1.5. Limitaciones

Existe una carencia de investigaciones previas específicas sobre el uso de residuos orgánicos e inorgánicos en materiales de afirmado en la región de Cajamarca, lo que limita el marco de referencia teórico y comparativo para evaluar los resultados obtenidos en el contexto local.

El laboratorio de mecánica de suelos de la EPIC - UNACH no cuenta con equipos para realizar ciertos ensayos, como el ensayo de equivalente de arena, lo que impidió evaluar adecuadamente la cantidad de material fino (limo y arcilla) y su efecto sobre la estabilidad y capacidad de soporte del suelo.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Evaluar la adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) en material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, Chota, para elaborar una base granular que, cumpla con los requisitos técnicos de la EG-2013 (MTC, 2015).

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, Chota.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, con 1%, 5%, 10% de aserrín.

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, con 1%, 5% y 10% de caucho granular.
- Comparar las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto con la adición de aserrín y caucho granular por separado.
- Verificar el cumplimiento de los requisitos técnicos de la EG-2013 del suelo de la cantera Rejopampa Alto con la adición de aserrín y caucho granular por separado para su uso como material de afirmado, subbase y/o base granular.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Zvonarić et al. (2024) en su estudio “Efecto de los gránulos de caucho y de los hilos de caucho sobre las propiedades mecánicas de las capas de base aglomeradas con cemento” tuvieron como objetivo analizar el efecto del caucho granular y en hilos sobre las propiedades de bases granulares aglomeradas con cemento (CBC). Examinaron mezclas de grava y arena estabilizadas con diferentes contenidos de cemento y caucho, incluidas las mezclas de referencia y aquellas con caucho granulado o hilos de caucho, un total de 17 mezclas. Los resultados indican la viabilidad de utilizar caucho de desecho en CBC, con la mezcla óptima que contiene 5% de cemento y 20% de caucho como reemplazo de arena que muestra una resistencia a la compresión satisfactoria (3.01 MPa) para la aplicación como capa base, rigidez reducida, CBR aumentado hasta en 52.99% y contracción mínima en comparación con otras mezclas.

Parayil & Salini (2024) en su investigación “Estabilización de suelos lateríticos débiles con aserrín, ceniza y cal” tuvieron como objetivo analizar la eficacia de utilizar materiales de desecho, específicamente ceniza de aserrín (SDA) y cal, para mejorar las propiedades de resistencia y plasticidad de suelos lateríticos problemáticos. Determinaron que la introducción tanto de SDA como de cal tuvo un impacto positivo en la trabajabilidad del suelo. Se observó que la densidad seca máxima (MDS) del suelo disminuyó con la adición de SDA, mientras que el contenido de humedad óptimo (OCH) aumentó. La incorporación combinada de SDA y cal produjo mejoras notables en el CBR del suelo de hasta

50%. Concluyeron que, un contenido de SDA del 8% y un contenido de cal del 4% es la concentración óptima para estabilizar el suelo laterítico.

Salcedo et al. (2024) en su investigación “Análisis mecánico y medioambiental de una subbase granular con caucho fino” tuvieron como objetivo evaluar la influencia del caucho triturado (CR) en el comportamiento mecánico de una subbase granular (GSB) mediante la sustitución del CR fino al 10% y al 15%. Los resultados de resistencia indican una tendencia decreciente a medida que aumenta el contenido de CR en el GSB. Concretamente, en los ensayos de abrasión, el material natural mostró un resultado medio del 30.86%, mientras que las mezclas con 10% y 15% de CR superaron el límite máximo (50%), alcanzando resultados del 59.24% y 53.98%, respectivamente. En cuanto al CBR, sólo las muestras naturales compactadas a máxima energía superaron los requisitos mínimos para niveles de tráfico bajo y medio (30%). El valor más alto de CBR para las muestras que contenían CR fue del 5%, mientras que el GSB natural alcanzó un CBR máximo del 33%. Concluyeron que, técnicamente el uso de caucho granular si bien reduce la expansión del suelo granular, no es viable para ese tipo de suelos debido a que, reduce su capacidad mecánica.

Zvonarić (2023) en su estudio “Influencia de la cantidad de aglutinante y caucho granulado en las propiedades mecánicas de mezclas estabilizadas” tuvo como objetivo determinar la influencia del caucho granulado en las propiedades mecánicas de mezclas de base y subbase. Examinó los elementos Proctor, la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción indirecta, la compacidad y el CBR del material granular. Los resultados obtenidos muestran que se puede utilizar cantidades relativamente pequeñas de caucho (5%) en mezclas CBC. El caucho tiene un efecto decreciente sobre los elementos Proctor máximos (OCH y

MDS), la resistencia a la compresión y a la tracción, mientras que tiene un efecto creciente sobre la compacidad y la capacidad de soporte (CBR).

Median-Martínez et al. (2023) en su estudio “Uso de fibras de aserrín para reforzar el suelo: una revisión” tuvieron como objetivo realizar una revisión bibliográfica para analizar el uso de fibras de aserrín para reforzar el suelo. El aserrín, en forma de polvo y virutas, se puede utilizar para fabricar compuestos de construcción con un alto módulo de elasticidad, absorción de agua y características de resistencia. Mientras que, el polvo de aserrín por sí mismo tiene poco valor cementante, pero en presencia de humedad del medio, puede reaccionar químicamente y formar ciertos compuestos cementantes, a los que se puede atribuir la mejora de las propiedades de resistencia, CBR y compresibilidad de los suelos. La adición de 2.5% a 15% de aserrín mostró una disminución en el índice de plasticidad, un aumento en el valor del CBR hasta 40%, y en el contenido de humedad óptimo (OCH). Concluyeron que, las diversas ventajas de las fibras de aserrín son su baja densidad, bajo costo, bajo consumo de energía, propiedades mecánicas comparables y además mejor elasticidad que los compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales.

Wu et al. (2023) en su investigación “Micromecánica de mezclas de caucho granulado y suelo como sustituto rentable de rellenos geotécnicos” tuvieron como objetivo evaluar las mezclas de caucho granulado y suelo (RSM) como sustituto rentable para rellenos geotécnicos. Determinaron que, las partículas de caucho son altamente deformables y llenan los huecos más fácilmente que las partículas de arena más rígidas. Esto contribuye a la alta fricción de las interfaces arena-caucho, que retrasa o incluso inhibe el movimiento relativo y el volteo de las partículas de arena. Por ello, concluyeron que, los RSM

con un contenido volumétrico de caucho del 30-40% son óptimos en el sentido de que la cadena de fuerza aumenta monótonamente con la deformación axial con una relación carga-deformación estable, además de que, el CBR aumenta crecientemente siendo mayor al 40%.

2.1.2. Antecedentes nacionales

A nivel nacional, no existen investigaciones que utilicen los residuos del caucho granular o el aserrín para el mejoramiento de material de cantera, pero sí existen estudios en los que han aplicado estos residuos industriales para el mejoramiento del suelo de subrasantes, siendo así, se han tomado dichos estudios como referentes para la comparación de los resultados alcanzados.

Gonzales (2024) en su estudio “Mejoramiento de subrasantes arcillosas incorporando agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín en avenida Venezuela, José Leonardo Ortiz” tuvo como objetivo analizar las propiedades del suelo arcilloso con adición de agregados asfálticos reciclados (CAR) y cenizas de aserrín (CDA) en la Av. Venezuela en José Leonardo Ortiz. Analizó el suelo con 4% y 8% de CDA, y 50%, 60% y 70% de CAR. Determinó que, la humedad de la ceniza de aserrín era 0.45% con una densidad de 2.13 g/m³, el suelo natural presentaba LL, LP e IP de 49%, 28% y 21%, respectivamente, pero al incorporar 50% de CAR y 4% y 8% de CDA se obtuvo IP de 19% y 21%, con 60% CAR y 4% y 8% de CDA obtuvo 21% y 20% IP, y con 70% CAR y 4% y 8% de CDA obtuvo 17% y 15% IP, respectivamente. El CBR del suelo natural de la calicata 1, 2 y 3 era al 95% MDS 3%, 3% y 2.9%, este incrementaba hasta 9.5%, 7.70%, y 9.4% respectivamente, al utilizar 70% CAR y 4% CDA. Concluyó que, la dosificación más adecuada a 70% CAR y 4% CDA, debido a que, logró disminuir el IP de 18% a 17%, la MDS aumentó de 2.33 a 3.24 veces, obteniendo

1.93 g/cm³, y el CBR al 95% MDS aumentó de 2.23 a 3.24 veces, alcanzando 9.5%.

Palacios & Villanueva (2023) en su investigación “Mejoramiento de la subrasante arcillosa adicionando caucho granular de neumáticos reciclados, en el km 5 de la carretera Santo Tomás, en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto - 2023” El presente estudio tiene como objetivo principal establecer la influencia que tiene la adición del caucho granular en la subrasante de una carretera conformada por suelo arcilloso, de baja capacidad de soporte, ubicado en el km 5 de la carretera Santo Tomás, en el distrito de San Juan Bautista, departamento de Loreto. Durante las pruebas iniciales, se obtuvo que la arcilla, según la clasificación SUCS, presenta valores de CBR, tanto para la condición alterada, de 6.5%; y en su composición natural, de 5.9%. Es por ello, que uno de los propósitos es también utilizar este material como un agente de mejoramiento e indirectamente la investigación aporta para preservar y salvaguardar el medio ambiente.

Cosar (2023) en su investigación “Estabilización de suelos arcillosos usando caucho granular de neumático para fines de carreteras no pavimentadas” tuvo como objetivo mejorar el suelo arcilloso adicionando caucho granular en la subrasante de la carretera Túcume – Cachinche, Lambayeque. Realizaron seis calicatas y al suelo de las mismas, adicionaron 5%, 10%, 15% y 20% de caucho granular, determinando que, el suelo natural de las calicatas 1, 2, 4 y 6 se clasificó como arcilla de baja plasticidad, mientras que, la calicata 3 y 4 corresponden a arena limosa, con OCH de 15.5% a 16.16%, MDS de 1.771 a 1.821 g/cm³, y CBR al 95% MDS 4.3% a 5.3% y al 100% MDS de 5.3% a 5.9%, siendo en promedio, 5.6%, por lo que, en promedio verificó que aumentó su CBR a 6.6% al utilizar 5%

de caucho granular, pero cuando este porcentaje era mayor el CBR decrecía siendo en promedio 3.1%, 2.5% y 1.5%, para 10%, 15% y 20%, respectivamente. Concluyó que, el porcentaje óptimo de uso de caucho granular para mejorar las propiedades del suelo es 5%.

Hurtado (2022) en su investigación “Efecto de Adicionar Caucho Granular de Neumáticos en las Propiedades de Suelos Arcillosos para Estabilizar Subrasantes” tuvo como objetivo mejorar las propiedades del suelo arcilloso mediante la adición de caucho granular para la subrasante del tramo Anexo de San Juan de Perené – El Pajonal de Junín. Realizó tres calicatas en la ruta, determinado que, tenían humedad promedio de 12.66%, LL de 48.54%, LP de 22.59% e IP de 25.95%, clasificándose como arcillas de baja plasticidad, con OCH de 10.67% y MDS de 1.66 g/cm³, y CBR al 95% y 100% MDS de 3.79% y 5.13%, respectivamente. Al adicionar 5% de caucho granular obtuvo en promedio LL de 43.7%, LP de 21.63% e IP de 22.07%, respectivamente; mientras que, el OCH era 12.14%, MDS 1.45 g/cm³ y CBR al 95% y 100% MDS de 4.9% y 6.14%, respectivamente. Al adicionar 10% de caucho granular obtuvo en promedio LL de 35.66%, LP de 19.85% e IP de 15.81%, respectivamente; mientras que, el OCH era 13.28%, MDS 1.36 g/cm³ y CBR al 95% y 100% MDS de 6.1% y 7.37%, respectivamente. Al adicionar 15% de caucho granular obtuvo en promedio LL de 29.06%, LP de 18.55% e IP de 10.50%, respectivamente; mientras que, el OCH era 22.16%, MDS 1.57 g/cm³ y CBR al 95% y 100% MDS de 8.12% y 9.17%, respectivamente. Concluyó que, el uso de caucho granular para mejorar la subrasante es técnicamente viable, además de ser más económico (15.89 soles/m²) que otras propuestas de estabilización como, adición de 8% de cemento (19.91 soles/m²) y adición de 6% de cal (16.55 soles/m²).

Flores & Mamani (2022) en su investigación “Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante incorporando caucho granular de neumáticos en la carretera Cochiraya – Huayrapata Puno, 2022” tuvieron como objetivo mejorar el suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Cochiraya – Huayrapata en Puno utilizando caucho granular. Excavaron tres calicatas, determinando que, la calicata 1 ubicada en Km 0+250 m presentaba el menor CBR, por lo que se adicionó a este suelo 1.5% de caucho granular obteniendo LL, LP e IP de 36%, 21% y 15%; OCH y MDS de 15.35% y 1.703 g/cm³, con CBR de 7.9%; al utilizar 2% de caucho granular obtuvieron LL, LP e IP de 36%, 22% y 14%; OCH y MDS de 13.44% y 1.723 g/cm³, con CBR de 8.6%; al adicionar 3% de caucho granular alcanzaron LL, LP e IP de 37%, 24% y 13%, respectivamente, OCH y MDS de 13.16% y 1.738 g/cm³, con CBR de 11.3%, finalmente, al agregar 4% de caucho granular obtuvieron LL, LP e IP de 36%, 25% y 11%, respectivamente, OCH y MDS de 15.82% y 1.742 g/cm³, con CBR de 13.4%. Concluyeron que, la dosificación óptima para el mejoramiento del suelo arcilloso es 4% de caucho granular.

2.1.3. Antecedentes regionales

Aviles (2023) en su investigación “Realizar una correlación del impacto generado por la añadidura de caucho reciclado triturado, en las propiedades mecánicas (capacidad de soporte) y los costos de una base granular de una vía del norte del Perú, 2022” tuvo como objetivo mejorar las propiedades de la base granular con caucho granular al 2, 4, 6 y 8% para su uso en la Av. México de Cajamarca. El suelo natural tenía LL, LP e IP de 43.72, 20.18 y 23.54%, con MDS y OCH de 1.791 g/cm³ y 17%, siendo el menor CBR igual a 2%. Determinó que, si mejorase el suelo con base granular de 30 cm, el costo por m² sería de 35.51

soles; pero el CBR del suelo aumenta al usar caucho granular siendo 3%, 3.5%, 2.3% y 1.9%, para 2, 4, 6 y 8%, respectivamente. Realizando el diseño con el suelo mejorado con 2% y 4% de caucho granular en ambos casos solo se requeriría una base de 25 cm, con un costo de 49.49 soles por m². Por lo que, concluyó que, el porcentaje óptimo de caucho granular en la base tratada es de 4%.

Salazar (2023) en su investigación “Análisis del comportamiento del aserrín para estabilización de trochas carrozables, Cajamarca 2023” tuvo como objetivo mejorar el suelo limo arcilloso utilizando aserrín al 3%, 5% y 10% para aplicaciones en dos trochas carrozables: hacia Agocujo, y hacia La Huaraclla, Cajamarca. Determinó que, el suelo natural en Agocujo tenía 6.12% de humedad, LL, LP e IP de 17.5%, 0% y 17.5%, respectivamente, con CBR de 0.52% al 95% MDS, pero al utilizar 3%, 5% y 10% el CBR alcanza valores de 1.24%, 0.95% y 0.61%, respectivamente. El suelo de La Huaraclla presenta humedad de 16.62%, LL, LP e IP de 42.9%, 22.45% y 20.45%, respectivamente, con CBR de 0.69% al 95% MDS, pero al utilizar 3%, 5% y 10% el CBR alcanza valores de 1.44%, 1.40% y 1.00%, correspondientemente. Por lo que, concluyó que, al utilizar 3% de aserrín el CBR aumenta en 12%, por lo que, este es el porcentaje óptimo, a pesar de no ser suficiente para cumplir con los requisitos del MTC para carreteras.

Bustamante (2023) en su investigación “Mejoramiento de la capacidad portante del suelo natural de cimentación adicionando residuos triturados de neumáticos sector 3 de la Ciudad de Chota” tuvo como objetivo mejorar el suelo de cimentación del sector 3 de Chota con la adición de caucho triturado. El suelo era limo y arcilla de baja con capacidad portante de 0.60 a 0.83 kg/cm², pero al usar 5%, 10% y 15% de caucho granular, la capacidad portante alcanza 0.78, 0.90 y 0.86 kg/cm² lo que, representa un incremento del 11.67%. 23.33% y 11.5%,

respectivamente. Concluyó que el tratamiento con 10% de residuos de caucho granular ofrece el mayor incremento en la resistencia del suelo de cimentación.

Chávez (2023) en su investigación “Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota” desarrolló prototipos de geoceldas con caucho, tanto circulares como romboidales en Chota. El material de relleno utilizado fue el suelo de la cantera Cangana, clasificado como grava con arcilla, con CBR del 95% y 100% MDS de 42.50 y 68.30%, siendo un material adecuado para afirmado, pero no como base granular. Sin embargo, al confinar el suelo con geoceldas, los valores del CBR in situ alcanzan 100.13% para las geoceldas circulares y 99.53% para las romboidales. Concluyó que las geoceldas circulares ofrecen mayores ventajas técnicas y económicas, ya que su uso permite reducir el 9.8% del costo de mejoramiento de subrasante con base granular, siendo el espesor de material 40 cm sin geoceldas y 20 cm con geoceldas.

2.2. Bases teórico – científicas

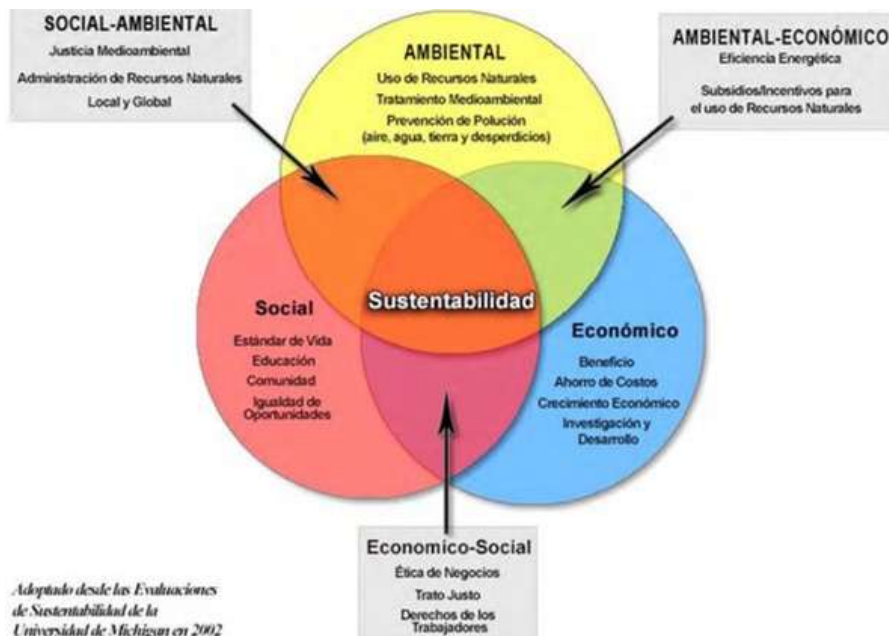
2.2.1. *Teoría de las tres dimensiones del desarrollo sostenibilidad*

Desde 1994, la teoría del desarrollo sostenible se ha orientado a abordar el problema de la sostenibilidad. En la actualidad, esta teoría no solo se enfoca en evitar el deterioro ambiental que heredarán las futuras generaciones, sino que también persigue la restauración de los daños ya causados por la actividad humana (Artaraz, 2002).

Según Artaraz (2002) existen numerosas definiciones de desarrollo sostenible, pero todas coinciden en que este concepto debe integrar medidas que sean económicas, ambientales y equánimes desde el punto de vista social, abarcando así las dimensiones de la sostenibilidad.

Figura 1

Sostenibilidad: Análisis de Dimensiones Social, Ambiental y Económico



Nota. (Anaya, 2021).

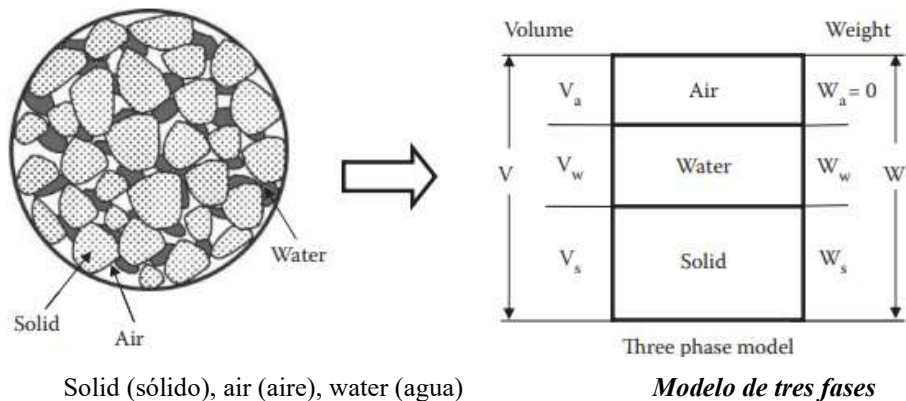
2.2.2. Fundamentos de la mecánica de suelos para carreteras

a) Interacción aditivo (aserrín – caucho granular) con las fases del suelo

El suelo tiene tres fases (sólida, líquida y gaseosa) las cuales interactúan entre sí y con otros componentes cuando se agregan aditivos, ocupando generalmente los espacios vacíos en la matriz del suelo, lo que lleva a la variación en sus propiedades físicas y mecánicas (Moreno & Azcarate , 2021).

Figura 2

Fases del Suelo: Sólido, Líquido (Agua), Gaseoso (Vacíos)



Nota. (Ishibashi & Hazarika, 2015).

El suelo presenta vacíos que, pueden ser cubiertos por el aserrín debido a que, por su gradación fina interactuaría con el suelo formando una sola matriz rígida, no obstante, su presencia dentro del suelo puede verse limitada por el agua que, forma parte de la matriz que terminaría por destruir a la misma, siendo así es importante analizar su capacidad de uso en interacción para incrementar la capacidad de carga del terreno (Medina, 2020).

En cambio, el caucho granular al ser un material de mayor gradación no cubriría completamente los vacíos de la matriz del suelo, pero si aumentaría su parte sólida, y al ser un material sólido no se vería afectado por la parte de agua del suelo formando así también una masa resistente con mayor flexibilidad y capacidad de soporte (Dobrotă & Dobrotă, 2018).

b) Efectos del tiempo en las propiedades del suelo

Según Rico & Del Castillo (2017), la resistencia de las arcillas compactadas se ve significativamente influenciada por el paso del tiempo. Se realizó una prueba de compresión simple en una arcilla limosa hasta alcanzar la falla, variando la velocidad de aplicación de carga de 5 minutos a 10 días. Esta prueba se llevó a cabo en dos series: una inmediatamente después de la

compactación y otra tras 18 días de almacenamiento, manteniendo constante la humedad. Determinando diferencias de 10% entre los especímenes. Con ello, se ha demostrado que, el paso del tiempo también puede influir en las propiedades alcanzadas por los materiales de una vía, por ello, se recomienda el mantenimiento periódico para asegurar la calidad de la superficie de rodadura.

c) Compresibilidad y expansión

De acuerdo a Rico & Del Castillo (2017) los suelos tienen la capacidad de comprimirse y expandirse de acuerdo a su contenido de humedad. Esto se hace evidente en muestras arcillosas que, al presentar diferentes niveles de humedad (una por debajo y otra por encima de la óptima), se observa un comportamiento distinto durante los procesos de carga, en términos de deformación volumétrica.

d) Índice de capacidad de soporte relativo (CBR)

Se busca alcanzar la máxima densidad seca y el contenido óptimo de humedad a través de la compactación para determinar el índice CBR (Rico & Del Castillo, 2017). La teoría detrás del CBR se basa en la correlación entre el valor obtenido y la capacidad de soporte de los materiales, permitiendo clasificar suelos según su idoneidad para su uso en pavimentos. Un valor alto de CBR indica que el material es adecuado para soportar cargas pesadas, mientras que un valor bajo sugiere que el material puede ser inadecuado sin un tratamiento previo.

2.2.3. *Uso de residuos de acuerdo a la teoría del desarrollo sostenible*

a) Uso de aserrín de acuerdo a la teoría del desarrollo sostenible

El aserrín, un subproducto de la industria maderera, se caracteriza por su bajo costo y alta disponibilidad, lo cual lo convierte en una alternativa viable para la construcción vial (Serret et al., 2016). Además, su empleo contribuye a la

reducción de residuos y promueve la economía circular, minimizando el uso de agregados vírgenes y disminuyendo demanda de recursos naturales (Binti, 2013).

La inclusión de aserrín en mezclas granulares con aglutinantes principales como el cemento y la cal ha demostrado influir positivamente en la estabilidad y compactación del material (Nnochiri et al., 2017). Al actuar como un agente estabilizador, el aserrín mejora la cohesión entre las partículas, lo que resulta en una base granular más homogénea y resistente (Medina, 2020).

Sin embargo, el uso de aserrín no está exento de desafíos. Un factor crítico es la variabilidad en la composición del material, que puede afectar las propiedades mecánicas de la mezcla (Serret et al., 2016). A pesar de ello, investigaciones recientes han mostrado que es posible controlar estas variaciones mediante el ajuste de la proporción de aserrín en la mezcla y el empleo de técnicas de compactación adecuadas (Parayil & Salini, 2024).

Asimismo, el tratamiento previo del aserrín, como la eliminación de aceites y resinas, es fundamental para evitar problemas de biodegradación y asegurar la durabilidad del material al utilizarlo en vías (Jasim & Cetin, 2016).

Otro aspecto, importante es que, el uso de aserrín como estabilizante, no genera contaminación ya que es encapsulado dentro del suelo y forma una sola matriz conjunta, sobre todo al usar otros aditivos (Karim et al., 2018).

b) Uso de caucho granular de acuerdo a la teoría del desarrollo sostenible

Debido a la escasez de materiales naturales tradicionales y a las preocupaciones medioambientales, se ha impulsado la búsqueda de nuevos recursos para el sector viario. La inclusión de estos materiales implica la consideración de varios tipos de materiales secundarios y terciarios, los cuales han sido investigados y evaluados según sus características de reciclaje (Abukhattala,

2016). Algunos de estos materiales reciclados han demostrado tener propiedades favorables y han mostrado un buen desempeño en el campo, como es el caso de los neumáticos usados (Dobrotă & Dobrotă, 2018). No obstante, la incorporación de estos materiales plantea diversas inquietudes, tanto en estudios de laboratorio como en observaciones prácticas, que han subrayado la necesidad de realizar investigaciones detalladas (Abukhattala, 2016).

El uso de caucho reciclado como medio para mejorar el material granular en carreteras presenta ventajas ambientales; además de regenerar los residuos de caucho, lo cual no solo genera un impacto ambiental positivo, sino también incentivos económicos, y beneficios técnicos, con reducciones en la expansión y mejoras en la capacidad de soporte (Dobrotă & Dobrotă, 2018).

Sin embargo, algunas entidades de protección ambiental han mostrado reticencia a permitir el uso de caucho reciclado, esto debido a la preocupación de que no se encapsulen bien los materiales en la mezcla granular, pero, si la compactación es adecuada, también lo será la mezcla combinada (Liu et al., 2000). Por tanto, para promover la sostenibilidad en el uso de caucho granular en carreteras, es recomendable su empleo con medios de confinamiento o como relleno mineral, siempre y cuando se empleen materiales y tecnologías adecuadas para la construcción, como la compactación (Wik & Dave, 2009).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Residuos orgánicos

Compuestos que tienen su origen en organismos vivos, como plantas y animales, los cuales contienen sustancias orgánicas generadas de manera natural. Estos compuestos se descomponen biológicamente debido a la acción de microorganismos o agentes fisicoquímicos (Monroy, 2014).

Residuos que se descomponen naturalmente y pueden desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica, pero que dependiendo de su procedencia pueden causar problemas de contaminación si no tienen una disposición final adecuada (Vanegas & Riascos, 2022).

2.3.1.1.Composición química

Los residuos orgánicos están compuestos por materiales ricos en carbono, nitrógeno, fósforo y otros nutrientes. Tienen un alto contenido de agua y son ricos en compuestos como la celulosa, la lignina y los azúcares (Monroy, 2014).

2.3.1.2.Tipos de residuos orgánicos

Residuos orgánicos domésticos: Incluyen restos de alimentos, residuos de jardinería y otros desechos generados en los hogares. Estos residuos son una fuente importante para procesos de compostaje y digestión anaeróbica (García et al., 2023).

Residuos agroindustriales: Provenientes de actividades agrícolas e industriales, estos residuos pueden incluir cáscaras de frutas, restos de cosechas y subproductos de la producción alimentaria; así como subproductos de la generación de productos industriales, como el aserrín producto de la conformación de tablas (García et al., 2023).

Figura 3

Residuos Orgánicos Comunes



Nota. A. Residuos de alimentos, B. Excretas de animales, C. Restos de jardín y podas (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012).

2.3.1.3. Disposición y reciclaje de residuos orgánicos

Aunque no es la opción más sostenible, los residuos orgánicos son frecuentemente dispuestos en vertederos. Sin embargo, esto puede causar problemas ambientales debido a la producción de metano y lixiviados contaminantes (Xavier, 2009).

Los residuos orgánicos suelen ser tratados a través de técnicas de compostaje y tienen su origen en diversas fuentes como residencias, industrias, instalaciones de tratamiento, así como en actividades agrícolas, hortícolas y silvícolas, entre otras (Xavier, 2009). El compostaje es un proceso biológico donde los residuos orgánicos se descomponen en condiciones controladas para producir compost, un fertilizante natural. Este método es accesible y promueve la conciencia ambiental (Ferreira & da Silva, 2023).

Pero, el aserrín puede ser reciclado para producir nuevos productos en otras industrias, como en la construcción, donde algunos referentes han utilizado este compuesto para mejorar la subrasante de carreteras (Karim et al., 2018)

2.3.2. Residuos inorgánicos

Estos materiales, debido a sus características químicas, experimentan una descomposición natural muy lenta. Aunque muchos provienen de fuentes naturales, no son biodegradables; un ejemplo de esto son los envases de plástico. Por lo general, se reciclan mediante procesos artificiales y mecánicos, como es el caso de latas, vidrio, plásticos y gomas. Por tanto, estos son materiales que, debido a sus propiedades fisicoquímicas, no sufren degradación a causa de procesos biológicos, siendo ejemplo de estos materiales: vidrio, plástico, residuos de demoliciones, caucho granular (Suárez, 2000)

Estos materiales se originan a partir de productos fabricados por humanos y no provienen de seres vivos u organismos. Su proceso de descomposición es extremadamente lento, a menudo tomando cientos de años, motivo por el cual se les denomina no biodegradables (Suárez, 2000).

2.3.2.1. Clasificación de los residuos inorgánicos

Residuos inorgánicos sólidos: Estos residuos comprenden la mayoría de los desechos inorgánicos generados en actividades diarias, como botellas de plástico, latas de aluminio, envases de vidrio, papel aluminio y residuos de construcción. Su manejo y disposición representan un reto debido a su volumen y durabilidad en el medio ambiente (Monroy, 2014).

Residuos inorgánicos líquidos: Incluyen sustancias como aceites industriales, disolventes, productos químicos y aguas residuales que contienen contaminantes no biodegradables. Estos residuos requieren tratamientos específicos antes de su disposición para evitar la contaminación de suelos y aguas (Monroy, 2014).

Residuos inorgánicos peligrosos: Son residuos que, debido a su composición química, presentan características peligrosas como toxicidad, corrosividad, reactividad o inflamabilidad. Incluyen baterías, productos electrónicos, pesticidas, productos de limpieza industrial y residuos de laboratorios. Su manejo inadecuado puede causar graves daños al medio ambiente y a la salud humana (Monroy, 2014).

2.3.2.2. Gestión y manejo de residuos inorgánicos

La acumulación de residuos inorgánicos tiene consecuencias graves para el medio ambiente. La contaminación se ve exacerbada por la revisión lenta de estos materiales. Además, los vertederos saturados pueden liberar sustancias tóxicas que afectan la salud pública y el ecosistema (Godoy et al., 2023).

Los desechos inorgánicos tienen la posibilidad de ser reutilizados. La reducción en la generación de residuos inorgánicos implica el diseño de productos más duraderos y con menor uso de materiales. La reutilización se refiere al uso repetido de materiales, como la utilización de botellas de vidrio retornables y la reparación de aparatos electrónicos (Suárez, 2000).

El reciclaje se refiere al proceso mediante el cual los materiales, una vez utilizados, se recuperan para ser reutilizados. Esta práctica ayuda a reducir la extracción de recursos que no se regeneran de manera natural. En la actualidad, existen numerosos materiales que se pueden reciclar, como cartón, vidrio, caucho granular, plástico, entre otros (Monroy, 2014).

Los residuos que no pueden ser reciclados o reutilizados requieren tratamientos específicos. Los residuos peligrosos, deben ser tratados en instalaciones especiales para neutralizar sus efectos dañinos antes de su disposición final en vertederos diseñados (Monroy, 2014).

2.3.3. Caucho granular

2.3.3.1. Caucho

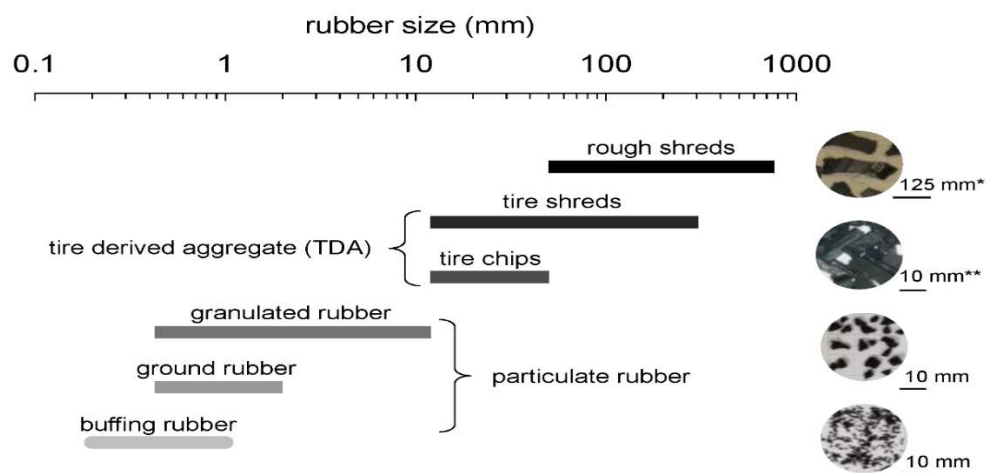
De acuerdo a Juárez & Balart (2012) los elastómeros son materiales poliméricos cuya elasticidad varía en función de los esfuerzos aplicados, y recuperan su forma original una vez que cesa la presión. El caucho es un material elastómero, impermeable y resistente, que puede ser natural o sintético. El caucho natural es un látex en el que se encuentran suspendidas partículas de caucho; en la actualidad, el caucho natural representa el 30% del mercado, mientras que el resto está compuesto por cauchos sintéticos. Por su parte, el caucho sintético se fabrica a partir de compuestos derivados del petróleo, como el butadieno y el estireno, siendo este el que, generalmente se utiliza para aplicaciones industriales.

2.3.3.2. Caucho granular

El caucho granular se refiere a partículas de caucho reciclado obtenidas principalmente de neumáticos desechados. Este material se produce triturando neumáticos fuera de uso hasta obtener fragmentos de diferentes tamaños, generalmente de entre 0.5 y 4 mm (Tasalloti et al., 2021).

Figura 4

Tamaños de Caucho Granulado según la Norma ASTM D6270-17



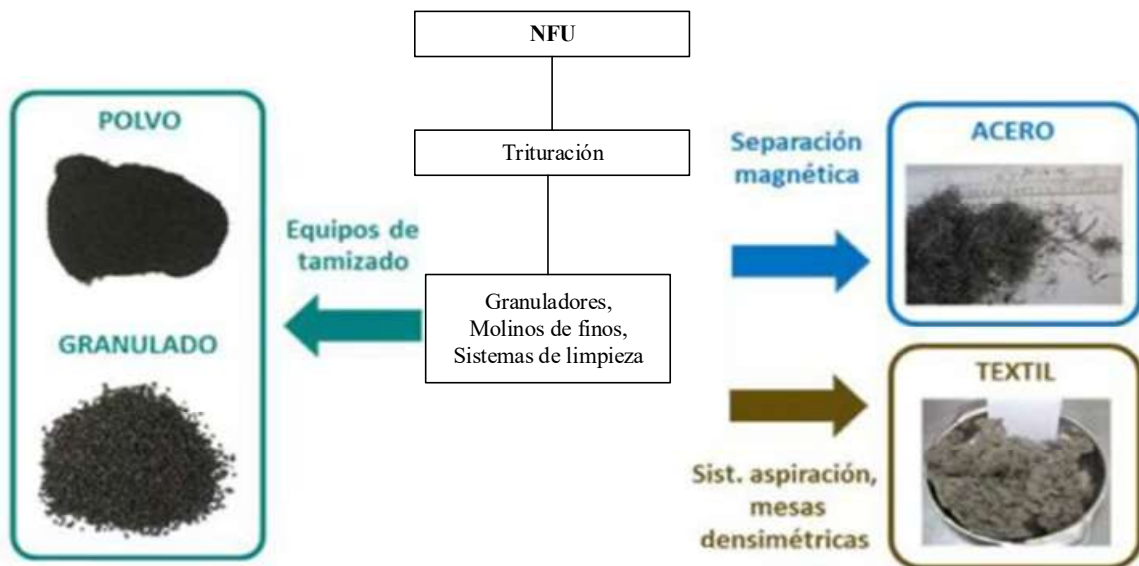
Nota. (Tasalloti et al., 2021).

2.3.3.3. Proceso de producción del caucho granular

El caucho granular se obtiene del reciclaje de neumáticos fuera de uso, un proceso que involucra: trituración, separación de componentes metálicos y textiles y granulado. Los neumáticos reciclados se someten a un proceso en el que se eliminan los componentes no relacionados con el caucho, como alambres. Durante el reciclaje, los restos de caucho se trituran a un tamaño más manejable, normalmente utilizando un molino mecánico (Amaro & Capcha, 2021).

Figura 5

Proceso de Producción de Caucho Granulado



Nota. (Neomatique, 2024).

2.3.3.4. Neumáticos fuera de uso (NFU)

Un neumático es una estructura circular de caucho, reforzada con fibras y acero, diseñada para proporcionar tracción, estabilidad y confort a los vehículos al facilitar el contacto con la superficie de rodadura. Los neumáticos fuera de uso (NFU) son aquellos que han llegado al final de su vida útil debido al desgaste, daño o defectos, y ya no cumplen con los requisitos de seguridad y rendimiento para su uso en vehículos (Becerra, 2019).

Tabla 1

Composición de un Neumático

Componente	Automóviles % en peso	Camiones % en peso	Función
Caucho natural	14	27	Estructural-deformación
Caucho sintético	27	14	Estructural-deformación
Negro de humo	28	28	Mejora oxidación
Acero	14-15	14-15	Esqueleto estructural
Fibra textil	16-17	16-17	Juventud

Nota. (Becerra, 2019)

2.3.3.5. Técnicas de trituración de NFU

Los métodos principales son: (Amaro & Capcha, 2021)

- Trituración mecánica: Utiliza cuchillas y rodillos para cortar y triturar los neumáticos hasta obtener fragmentos del tamaño deseado.
- Trituración criogénica: Los neumáticos se enfrían a temperaturas extremadamente bajas con nitrógeno líquido, lo que provoca que el caucho se vuelva frágil y pueda ser pulverizado fácilmente.

2.3.3.6. Composición química del caucho granular

El caucho granular está compuesto principalmente por elastómeros (como el caucho natural y el caucho sintético), además de cargas, aceites, azufre y otros aditivos utilizados en la fabricación original del neumático. Esta composición le otorga propiedades únicas como flexibilidad, resistencia al desgaste y capacidad de amortiguación (Tasalloti et al., 2021).

2.3.3.7. Propiedades físicas y mecánicas del caucho granular

El caucho granular se caracteriza por su alta elasticidad, baja densidad y capacidad para absorber impactos. También es resistente a la abrasión, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en las que se requiere durabilidad y resistencia mecánica (Tasalloti et al., 2021).

2.3.4. Aserrín

El aserrín, es el residuo generado durante el proceso de corte de la madera, como el que se produce en un aserradero. Este material resulta de diversas operaciones mecánicas de procesamiento de la madera, con especial énfasis en el aserrado. Aunque su tamaño pequeño suele descalificarlo como materia prima para la producción de celulosa, es adecuado para la fabricación de tableros de partículas (Garzón et al., 2005).

2.3.4.1. Composición del aserrín

El aserrín está compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, que son los componentes estructurales de la madera. También contiene pequeñas cantidades de extractivos como aceites, resinas y compuestos fenólicos, cuya proporción varía según la especie de madera de origen (Garzón et al., 2005).

Desde un punto de vista químico, el aserrín está compuesto principalmente por celulosa (40–50%), hemicelulosa (20–30%) y lignina (20–30%), además de contener extractivos menores como resinas, ceras, aceites esenciales, taninos y compuestos fenólicos. La proporción de estos componentes varía dependiendo de la especie de árbol (conífera o latifoliada), la edad de la madera y las condiciones ambientales de crecimiento (Garzón et al., 2005).

2.3.4.2. Tipos de aserrín

El aserrín se puede clasificar en función de varios criterios: (Garzón et al., 2005)

Según el tipo de madera:

- Aserrín de maderas blandas: como el pino o abeto, es más ligero, más poroso y con menor densidad.

- Aserrín de maderas duras: como el roble o nogal, presenta mayor densidad y contenido energético.

Según el tratamiento:

- Aserrín en estado natural: sin combustión, presenta humedad variable y textura fibrosa.
- Ceniza de aserrín: producto de la combustión controlada del aserrín, con una composición rica en óxidos metálicos, como óxidos de calcio, potasio, sodio y sílice.

Según el tamaño de partícula:

- Fino (≤ 1 mm): más utilizado en mezclas con suelos arcillosos por su mejor integración.
- Grueso (1–5 mm): se usa principalmente como absorbente o en compuestos estructurales.

2.3.4.3. Características físicas del aserrín

Algunas características del aserrín son: (Jasim & Cetin, 2016)

Textura: fibrosa, de partículas irregulares.

Color: depende de la madera, pero va del amarillo claro al marrón oscuro.

Olor: característico de la especie leñosa de origen.

Densidad aparente: entre 100 y 300 kg/m³.

Capacidad de absorción de agua: alta, entre 2 y 4 veces su peso seco.

Contenido de humedad: puede variar entre 20% y 60% en estado natural.

2.3.4.4. Aplicaciones del aserrín

Este material, originalmente considerado como un residuo de la actividad de corte de madera, ha encontrado nuevos usos a lo largo del tiempo. En la

carpintería, se emplea para producir tableros de madera aglomerada y tableros de fibra de densidad media (DM) (Barrera, 2016).

Fuera de este ámbito, se ha utilizado durante años en el campo de la higiene, esparciéndolo en el suelo para mejorar su adherencia y facilitar su limpieza, especialmente en establecimientos donde los derrames de líquidos son frecuentes. En años recientes, su utilización ha crecido en la producción de briquetas para estufas y pellets para calderas de biomasa (Barrera, 2016).

Además, actualmente se emplea en la construcción como estabilizante temporal para carreteras (Gonzales, 2024). Se ha comenzado a utilizar en su estado natural como aserrín o como ceniza de aserrín para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasantes, lo que, ha dejado campo para su uso como aditivo en la producción de bases granulares tratadas.

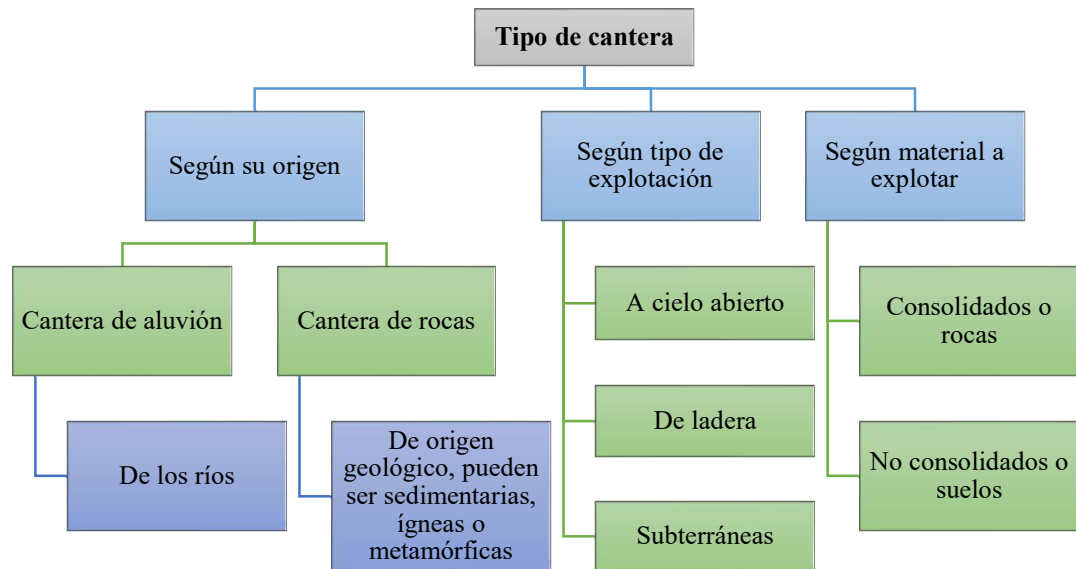
2.3.5. *Cantera*

Explotación minera donde se extraen materiales como arena, grava, arcilla y otros tipos de suelo para su uso en diversas aplicaciones, principalmente en la construcción (MTC, 2014).

Se refiere a la realización de excavaciones en banco, que pueden tener múltiples niveles de extracción. Estos niveles pueden desarrollarse de manera ascendente o descendente, dependiendo de si las excavaciones se realizan en terrenos inclinados o en áreas planas (Lozada E. F., 2018).

Figura 6

Tipos de Canteras



Nota. (Rojas Z. , 2013)

Lugar donde se obtienen los materiales de construcción ya sea en su forma natural o tras un procesamiento, fundamental para el suministro de agregados utilizados en carreteras y otros proyectos de ingeniería. Las canteras son la principal fuente de materiales pétreos, donde debido a que estos materiales son la materia prima en la realización de obras civiles, su valor económico influye significativamente en el costo total de cualquier proyecto (Rojas Z. , 2013).

2.3.6. Suelo y suelo granular

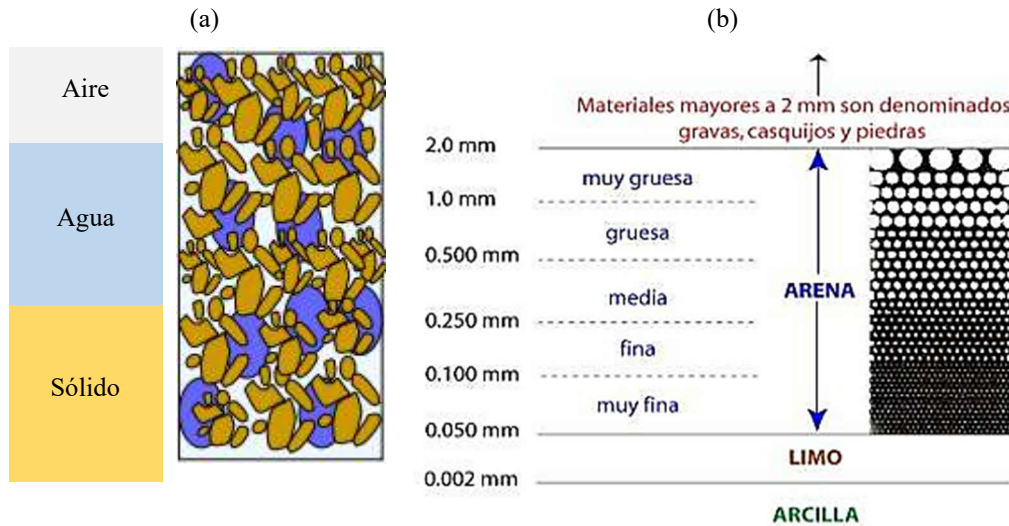
2.3.6.1.Suelo

El suelo es el material compuesto por la mezcla de minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos, formado a lo largo del tiempo, por procesos de meteorización y descomposición de materiales rocosos y biológicos. Su estructura, composición y propiedades pueden variar de acuerdo a factores locales de su ubicación, sin embargo, presenta tres fases (aire, agua y sólidos), que

caracterizan sus propiedades físicas y mecánicas, clasificándolo de acuerdo a la escala de tamaño del mismo (Braja M. , 2018).

Figura 7

(a) Fases del suelo y (b) Escala de Tamaño



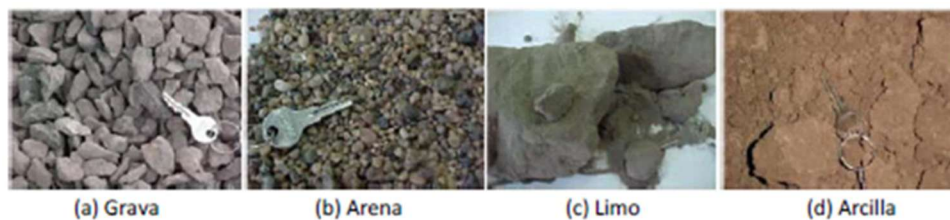
Nota. (Angelone & Garibay, 2014).

2.3.6.2. Tipos de suelo

Los suelos se clasifican en varios tipos según su composición, estructura y propiedades físicas. Generalmente, los suelos pueden ser gruesos como las gravas y arenas, o finos como el limo y arcilla, así mismo, se los pueden identificar en base a otras características como plasticidad o capacidad de soporte, por ello, existen sistemas de clasificación para definir el tipo de suelo (Zapata, 2018).

Figura 8

Tipos de Suelos



Nota. (Zapata, 2018).

2.3.6.3.Sistemas de clasificación de suelos

Los sistemas de clasificación de suelos permiten catalogarlos de acuerdo a sus propiedades de gradación y plasticidad en grupos alfanuméricos en el caso de AASHTO y grupos alfabéticos en el caso de SUCS, donde ambos grupos se pueden correlacionar, es decir, se puede indicar ambas clasificaciones para un mismo tipo de suelo (Cuipal, 2018).

AASHTO. En este sistema los suelos se dividen en granulares y francos arcillosos finos, dividiéndolo en siete grupos básicos, numerados del A-1 al A-7. Así mismo, una medida numérica de la calidad del suelo es el índice de grupo (IG), cuanto menor sea el índice de grupo (IG), mejor será la calidad de los fragmentos del suelo, por ello, esta clasificación se utiliza recurrentemente para clasificar los suelos que, se utilizarán en proyectos viales (Cuipal, 2018). En la Figura 9 se presenta la clasificación AASHTO.

SUCS. Este sistema de clasificación divide al suelo en partículas finas y gruesas, de acuerdo al suelo que pasa por la malla N° 200, también define su nivel de plasticidad de los suelos finos en baja y altamente plásticos, así como la gradación de los suelos gruesos en bien y mal gradados, así mismo, es importante rescatar que este tipo de clasificación se utiliza recurrentemente para clasificar los suelos que, se utilizarán en proyectos de cimentación (Cuipal, 2018). En la Figura 10 se presenta la clasificación SUCS.

2.3.6.4.Suelo granular

Los suelos granulares se caracterizan porque las fuerzas de atracción entre partículas tienen un impacto insignificante en su comportamiento mecánico. Este grupo abarca rocas, gravas y arenas. Dependiendo del estado de tensión y la estructura del suelo, que normalmente se define en función de la densidad relativa

(Dr), el índice de vacíos (e) o la porosidad (n), los suelos granulares se pueden clasificar adicionalmente en materiales densos o sueltos (Braja M. , 2018).

2.3.6.5. Tipos de materiales granulares usados en vías

Los tipos de materiales granulares que comúnmente se utilizan

Grava. Material granular compuesto por fragmentos de roca de 2 mm a 75 mm, que se obtienen a partir de la trituración de rocas o de depósitos aluviales (Lozada E. F., 2018).

Arena. Material granular con partículas que tienen 0.0625 mm y 2 mm. Puede ser natural, obtenida de lechos de ríos y playas, o manufacturada (Lozada E. F., 2018).

Afirmado. Mezcla de suelo que incluye finos (limo – arcilla), arena y grava, y se utiliza para la formación de capas de afirmado en carreteras (Lozada E. F., 2018).

Figura 9

Clasificación de Suelos basada en AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N° 200)							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N° 200)					
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7		
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6	
% que pasa por el tamiz de: 2 mm (N° 10) 0.425 mm (N° 40) F: 0.075 mm (N° 200)	máx. 50												
	máx. 30	máx. 50	mín. 51										
	máx. 15	máx. 25	máx. 10	Máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	min. 36	min. 36	min. 36	mín. 36	min. 36	
Características de la fracción que pasa del tamiz (N° 40)													
LL (límite líquido)				máx. 40	min. 41	máx. 40	min. 41	máx. 40	Mín. 41	máx. 40	mín. 41	min. 41	
IP (índice de plasticidad)	máx. 6	máx. 6	NP	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	máx. 10	máx. 10		mín. 11 (a)	min. 11	
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente a bueno						Regular a insuficiente						

(a) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5: es igual o menor que LL-30.

(b) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-6: es mayor que LL-30.

Cuando se requiera relacionar los grupos con el Índice de Grupo (IG), estos deben mostrarse entre paréntesis después del símbolo del grupo, ejemplo: A-4(5), A-7-5 (17), etc.

$IG = (F-35) [0.2+0.005 ((1-40))] +0.01 (F-15) (IP-10)$.

Nota. (MTC, 2014).

Figura 10

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

DIVISIÓN MAYOR		GRUPO SÍMBOLOS	DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL LABORATORIO				
SUELOS DE GRANO GRUESO Mas de la Mitad del material es mayor que el tamiz N° 200	MAS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES MAYOR QUE EL TAMIZ N° 4	GW	Grava bien graduada o mezcla de arena y grava. Poco o ningún fino	Determinar el porcentaje de arena y grava de la curva granulométrica según el porcentaje de finos (fracción menor que el tamiz N° 200), los suelos de grano grueso y de grano fino se clasifican así: Menos del 5% GW, GP, SW, SP Mas del 12% GM, GC, SM, SC 5% al 12% Caso limite usar los dos símbolos poco o ningún fin				
			GP			Grava mal graduada o mezcla de arena y grava. Poco o ningún fino		
		GM	d			Grava con limos, grava mal graduada muy limosa. Mezcla grava, arena y arcilla	Límites de Atterberg bajo la línea "A" o IP menor de 4 Límites de Atterberg sobre la línea "A" o IP mayor de 7	Por encima de la línea "A" con IP entre 4 y 7, estaremos en un caso "limite" y usarse los dos símbolos
			u					
	GC	Mezcla bien graduada de gran, arena y arcilla. Excelente aglutinante	mayor que 4 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ entre 1 y 3 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} * D_{60})}$ No reúne los requisitos de granulometría para GW					
	MAS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES MENOR QUE EL TAMIZ N° 4	ARENA LIMPIA (Poco o ningún fino)	SW	Arena bien graduada y arena gravillosa, poco o ningún fino	mayor que 6 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ entre 1 y 3 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} * D_{60})}$ No reúne los requisitos de granulometría para SW			
			SP	Arena mal graduada, arena gravillosa, pocos o ningún fino				
		SM	d	Arena con limos, arena muy limosa, mezcla arena y arcilla			Límites de Atterberg bajo la línea "A" o IP menor de 4 Límites de Atterberg sobre la línea "A" o IP mayor de 7	Las líneas trazadas en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos limite y deben usarse los dos símbolos
			u					
		SC	Mezcla bien graduada arena y arcilla. Excelente aglutinante					
SUELOS DE GRANO FINO Mas de la mitad del material es menor que el tamiz N° 200	LIMO Y ARCILLA (Límite líquido es menor de 50)	ML	Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina con ligera plasticidad					
		CL	Arcilla inorgánica de baja o media plasticidad. Arcilla arenosa, arcilla gravillosa, arcilla limosa, arcilla floja					
		OL	Limos orgánicos, limos-arcilla orgánica de baja plasticidad					
	LIMO Y ARCILLA (Límite líquido es mayor de 50)	MH	Limos inorgánicos, arena fina micáceos o diatomeas suelo limoso, suelo elástico					
		CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad					
		OH	Arcilla orgánica de media a alta plasticidad					
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Pt			Turbas y otros suelos altamente orgánicos		

Nota. (Braja M. D., 2012).

2.3.7. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo son las cualidades intrínsecas que califican su estructura y composición e influyen en su comportamiento y respuesta bajo diferentes condiciones ambientales y mecánicas (Zapata, 2018).

Análisis granulométrico del suelo. Consiste en determinar el rango de tamaños de las partículas presentes en un suelo, expresando estos tamaños como un porcentaje del peso seco total del suelo (Mata, 2010).

$$\% \text{ Pasa } 0.074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso retenido en la tamiz de } 0.074 \text{ mm}}{\text{Peso Total}} \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido en la tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100 \quad (2)$$

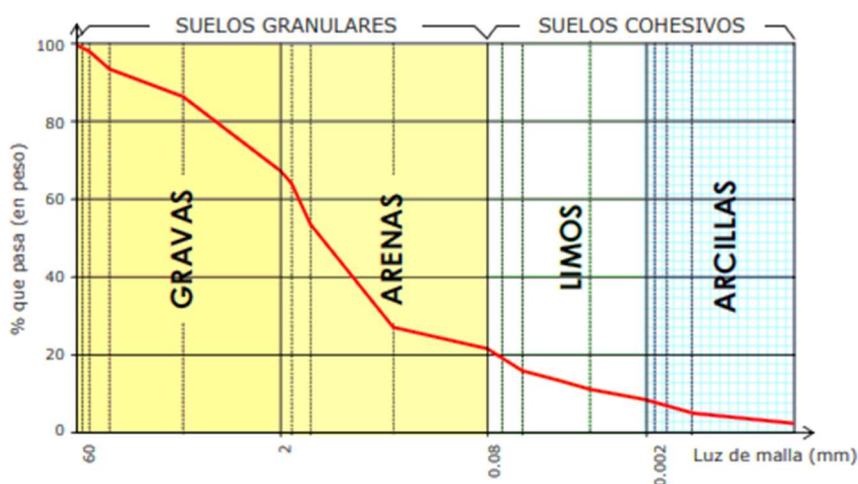
$$\text{Peso que pasa} = PT - \text{Peso ret. acumulado} \quad (3)$$

$$\% \text{ Que pasa} = \frac{\text{Peso que pasa}}{PT} \times 100 \quad (4)$$

Para determinar el porcentaje de partículas más finas, se debe restar de 100% los porcentajes acumulados retenidos en cada tamiz.

Figura 11

Curva Granulométrica



Nota. (Bañón & Beviá, 2000).

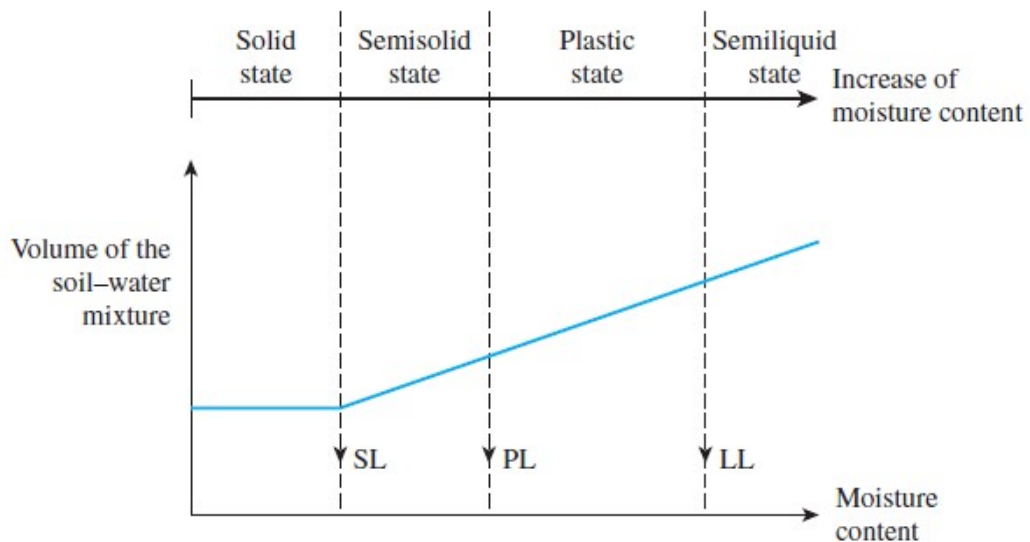
Contenido de humedad. Proporción de agua contenida en el suelo en comparación con su masa total (Surenta & Kummar, 2017).

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100 \quad (5)$$

Plasticidad. Capacidad para soportar deformaciones rápidas dentro de un rango específico de humedad, sin experimentar rebote elástico, cambios volumétricos significativos, ni desmoronamiento o fractura bajo fuerzas de compresión. Entre los límites de Atterberg se encuentran: el límite líquido, plástico e índice de plasticidad (Rojas Z. , 2013).

Figura 12

Límites de Consistencia de Atterberg



Nota. (Mohd, 2007).

- **Límite de líquido (LL).** Humedad para la que, el suelo pasa de estado plástico a líquido. También, se entiende como la humedad por la que, una muestra de suelo se une al dar 25 golpes, representando su fluidez (Ramirez, 2016).

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right) 0.121 \quad (6)$$

$$LL = KW^n \quad (7)$$

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

- **Límite plástico (LP).** Humedad mínima en la que el suelo se vuelve un material plástico y maleable. Es decir, es la humedad para que el suelo pase de estado semisólido a sólido. Se obtiene como el promedio de los niveles de humedad de las dos mediciones realizadas (Ramirez, 2016).

$$\text{Limite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100 \quad (8)$$

- **Índice de plasticidad (IP).** Humedad en la que, el suelo permanece estable, se calcula restando el límite de liquidez y plasticidad, pero cuando no se pueda determinar alguno de estos límites, el índice de plasticidad se indicará mediante la abreviatura NP (no plástico) (Hernandez & Llerena, 2019).

$$IP = LL - LP \quad (9)$$

Donde, LL límite líquido, LP límite plástico.

Tabla 2

Categoría del Suelo según IP

IP	>20	7-20	<7	=0
Plasticidad	Alta	Media	Baja	No plástico (NP)
Arcilloso	Mucho	Igual	Poco	Nada

Nota. (MTC, 2014).

Equivalente de arena (EA). Indicador que describe la proporción de partículas de tamaño medio a grueso que forman parte del suelo (MTC, 2014).

$$E. A. = \frac{A}{A+B} \times 100 \quad (10)$$

$$EA = \frac{\text{Altura de la capa de arena}}{\text{Altura total de la suspensión}} \times 100 \quad (11)$$

Tabla 3

Categoría del Suelo según EA

Plasticidad	Baja	Media	Alta
EA	> 40	20-40	<20

Nota. (MTC, 2014).

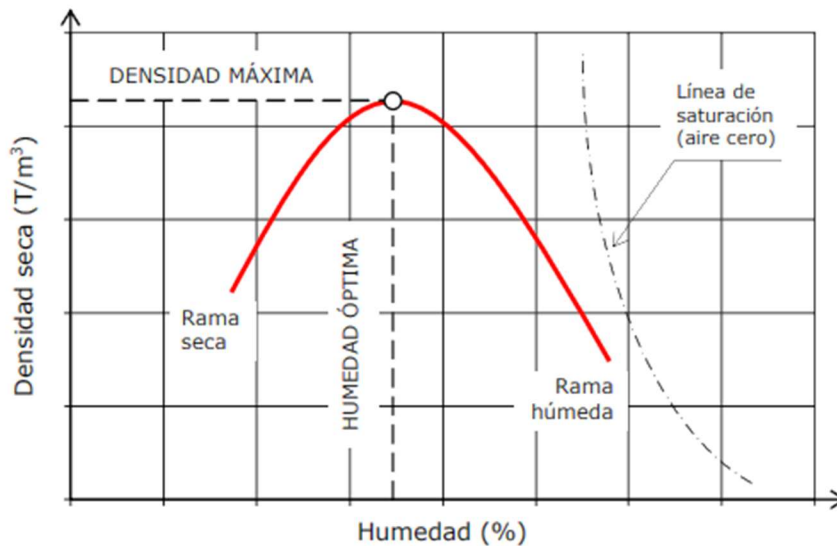
2.3.8. *Propiedades mecánicas del suelo*

Las propiedades mecánicas se basan en los ensayos de laboratorio que ayuden a determinar la geotecnia de los materiales, las cuales están basadas en el desempeño mecánico de los materiales de cantera y se realizarán de acuerdo a las normas de cada país, siempre basados como mínimo en la densificación y la relación de soporte de California (CBR) (Taha et al., 2019).

Compactación (Proctor modificado). Proceso de compactar el suelo reduciendo el volumen de vacíos para evitar que éste se deforme y degrade (Delgado, 2021). Para determinar los parámetros de compactación se determina el peso unitario seco y el contenido de agua para cada espécimen compactado, y luego, se grafican en la curva de compactación (Bañón & Beviá, 2000).

Figura 13

Curva de Compactación



Nota. (Bañón & Beviá, 2000).

- **Máxima densidad seca.** Estado más compacto y denso que puede alcanzar el suelo sin considerar la presencia de agua, luego de pasar por procesos de compactación (Delgado, 2021).

$$y_d = \frac{Y_{d,max}}{1+w_{opt}w} \quad (12)$$

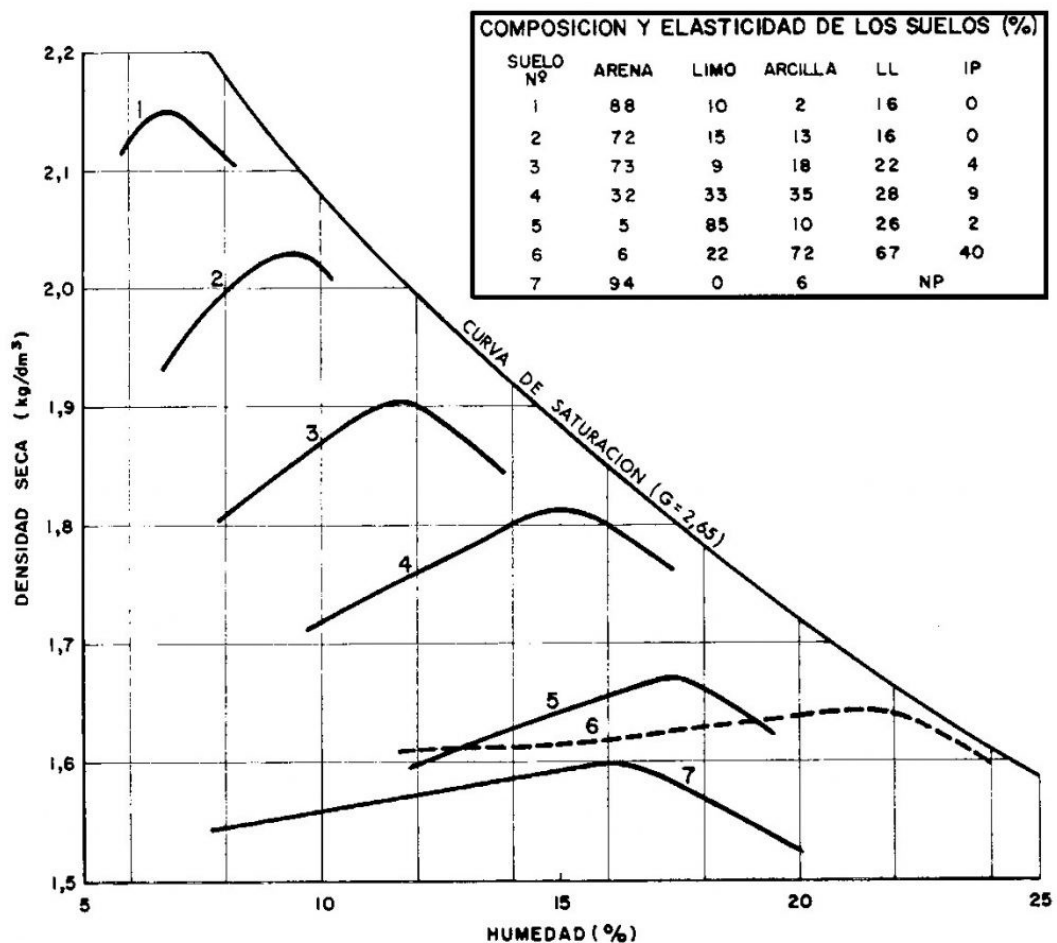
$$y_d = \frac{G}{1+w} \quad (13)$$

Donde, Y_d es la densidad seca máxima del suelo, G es la masa específica del sólido del suelo, w es el contenido de humedad del suelo.

- **Óptimo contenido de humedad.** Humedad con el que se obtiene la mayor densidad del suelo en el proceso de compactación (Delgado, 2021).

Figura 14

Curva de Compactación para Diferentes Tipos de Suelo



Nota. (Yepes, 2021).

Resistencia al desgaste (Abrasión los ángeles). Medición de la fractura de un agregado mineral por una combinación de impactos de abrasión (MTC, 2016).

$$D(\%) = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (14)$$

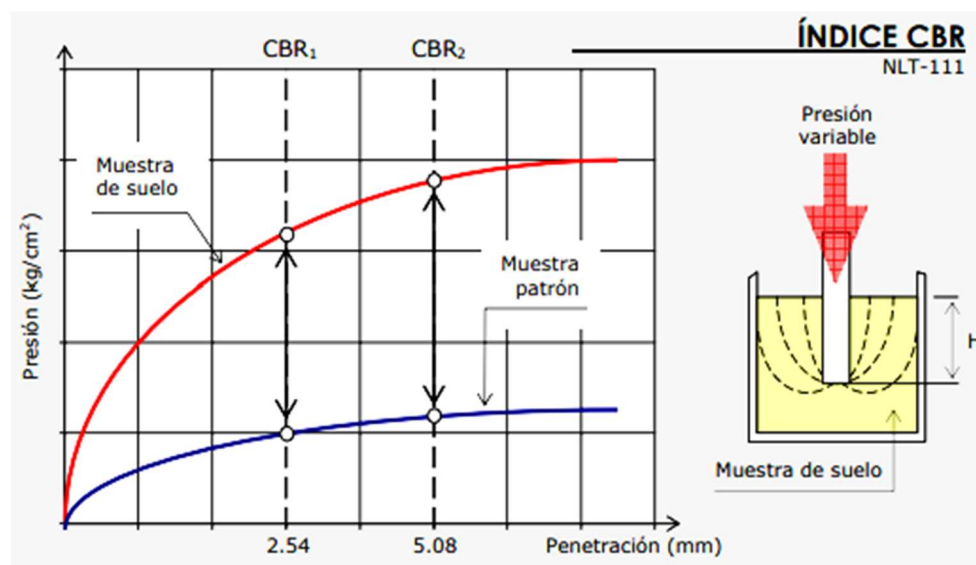
Donde, el peso inicial es el peso del suelo lavado y secado al horno, antes de la prueba, y el peso final, peso del suelo que queda retenido en el tamiz N° 12.

Capacidad de soporte (CBR). La capacidad máxima que un suelo puede soportar antes de presentar hundimiento se evalúa, en el diseño de carreteras, utilizando el Índice de Soporte de California (CBR). Este índice se determina a partir de pruebas previas realizadas en diferentes tipos de suelo y se presenta en tablas. El CBR se calcula comparando la fuerza necesaria para que un pistón penetre a una profundidad específica en el suelo de estudio con la fuerza requerida para que el mismo pistón alcance la misma profundidad en un suelo estándar formado por piedra triturada. Esta comparación se expresa mediante una ecuación que relaciona las fuerzas necesarias para la penetración en ambos suelos (Delgado, 2021).

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

Figura 15

Modelo de Curva CBR



Nota. (Bañón & Beviá, 2000).

2.3.9. *Afirmado*

El afirmado consiste en una combinación de tres tipos de materiales: piedra, arena y finos (o arcilla). Se requiere una cantidad adecuada de piedra para soportar las cargas, además de un porcentaje específico de arena clasificada por tamaño para llenar los espacios entre las piedras y proporcionar estabilidad a la capa. Adicionalmente, es necesario incluir una cantidad de finos plásticos para cohesionar los materiales en la capa afirmada. Una proporción inadecuada de estos elementos resultará en un afirmado de baja calidad (Balboa, 2019).

El material de afirmado debe cumplir con ciertos requisitos técnicos para su uso en carreteras no pavimentadas, estas características abarcan, gradación, límite líquido (LL), índice de plasticidad (IP), desgaste de los Ángeles y CBR de laboratorio al 100% MDS de acuerdo al manual del MTC (2014).

Tabla 4

Gradación y Características Técnicas del Material para Afirmado

Tamiz	% pasante					
	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
IP	4 a 9	4 a 9	4 a 9	4 a 9	4 a 9	4 a 9
LL	Máx. 35	35	35	35	35	35
Desgaste a abrasión (%)	Máx. 50	50	50	50	50	50
CBR al 100% de MDS	Mín. 40	40	40	40	40	40

Nota. (MTC, 2014).

2.3.10. Subbase granular

Un buen material de superficie utilizado como subbase granular debe consistir en grava triturada junto con arena gruesa, que contiene partículas más pequeñas para rellenar los espacios vacíos, y añadiendo una cantidad reducida de arcilla como agente aglutinante. El material debe contar con una alta estabilidad y ser resistente al desgaste. No permita que el polvo se eleve causando un desgaste mínimo de los neumáticos, es económico y fácil de mantener (Atiquipa & Orozco, 2018). Los requisitos que debe cumplir son: (MTC, 2015)

Tabla 5

Gradación para Subbase Granular

Tamiz mm (")	Porcentaje que pasa en peso de cada gradación			
	D	C	B	A (1)
50 (2")			100	100
25 (1")	100	100	75 – 95	
9.5 (3/8")	60 – 100	50 – 85	40 – 75	30 – 65
4.75 (N° 4)	50 – 85	35 – 65	30 – 60	25 – 55
2 (N° 10)	40 – 70	25 – 50	20 – 45	15 – 40
0.425 (N° 40)	25 – 45	15 – 30	15 – 30	8 – 20
0.075 (N° 200)	8 – 15	5 – 15	5 – 15	2 – 8

Nota. (1) A para zonas con altitud superior a 3000 msnm. EG-2013 (MTC, 2015).

Tabla 6

Características Técnicas de una Subbase Granular

Propiedad	< 3000 msnm	>3000 msnm	
Sales solubles	1%	1%	máx.
Abrasión	50%	50%	máx.
CBR (1)	40%	40%	mín.
IP	6%	4%	máx.
LL	25%	25%	máx.
Partículas chatas y alargadas	20%	20%	máx.
EA	25 %	35%.	mín.

Nota. (1) referido al 100% de la MDS y penetración de carga de 0.1" EG-2013 (MTC, 2015).

2.3.11. Base granular

Los materiales empleados como bases deben cumplir con los estándares de calidad necesarios para asegurar un rendimiento óptimo en la estructura del pavimento. Estos materiales deben estar exentos de contaminantes como residuos orgánicos, tierra vegetal, arcillas u otros compuestos perjudiciales.

En caso no cumplir con los lineamientos técnicos estos materiales se someterán a tratamientos mecánicos que serán suficientes para cumplir con las especificaciones requeridas apropiadas, habitualmente: eliminación de residuos, desintegración, cribado, trituración y a veces lavarse. Ocasionalmente, si el material que se envía desde el banco no cumple los requisitos técnicos debe ser tratado, mediante la combinación con el material de otra cantera o con la inclusión de aditivos que ayuden a mejorar sus propiedades (Huaman A. K., 2018).

Tabla 7.

Gradación y Características Técnicas de Base Granular

Tamiz	Porcentaje que pasa				
	A	B	C	D	
50 mm (2")	100	100			
25 mm (1")		75 – 95	100	100	
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 - 85	60 - 100	
4.75 mm (N° 4)	25 – 55	30 – 60	35 - 65	50 - 85	
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 - 50	40 - 70	
4.25 um (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 - 30	25 - 45	
75 um (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 -15	8 - 15	
Abrasión	40%	40%	40%	40%	Máx.
CBR de Laboratorio	80%	80%	80%	80%	Mín.
LL	25%	25%	25%	25%	Máx.
IP	4%	4%	4%	4%	Máx.
EA	45%	45%	45%	45%	Mín.

Nota. Norma CE.010 (MVCS, 2010).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

H1: La adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) influye en las características del material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, 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 residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) no influye en las características del material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, Chota y no cumple con los requisitos técnicos de la EG-2013.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El suelo de la cantera Rejopampa Alto presenta características físicas y mecánicas (granulometría, humedad, LL, LP, densidad máxima seca y contenido óptimo de humedad, CBR y abrasión de Los Ángeles) que no cumplen en su totalidad con los requisitos técnicos de la EG-2013 para afirmado, subbase y/o base granular.
- La adición de aserrín en proporciones de 1%, 5% y 10% modifica significativamente las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la cantera Rejopampa Alto, pudiendo mejorar parámetros como el CBR.
- La adición de caucho granular en proporciones de 1%, 5% y 10% mejora las propiedades mecánicas del suelo de la cantera Rejopampa Alto, especialmente en términos de resistencia al desgaste y capacidad de soporte (CBR).
- El caucho granular genera un mayor incremento en la resistencia al desgaste y capacidad de soporte del suelo, mientras que el aserrín influye principalmente en la reducción de la densidad seca máxima y en el control de la plasticidad.

- El suelo de la cantera Rejopampa Alto, con la adición de 5% de caucho granular o 5% de aserrín, cumple los requisitos de granulometría, plasticidad, CBR y desgaste por abrasión establecidos en la EG-2013 para ser empleado como afirmado, subbase o base granular.

2.5. Operacionalización de variables

2.5.1. Variable independiente: Residuos orgánicos (Aserrín) e Inorgánicos (Caucho granular)

Residuos orgánicos (Aserrín). Es el material de residuos biológicos generados durante el corte de la madera, que es considerado un desecho orgánico, pero que puede generar beneficios para el suelo al adicionarlo al mismo (Garzón et al., 2005).

Residuos inorgánicos (Caucho granular). Es el residuo de los neumáticos fuera de uso que, es triturado obteniendo así, caucho granular. Residuo que, tarda más de 500 años en degradarse, pero que, por sus características resistentes y de elasticidad puede ser reutilizado en forma de caucho granular (Tasalloti et al., 2021).

2.5.2. Variable dependiente: Material de afirmado

El material de una cantera es denominado suelo granular y presenta peculiaridades físicas y mecánicas, que deben ser evaluadas para garantizar que se cumpla los requisitos técnicos para afirmado, subbase y base granular de carreteras acorde a la EG-2013 (MTC, 2015).

Tabla 8

Operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional	Indicadores	Índice	
VI Residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular)	Son todos aquellos residuos que, tienen origen biológico (orgánicos) o no biológicos (inorgánicos) (Tasalloti et al., 2021)	Aserrín	Es el material de residuo del proceso de aserrado de la madera (Garzón et al., 2005).	Porcentaje de adición en base a los antecedentes	1% 5% 10%	
				Porcentaje de adición en base a los antecedentes	1% 5% 10%	
				Porcentaje de adición en base a los antecedentes	1% 5% 10%	
	VD Material de afirmado	Es aquel material que, se utiliza en carreteras no pavimentadas como capa de rodadura, o pavimentadas como capa de base granular previo a la construcción del pavimento rígido o asfaltado (MTC, 2015).	Propiedades físico-mecánicas del suelo	Características del suelo natural que, son analizadas para verificar que, cumplan con la EG-2013	Granulometría	%
					LL	%
					LP	%
IP					%	
MSD					g/cm3	
OCH					%	
CBR					%	
Desgaste					%	
Propiedades del suelo aserrín					Características del suelo con aserrín que, son analizadas para verificar que, cumplan con la EG-2013	Granulometría
			LL	%		
			LP	%		
			IP	%		
			Desgaste	%		
			MDS	g/m3		
			OCH	%		
			CBR	%		
			Propiedades del suelo caucho granular	Características del suelo con caucho que, son analizadas para verificar que, cumplan con la EG-2013		Granulometría
LL					%	
LP	%					
IP	%					
Desgaste	%					
MDS	g/m3					
OCH	%					
CBR	%					

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

El enfoque fue cuantitativo, se basa en la recolección y análisis de datos numéricos, utilizando métodos estadísticos para medir y comparar las variables (Sanca, 2011). En este caso, mediante la realización de estudios de laboratorio se obtuvieron datos numéricos de las propiedades del suelo natural y con los residuos orgánicos e inorgánicos por separado, lo que permitió el procesamiento y análisis estadístico de los mismos, para arribar a conclusiones.

El tipo de investigación fue aplicada, se utilizaron aditivos orgánicos como inorgánicos para mejorar las propiedades del suelo, con la finalidad de que cumpla los requisitos técnicos para afirmado, subbase y/o base granular. Se logró conocimiento técnico a partir de información teórica para su uso práctico.

El nivel de investigación fue descriptivo correlacional simple. Se detallaron los resultados y se examinó cómo el porcentaje de incorporación de residuos orgánicos e inorgánicos por separado en el suelo influyó en sus propiedades para su uso como afirmado.

Tabla 9

Tipo de Investigación según Criterios

Criterio	Tipo de investigación
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Objetivos	Descriptiva correlacional
Escenario donde sucede	Laboratorio, campo
Estrategia metodológica	Cuantitativa
Fuente	Primaria
Finalidad	Aplicada
Diseño de la prueba	Experimental

3.2. Diseño de investigación

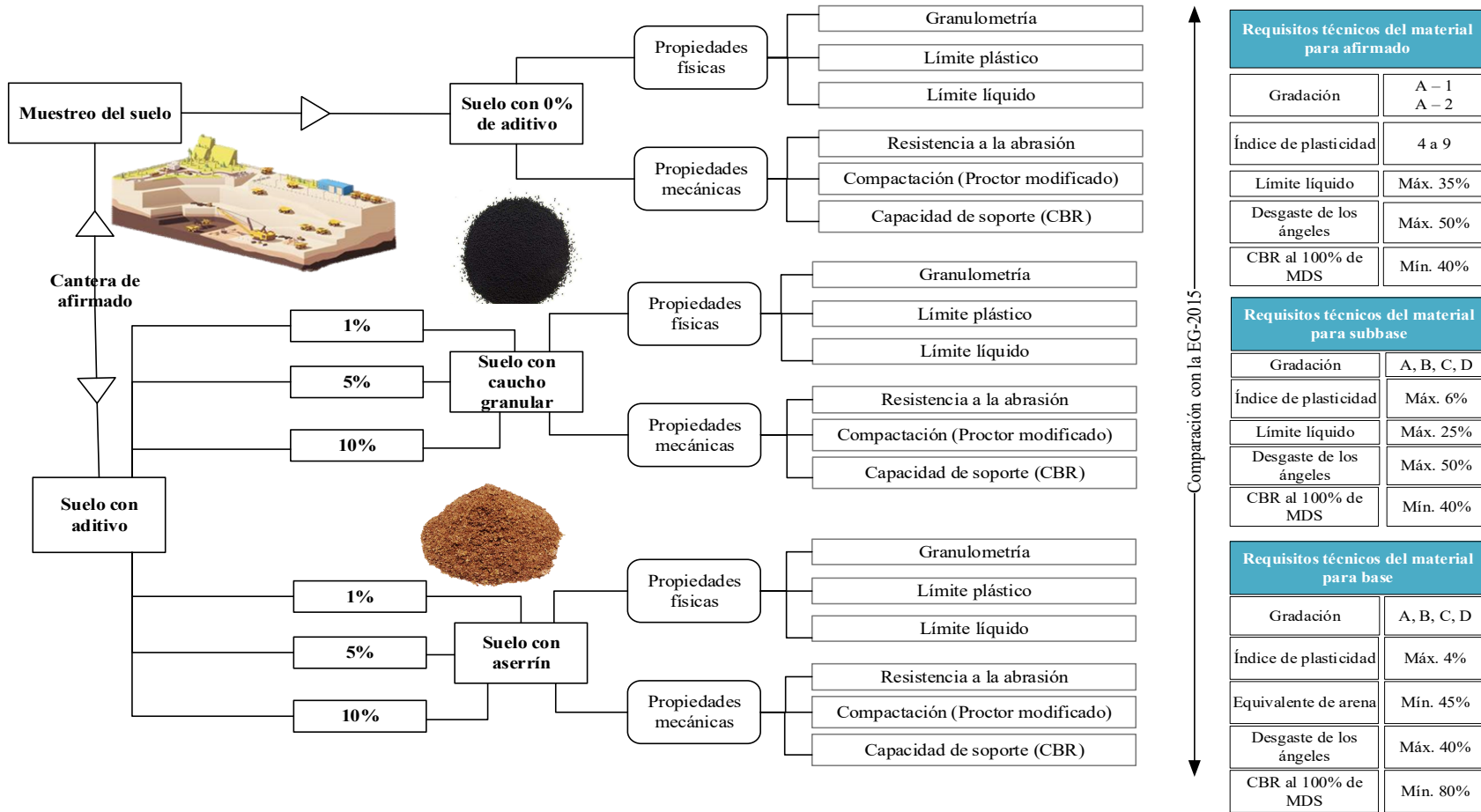
Se utilizó el diseño experimental con grupo de control, porque se manipulan las variables independientes (aserrín y caucho granular) para observar sus efectos en las propiedades del material de afirmado (variable dependiente). Se incluye un grupo de control, que consiste en muestras de afirmado sin la adición de residuos, para comparar y validar los resultados, permitiendo establecer la influencia directa de los residuos añadidos en las propiedades del material.

3.3. Métodos de investigación

El método de investigación aplicado fue analítico-sintético, el cual involucró dos procesos mentales opuestos pero complementarios: el análisis y la síntesis. El análisis permitió descomponer un objeto o situación en sus partes, cualidades, y relaciones, mientras que la síntesis integró estos elementos para comprender el todo en su totalidad. En este caso al suelo en sus propiedades y luego con el método sintético, las partes se unieron para formar un todo y llegar a una conclusión general acerca de su probable uso como material de afirmado.

Figura 16

Diseño de Investigación Experimental con Grupo de Control



Requisitos técnicos del material para afirmado

Gradación	A - 1 A - 2
Índice de plasticidad	4 a 9
Límite líquido	Máx. 35%
Desgaste de los ángeles	Máx. 50%
CBR al 100% de MDS	Mín. 40%

Requisitos técnicos del material para subbase

Gradación	A, B, C, D
Índice de plasticidad	Máx. 6%
Límite líquido	Máx. 25%
Desgaste de los ángeles	Máx. 50%
CBR al 100% de MDS	Mín. 40%

Requisitos técnicos del material para base

Gradación	A, B, C, D
Índice de plasticidad	Máx. 4%
Equivalente de arena	Mín. 45%
Desgaste de los ángeles	Máx. 40%
CBR al 100% de MDS	Mín. 80%

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

La población de estudio está conformada por el suelo granular extraído de la cantera Rejopampa Alto, ubicada en el centro poblado del mismo nombre, distrito de Chota, región Cajamarca. Este material ha sido identificado como un suelo de afirmado con características físicas y mecánicas que, si bien cumplen parcialmente con las exigencias de la normativa EG-2013, presenta un índice de plasticidad elevado, lo cual compromete su uso directo como base granular sin tratamiento estabilizante (Ticlla, 2021). Siendo así, se ha propuesto el uso de este material granular por sí solo y con diferentes residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular).

La selección de la población se basó en criterios técnicos y prácticos que aseguran la representatividad del estudio. Se eligió el suelo granular de la cantera Rejopampa Alto debido a su disponibilidad y accesibilidad, ya que es una fuente activa de afirmado que abastece obras viales en la provincia de Chota. Además, cuenta con condiciones técnicas documentadas, como granulometría, límites de Atterberg y valores de CBR, según estudios previos (Ticlla, 2021), lo que permite validar y comparar resultados. Su relevancia local también fue determinante, pues el material es comúnmente utilizado en vías rurales de la zona, donde su mejoramiento puede generar un impacto positivo en la durabilidad de la infraestructura. Finalmente, se consideró la necesidad de mejora, ya que el material presenta alta plasticidad y baja resistencia en condiciones húmedas, lo que exige tratamientos estabilizantes para cumplir con los estándares técnicos exigidos para capas de base y subbase.

Tabla 10

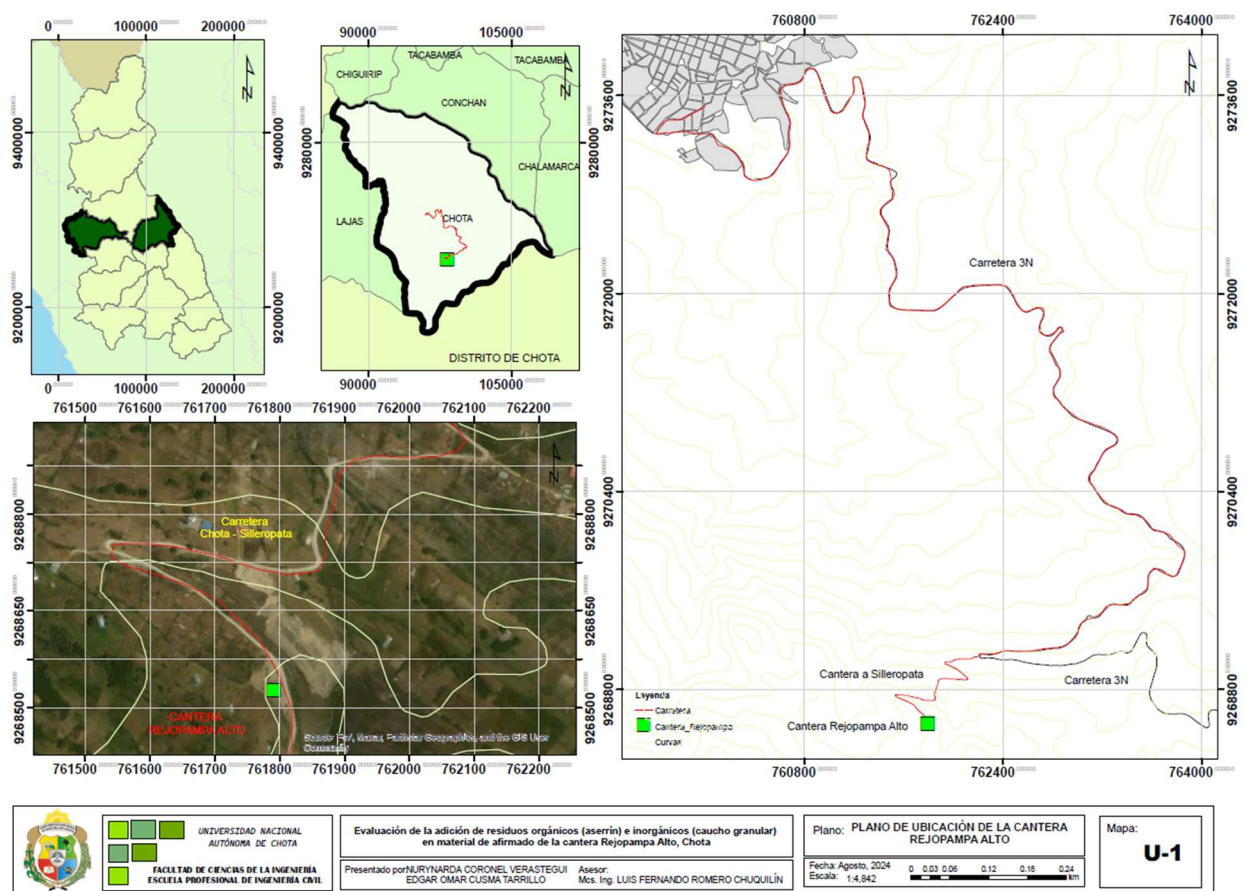
Características de la Cantera Rejopampa Alto

Características técnicas	
Denominación de cantera	Cantera Rejopampa Alto
Centro poblado	Rejopampa Alto
Coordenadas UTM	9268631.20 m N, 761820.00 m E
Altitud (msnm)	2964.50
Localización	Km 13+400 carretera Chota – Silleropata
Propietario	Sr. Darío Ramírez Cubas
Perímetro (ml)	323.57
Área aprovechable (m2)	6,538.64
Volumen aprovechable (m3)	96,293.61

Nota. (Ticlla, 2021).

Figura 17

Ubicación de la Cantera Rejopampa Alto



Nota. El mapa se elaboró en ArcGIS a partir de los Shp dados por el MINEDU.

3.4.2. Muestreo

El tipo de muestreo empleado en esta investigación fue no probabilístico por conveniencia, debido a que la selección del sitio de extracción y de las proporciones de mezcla no se realizó al azar, sino con base en criterios técnicos y antecedentes documentados, que se detallan a continuación:

Tabla 11

Criterios de Inclusión y Exclusión del Sitio de Extracción: Cantera

Inclusión	Exclusión
<ul style="list-style-type: none">– Cantera Rejopampa Alto (Chota) con diagnóstico previo de necesidad de mejora para uso como material granular (Ticlla, 2021).– Frente de explotación activo y accesible, con condiciones operativas seguras para toma de muestras.– Representatividad regional: depósito típico de afirmado granular usado en vías no pavimentadas de la zona.– Homogeneidad visible del estrato explotado (textura y color marrón-amarillento relativamente uniformes) en el espesor útil donde se extraen las muestras.– Material no previamente estabilizado ni mezclado con aditivos, y sin contaminación por residuos orgánicos, basura o suelos ajenos.	<ul style="list-style-type: none">– Sectores de la cantera con mezcla evidente de materiales heterogéneos (intercalaciones arcillosas o limo-orgánicas, capas rellenas).– Áreas con alteración por escorrentía reciente, encharcamientos o finos lavados que distorsionen la condición natural.– Material de stockpiles antiguos expuestos a intemperie prolongada o contaminación cruzada por maquinaria.– Frente con presencia de materiales orgánicos visibles, raíces, humus o basura.

Por tanto, la cantera Rejopampa Alto fue seleccionada como unidad de extracción del suelo granular, considerando que presenta un diagnóstico previo que indica la necesidad de mejorar sus propiedades geotécnicas para su uso como base granular (Ticlla, 2021). Este criterio asegura que el material en estudio represente condiciones reales y problemáticas que son comunes en la provincia.

Tabla 12*Crterios de Inclusión y Exclusión del Material a Utilizar: Suelo Granular de Cantera*

Inclusión	Exclusión
<ul style="list-style-type: none"> – Fracción recolectada del estrato natural identificado como afirmado granular. – Humedad natural dentro de un rango manejable de laboratorio (p.ej., sin saturación libre ni secado excesivo que desagregue la muestra). – Muestras con tamaño máximo acorde a los ensayos previstos (material apto para ser reducido por cuarteo hasta pasar las fracciones requeridas para Proctor modificado, CBR y Abrasión de Los Ángeles). – Sin trazas de hidrocarburos, yeso, sales o residuos de construcción. – Muestreo en condiciones climáticas estables (sin lluvia intensa) que aseguren la representatividad de humedad natural y eviten lavado de finos. 	<ul style="list-style-type: none"> – Muestras con contaminación visible (aceites, residuos de hormigón, metales). – Muestras con alteración evidente por secado forzado al sol o lavado previo. – Presencia dominante de material orgánico o raíces que impidan la preparación normalizada. – Muestreo bajo precipitaciones o eventos que alteren significativamente la humedad y textura superficial del depósito.

Tabla 13*Crterios de Inclusión y Exclusión de los Aditivos a Incorporar*

Aserrín	Caucho granular
<p>Inclusión: aserrín limpio, seco (humedad \leq 12% al momento de mezclar), libre de pinturas, barnices o tierra; tamaño predominante fino-medio (viruta o serrín que se distribuya homogéneamente).</p> <p>Exclusión: aserrín con contaminantes (adhesivos, solventes, aceites), con astillas largas que impidan la mezcla o con humedad excesiva que altere de forma no controlada el OCH.</p>	<p>Inclusión: caucho de neumáticos triturados, sin acero ni textiles, limpio, con granulometría adecuada para mezclarse con el suelo (p.ej., partículas tipo “chips” que pasen por los tamices usados en el diseño de mezcla).</p> <p>Exclusión: caucho con fibras metálicas o textiles remanentes, sucio (polvos, tierra) o en tamaños que generen segregación marcada.</p>

Por otro lado, los porcentajes de adición de residuos (1%, 5% y 10%) fueron definidos con base en estudios experimentales previos desarrollados en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la UNACH. En particular:

- Bustamante (2023) trabajó con adiciones de caucho granular entre 1% y 10% y reportó mejoras significativas en la resistencia al corte.
- Nezami & Kharaghani (2018) y Karim et al. (2018) también evidencian que los efectos estabilizantes del aserrín y su ceniza son más notorios en el rango del 5% al 10% sobre el peso seco del suelo.

Tabla 14

Criterios de Inclusión y Exclusión de las Dosificaciones

Inclusión	Exclusión
Inclusión: proporciones definidas en el plan experimental (1%, 5% y 10% en peso seco del suelo) tanto para aserrín como para caucho granular, preparadas por peso y mezcladas en seco hasta lograr distribución uniforme.	Inclusión: mezclas fuera de los porcentajes establecidos o con segregación evidente (bolsones de aserrín/caucho).

Tabla 15

Criterios de Inclusión y Exclusión de las Muestras a Preparar en Laboratorio

Inclusión	Exclusión
– Reducción y cuarteo siguiendo prácticas estandarizadas para obtener porciones representativas.	– Probetas dañadas durante el desmolde, transporte o saturación.
– Ensayos previstos: Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado (MDS y OCH), CBR (al 95% y 100% de MDS, según plan), y Abrasión de Los Ángeles para la fracción aplicable.	– Resultados atípicos con evidencia de error de procedimiento (fallas de compactación, roturas anómalas, equipos fuera de calibración). Solo se excluyen con registro del incidente y repetición del ensayo.
– Réplica mínima por ensayo conforme al plan (≥ 1 para Proctor y CBR) y control de calidad (verificación de balanzas, horno, compactador, máquina de abrasión).	

3.4.3. Muestra

La muestra no probabilística se compone de 500 kg de suelo extraído de la cantera Rejopampa Alto (de acuerdo con el MTC (2016) en el manual de ensayos de materiales se requiere 40 kg para ensayos mecánicos por cada proporción), a las cuales se les añadieron proporciones específicas de aserrín (1%, 5%, 10%) y caucho granular (1%, 5%, 10%) en relación con el peso seco del suelo, para realizar los ensayos correspondientes. Cada combinación de suelo y aditivo representó una unidad de análisis para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del material mejorado.

Los porcentajes de adición de residuos seleccionados (1%, 5% y 10%) se definieron en función de estudios experimentales previos que respaldan su efectividad. Bustamante (2023) evidenció que el caucho granular, en proporciones entre 1% y 10%, mejora significativamente la resistencia al corte del suelo. Asimismo, investigaciones de Nezami & Kharaghani (2018) y Karim et al. (2018) demostraron que el aserrín y su ceniza presentan efectos estabilizantes más notorios cuando se aplican en rangos de 5% a 10% respecto al peso seco del suelo.

Tabla 16

Número Ensayos de Laboratorio en el Suelo granular con Residuos Orgánicos

Ensayos	Aserrín				Total
	0%	1%	5%	10%	
Granulometría	1	1	1	1	4
Humedad	2	2	2	2	8
LL	3	3	3	3	12
LP	2	2	2	2	8
Proctor modificado	3	3	3	3	12
CBR	3	3	3	3	12
Abrasión los Ángeles	3	3	3	3	12
Total	17	17	17	17	68

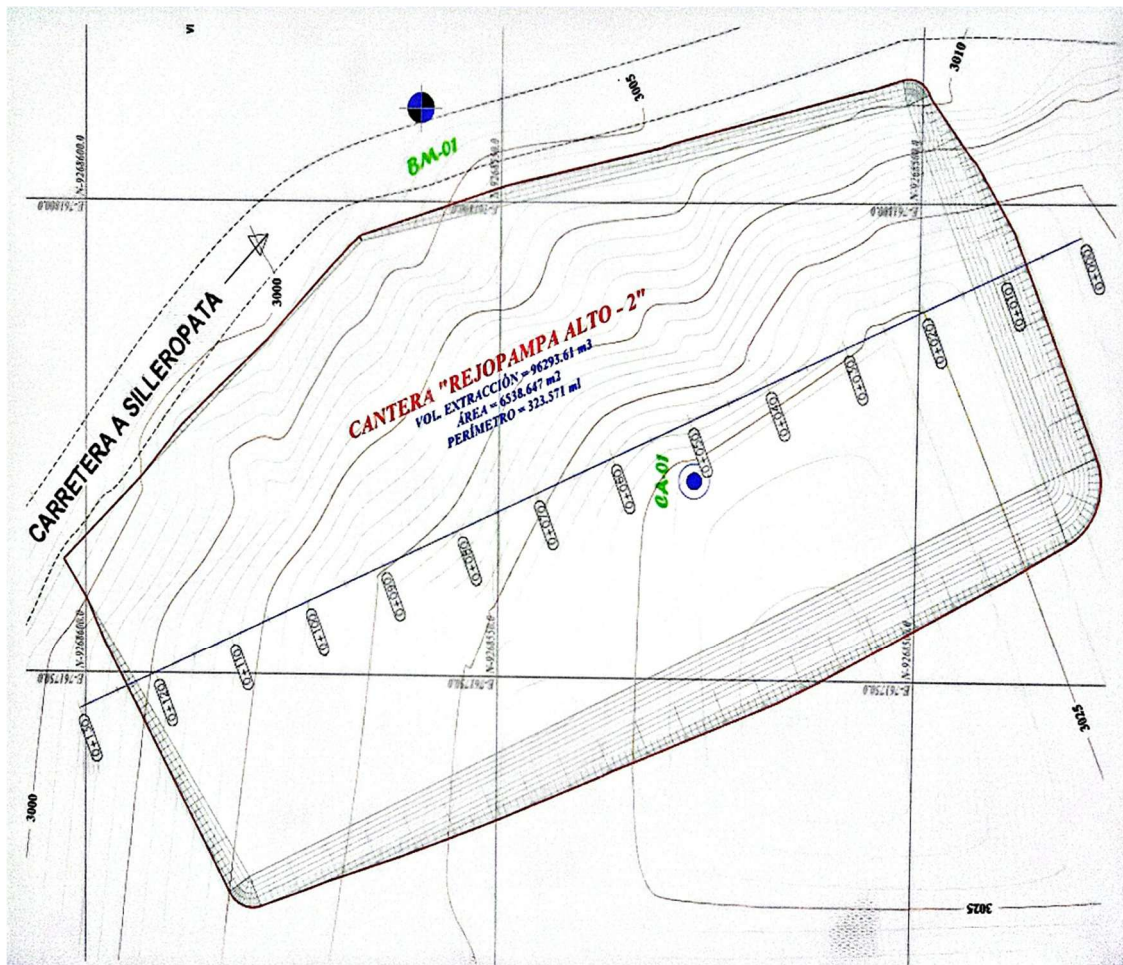
Tabla 17

Número Ensayos de Laboratorio en el Suelo granular con Residuos Inorgánicos

Ensayos	Caucho granular				Total
	0%	1%	5%	10%	
Granulometría	1	1	1	1	4
Humedad	2	2	2	2	8
LL	3	3	3	3	12
LP	2	2	2	2	8
Proctor modificado	3	3	3	3	12
CBR	3	3	3	3	12
Abrasión los Ángeles	3	3	3	3	12
Total	17	17	17	17	68

Figura 18

Cantera Rejopampa Alto



Nota. (Ticlla, 2021).

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Observación. Esta técnica permitió visualizar el problema y plantear la investigación. Consiste en realizar un seguimiento sistemático a todos los procesos realizados en la investigación registrando las observaciones principales. La observación se utilizó a lo largo de todo el proceso investigativo desde sus inicios hasta la recopilación de datos para el planteamiento de resultados.

Experimentación. Técnica de recopilación de información que permitió la variabilidad de la variable dependiente por intervención de la variable independiente, pero cuyo análisis se basó en ensayos de laboratorio. Tales como:

- **Ensayos en suelo natural.** Permitted tener un grupo de control del suelo granular de la cantera en estado natural sin aditivos.
- **Ensayos en suelo granular con aserrín y con caucho granular.** Fueron los ensayos realizados al suelo con diferentes proporciones de aserrín y caucho granular por separado para conocer su efecto en las propiedades del suelo.

3.5.2. Instrumentos para la recolección de datos

Cuaderno de campo. Instrumento primario por el que, se documentó lo que se ha observado durante el proceso de investigación.

Formatos de ensayos de laboratorio. Para la experimentación se utilizaron formatos de laboratorio, estos pertenecieron al laboratorio en el que se realizó el estudio, y fueron realizados acorde a las normas técnicas peruanas. Los formatos utilizados fueron: Formato para ensayo del contenido de humedad, para análisis granulométrico, para límites de consistencia, para Proctor modificado, para CBR de laboratorio y para ensayo de abrasión de los ángeles.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Proceso de ejecución de la investigación

3.6.1.1. Obtención de caucho granular

El caucho granular utilizado en este estudio fue adquirido de manera comercial en la ciudad de Chiclayo a través de la empresa limeña “TecnoGrass Perú” con sede local, especializada en reciclaje de neumáticos fuera de uso que luego son triturados y tamizados para convertirlos en caucho granular. Este material se caracteriza por tener un diámetro nominal de ½”.

Tabla 18

Propiedades Físico mecánicas del Caucho Granular

Propiedad	Caucho granular
Contenido humedad %	0.01
Densidad aparente (g/cm ³)	0.50 ± 0.02 g/cm ³
Peso específico (Kg/m ³)	1.1 ± 0.2 kg/m ³
Diámetro de partícula	½”
Absorción (ab) %	0.00
Abrasión (%)	0.64

Nota. obtenido de la ficha técnica, ver anexo.

Figura 19

Granulometría del Caucho Granular

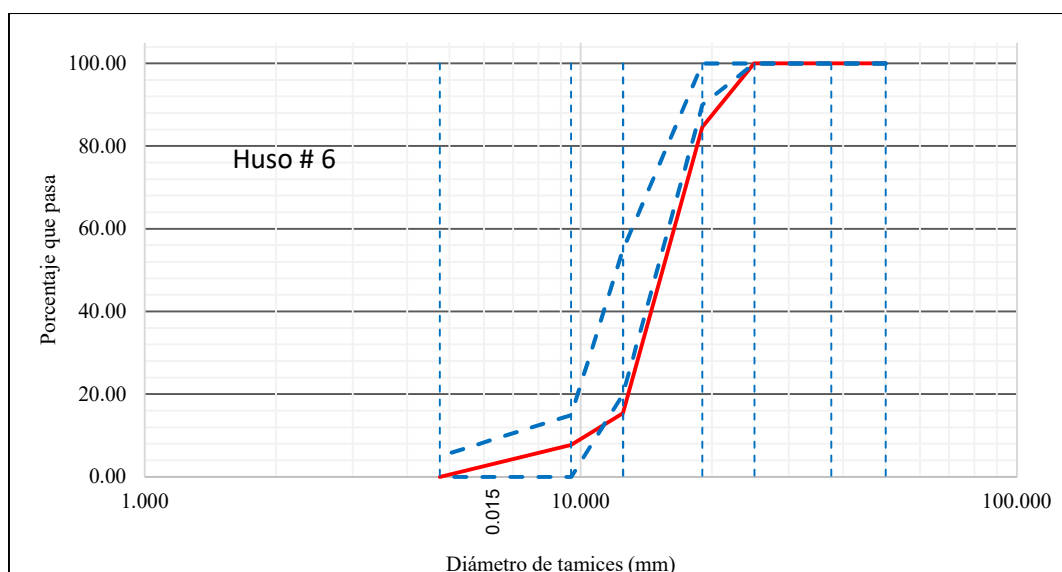


Figura 20

Caucho Granular Comercial Adquirido para el Estudio



Figura 21

Máquina Encargada del Proceso de Trituración de Neumáticos Fuera de Uso



Nota. (Bustamante, 2023).

3.6.1.2. Obtención de aserrín

El aserrín al ser un residuo orgánico de fácil alcance, ha sido obtenido a partir de las carpinterías de la ciudad de Chota. En cada una de estas se obtuvo un quintal de aserrín de forma gratuita por parte de los dueños de las entidades, quienes argumentan que este compuesto es depositado en las afueras de la ciudad de Chota, cuando no es adquirido comercialmente por algunas personas para realizar actividades de reciclaje.

Tabla 19

Ubicación de Algunas Carpinterías de Chota 2024

Ítem	Carpintería	Ubicación	Residuos de aserrín	
			(N° de quintales diarios)	Kg diarios
1	Nueva Esperanza	Jr. Edelmira Silva N° 214	5.0	500
2	S/N	Psj. San Mateo N° 631	4.5	450
3	Rubio	Av. Todos los Santos N° 960	6.0	600
5	Tapia	Jr. Pedro Coronado N° 203	4.0	400

Figura 22

Aserrín Obtenido de las Carpinterías en Chota



3.6.1.3. Obtención de suelo de la cantera Rejopampa Alto

Los materiales necesarios para llevar a cabo los ensayos se obtuvieron del perfil de talud de la cantera Rejopampa Alto, por ser una cantera que se encuentra en extracción. Se obtuvo 500 kg de material granular para la realización de los ensayos de laboratorio, ya que, según el Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016) y el manual de Llique (2003) se sugiere 5 kg para ensayos de clasificación, y 40 kg para ensayos de compactación y CBR por cada dosificación de mezcla, y al trabajar con cuatro tipos de mezclas y 10% de desperdicio da un total de 250 kg de material para muestras de suelo con aserrín y 250 kg de material para muestras de suelo con caucho granular.

Las muestras recolectadas fueron colocadas en sacos impermeables adecuadamente etiquetadas y se trasladaron al laboratorio de la EPIC – UNACH.

Figura 23

Cantera Rejopampa Alto y Proceso de Recolección del Suelo Granular



3.6.1.4. Combinaciones de suelo de la cantera Rejopampa Alto con los aditivos

Para las combinaciones del suelo con aserrín y caucho granular por separado se han utilizado las proporciones de 1%, 5%, 10% en relación con el peso seco del suelo. Por lo que, en el laboratorio de mecánica de suelos de la EPIC UNACH, se pesó el suelo y en relación a este peso se adicionó el aditivo.

Tabla 20

Dosificaciones de Combinación de Suelo con Aserrín y Caucho Granular

Dosificación	Material	Peso (kg) para 1000 kg de suelo	Residuo en m ³
1%	Aserrín	10	0.0067
5%	Aserrín	50	0.0336
10%	Aserrín	100	0.0672
1%	Caucho	10	0.0077
5%	Caucho	50	0.0384
10%	Caucho	100	0.0769

Nota. El peso unitario del aserrín es igual a 1486 kg/m³ de acuerdo al estudio de Rojas (2024), mientras que, el peso unitario del caucho granular de 1300 kg/m³ se ha obtenido de la ficha técnica.

Figura 24

Combinaciones de Suelo con los Aditivos



3.6.1.5. Ensayos físicos y mecánicos al suelo natural y el suelo tratado de la cantera

Rejopampa Alto

En el laboratorio de mecánica de suelos de la EPIC – UNACH se realizaron los ensayos físicos y mecánicos al suelo natural y al suelo combinado con los residuos de aserrín y caucho granular por separado, para ello, se siguió los procedimientos estándar dados en las normas técnicas peruanas (NTP) con ayuda de los técnicos de laboratorio, asegurando la confiabilidad de los resultados.

Figura 25

Realización de Ensayos de Laboratorio con Apoyo de los Técnicos



a) NTP 339.128 Granulometría (INACAL, 2019)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Tamices de diferentes aberturas
- Agitador mecánico de tamices
- Bandejas de acero inoxidable
- Horno de secado a 110 ± 5 °C

- Balanza
- Espátula y cepillos con cerdas suaves

Procedimiento: Se secó la muestra de suelo en el horno por 1 día, luego se pesó una cantidad representativa de suelo y se colocó en el agitador mecánico de tamices, utilizando los tamices en orden decreciente de acuerdo a la apertura. Se agitó durante 10 minutos y se pesó el material retenido en cada tamiz.

Figura 26

Realización del Ensayo de Granulometría en el Suelo con Aserrín



b) NTP 339.127 Humedad (INACAL, 2019)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Horno de secado a 110 ± 5 °C
- Balanza
- Recipientes con tapa metálica (cápsulas)

Procedimiento: Se pesó el suelo húmedo registrando su peso inicial, luego se colocó la muestra de suelo en el horno por aproximadamente 1 día. Cuando la muestra estuvo seca, se sacó del horno y se dejó enfriar, para luego pesar el suelo.

c) NTP 339.129 Límite líquido (INACAL, 2019)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Horno de secado a 110 ± 5 °C
- Balanza
- Aparato de Copa Casagrande
- Espátula
- Placa de vidrio
- Agua destilada

Procedimiento: Se preparó una pasta homogénea de suelo que pasa el tamiz N° 40, con agua destilada, para tener una mezcla pastosa, esta mezcla se dejó remojando por 1 noche, y al día siguiente se colocó la pasta en la Copa Casagrande y se alisó la superficie. Luego utilizando una ranura con cuchilla se dividió a la pasta de la copa en dos pedazos, generando una abertura de 12 mm. En este momento, se utilizó la copa Casagrande para generar la unión de la muestra a través de golpes con la manivela. Se registró el número de golpes, y se replicó el proceso varias veces, ajustando la cantidad de agua para obtener un número de golpes entre 15 y 35. Las muestras que, cumplieron con este rango de golpes fueron pesadas y llevadas al horno, determinando la humedad antes y después de salir del horno, para realizar la gráfica de fluidez que relaciona la humedad con el número de golpes para encontrar el límite líquido, siendo aquella humedad necesaria para unir la muestra de suelo con 25 golpes.

Figura 27

Realización del Ensayo de Límite Líquido



d) NTP 339.129 Límite plástico (INACAL, 2019)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Horno de secado a 110 ± 5 °C
- Balanza
- Espátula
- Placa de vidrio
- Agua destilada

Procedimiento: Se tomó una porción de suelo previamente humedecido para el ensayo de límite plástico, y se amasó hasta obtener una masa homogénea con la cual se formaron rollitos de aproximadamente 3 mm de diámetro hasta que

presentasen muestras de agrietamiento. En ese momento estas muestras se pesaron y llevaron al horno, registrando su peso al salir del horno, para obtener la humedad correspondiente al punto en el que el suelo comenzó a desmoronarse, siendo este el límite plástico.

Figura 28

Realización del Ensayo de Límite Plástico



e) NTP 339.141 Ensayo Proctor modificado (INACAL, 2019)

Equipos, materiales e instrumentos:

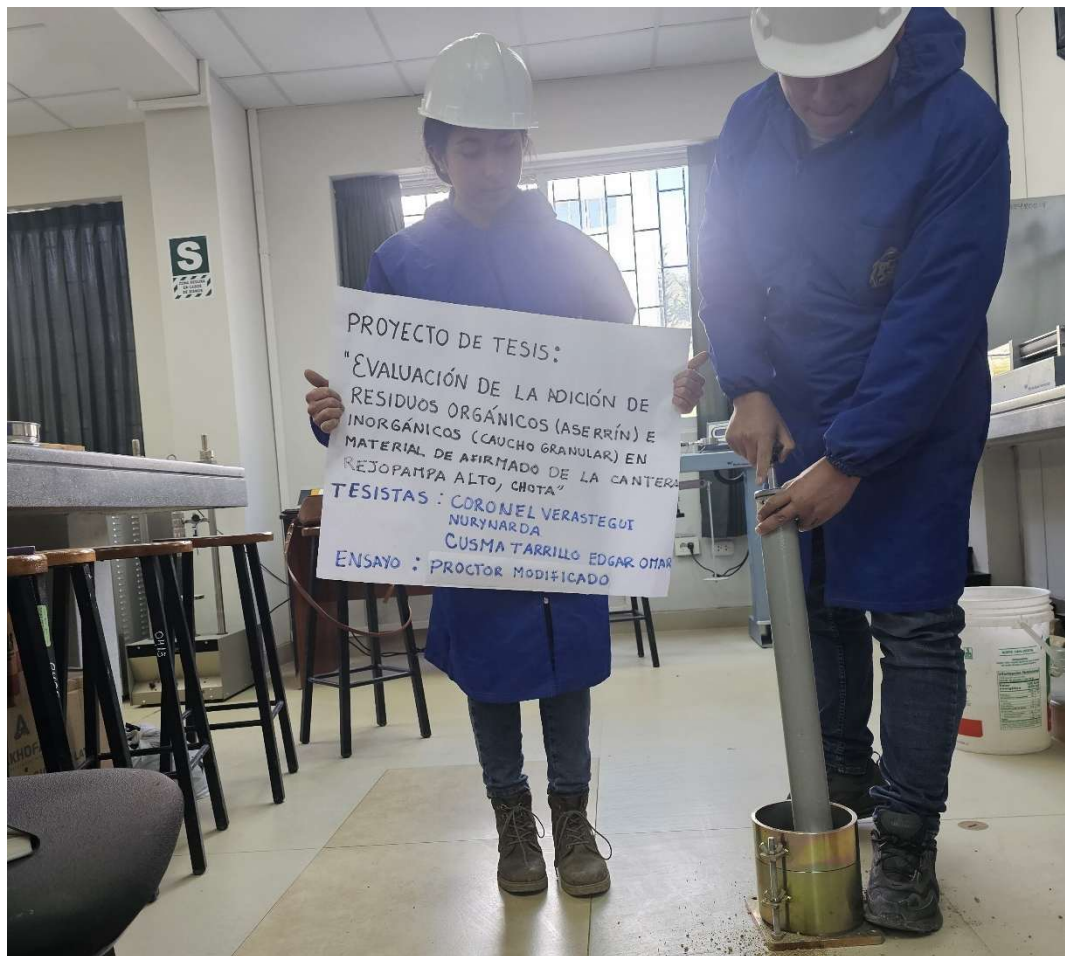
- Horno de secado a 110 ± 5 °C
- Balanza
- Molde cilíndrico
- Pisón o apisonador
- Pipeta para medir agua

Procedimiento: Se secó el suelo en horno, y se desmenuzó hasta que pasará el tamiz de 4.75 mm. Se prepararon muestras de suelo con diferentes contenidos de humedad, y se compactaron estas muestras en el molde en cinco capas, aplicando

25 golpes con el pistón por cada capa. Luego se pesó las muestras de suelo antes y después de ser llevadas al horno, utilizando estos datos para el cálculo de la densidad seca del suelo. Se repitió el procedimiento para diferentes contenidos de humedad y se elaboró la curva de compactación, determinando la máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad (OCH).

Figura 29

Realización del Ensayo de Compactación: Proctor Modificado



f) NTP 339.145 Capacidad de soporte (CBR) (INACAL, 2019)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Horno de secado a 110 ± 5 °C
- Balanza
- Molde cilíndrico

- Pisón manual
- Pipeta para medir la cantidad de agua
- Máquina de ensayo de CBR

Procedimiento: Se compactó la muestra de suelo en el molde con cinco capas, cada una compactada con 12, 27 y 56 golpes con el pistón manual. A la muestra previamente se le colocó el volumen de agua necesario para que alcance el OCH determinado en el ensayo de compactación. Luego, se colocó el molde en un tanque de agua y se dejó sumergido durante 4 días, registrando la deformación dada en el dial, para conocer la expansión del suelo. Después de la inmersión, se dejó secar en papel filtro por unos minutos, y luego se colocó en la máquina de ensayo de CBR, y se registró la carga necesaria para penetrar la muestra. Con dichos datos se calculó la curva CBR.

Figura 30

Realización del Ensayo de CBR de Laboratorio



g) NTP 400.019 Desgaste por abrasión (INACAL, 2020)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Horno de secado a 110 ± 5 °C
- Balanza
- Máquina de los Ángeles y conjunto de esferas de acero
- Tamiz N° 12

Procedimiento: Se secó la muestra de suelo, se tamizó y se pesó para registrar su peso inicial. Se colocó el suelo en la máquina Los Ángeles con el conjunto de esferas de acero, para girar el equipo a 500 revoluciones. Luego se retiró la muestra y se tamizó a través del tamiz N° 12, separando las partículas finas que se han producido por abrasión. Finalmente se pesó la fracción que paso el tamiz, y se calculó qué porcentaje representaba esta del peso total de la muestra inicial.

Figura 31

Realización del Ensayo de Abrasión Los Ángeles



3.6.2. *Procesamiento y presentación de resultados*

Los datos fueron procesados mediante una hoja de cálculo de Microsoft Excel, donde se calcularon las propiedades promedio y se determinaron los intervalos de confianza para cada una de las propiedades del suelo tanto en su estado natural como con las distintas dosificaciones de aserrín y caucho granular. Estos resultados se organizaron en tablas y gráficos.

3.6.3. *Análisis e interpretación de resultados*

El análisis de datos se llevó a cabo comparando los resultados de las propiedades del suelo natural con los obtenidos al añadir diferentes porcentajes de aserrín y caucho granular, en Microsoft Excel se calcularon y graficaron las variaciones en función del porcentaje de aditivo utilizado. Pero, además, en Minitab 22, se realizaron pruebas estadísticas para evaluar la significancia de las diferencias observadas, empleando análisis de varianza (ANOVA) y pruebas t de Student. Así mismo, los resultados se interpretaron comparando los valores obtenidos con los requisitos técnicos establecidos por el MTC (2014) y la EG-2013 (MTC, 2015) para su uso en la superficie de rodadura de carreteras.

3.7. Aspectos éticos

La ética en la investigación demandó que la actividad científica se lleve a cabo de acuerdo con principios éticos que promuevan el avance del conocimiento, la mejora de la condición humana y el progreso social, tal como explica Acevedo (2002) ajustándose a tres principios éticos fundamentales: respeto hacia las personas, búsqueda del bien, y justicia. Esto implicó maximizar los beneficios mientras se minimizan los daños y errores posibles. Además, se aplicaron criterios de rigor científico, como el uso de las normas APA 7ma edición y el estricto seguimiento del protocolo de investigación de la EPIC-UNACH.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados

4.1.1. *Propiedades del suelo de la cantera Rejopampa Alto, Chota.*

El suelo de la cantera Rejopampa Alto es de tipo grava arcillosa con humedad de 8.90%, límite líquido (LL) de 26.72% e índice de plasticidad (IP) de 10.77%, por tanto, el LL está dentro del rango máximo dado por el MTC (2014) de 35% para un material de afirmado, aunque su límite de liquidez es mayor al máximo (25%) para subbase y base granular en la EG-2013 (MTC, 2015). Así mismo, el IP del suelo de Rejopampa Alto supera la plasticidad máxima (4% a 9%) especificada por el MTC (2014), siendo así, el material es altamente plástico para ser utilizado como material de afirmado, por tanto, tampoco cumple los requisitos de la EG-2013 (MTC, 2015) para subbase y base granular.

El suelo cumple con el huso granulométrico tipo A-1 para material de afirmado y con el huso granulométrico B para subbase y base granular, presenta 60.43% de grava, 24.37% de arena, distribuida en arena gruesa, media y fina con porcentajes de 9.55%, 8.20% y 6.62%, respectivamente, y 15.20% de suelo fino, integrado por arcilla y limo.

Respecto a las propiedades mecánicas, el suelo compactado alcanza la máxima densidad seca (MDS) de 2.16 g/cm³, con el óptimo contenido de humedad (OCH) de 6.00%, así mismo, se expande hasta 0.04% cuando es sometido a interacción con el agua por cuatro días en el ensayo de CBR. La capacidad de soporte (CBR) del suelo al 95% MDS y 100% MDS es respectivamente 34.92% y 69.81%, superando ampliamente al mínimo de 40% sugerido por el MTC (2014) para material de afirmado y por la EG-2013 (MTC,

2015) para subbase granular, pero no alcanza el porcentaje de 80% para ser considerado como un material apto para base granular de acuerdo a la norma CE.010 (MVCS, 2010).

El porcentaje de desgaste por abrasión del suelo de la cantera Rejopampa Alto es de 26.86%, cumpliendo con el MTC (2014) para material de afirmado que especifica valores de desgaste menores a 50%, así mismo, también cumple con el porcentaje de desgaste para subbase y base granular de acuerdo a la EG-2013 (MTC, 2015) debido a que, no supera el rango de 40%.

Finalmente, se puede inferir que, el material de la cantera Rejopampa Alto cumple parcialmente con los requisitos para afirmado, incumpliendo solamente con la plasticidad, pero no cumple los requisitos técnicos para base granular.

Tabla 21

Propiedades del Suelo Natural

Propiedades	Valor
Humedad (%)	8.90
LL (%)	26.72
LP (%)	15.95
IP (%)	10.77
Clasificación SUCS	GC
Grava 3" (tamiz N° 4) (%)	60.43
Arena N° 4 – N° 200 (%)	24.37
Arena gruesa (N° 4 – N° 10) %	9.55
Arena media (N° 10 – N° 40) %	8.20
Arena fina (N° 40 – N° 200) %	6.62
Finos < N° 200 (%)	15.20
MDS (g/cm ³)	2.16
OCH (%)	6.00
Expansión (%)	0.04
CBR al 100% MDS	69.81
CBR al 95% MDS	34.92
Desgaste por abrasión (%)	26.86

Figura 32

Curva Granulométrica del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto

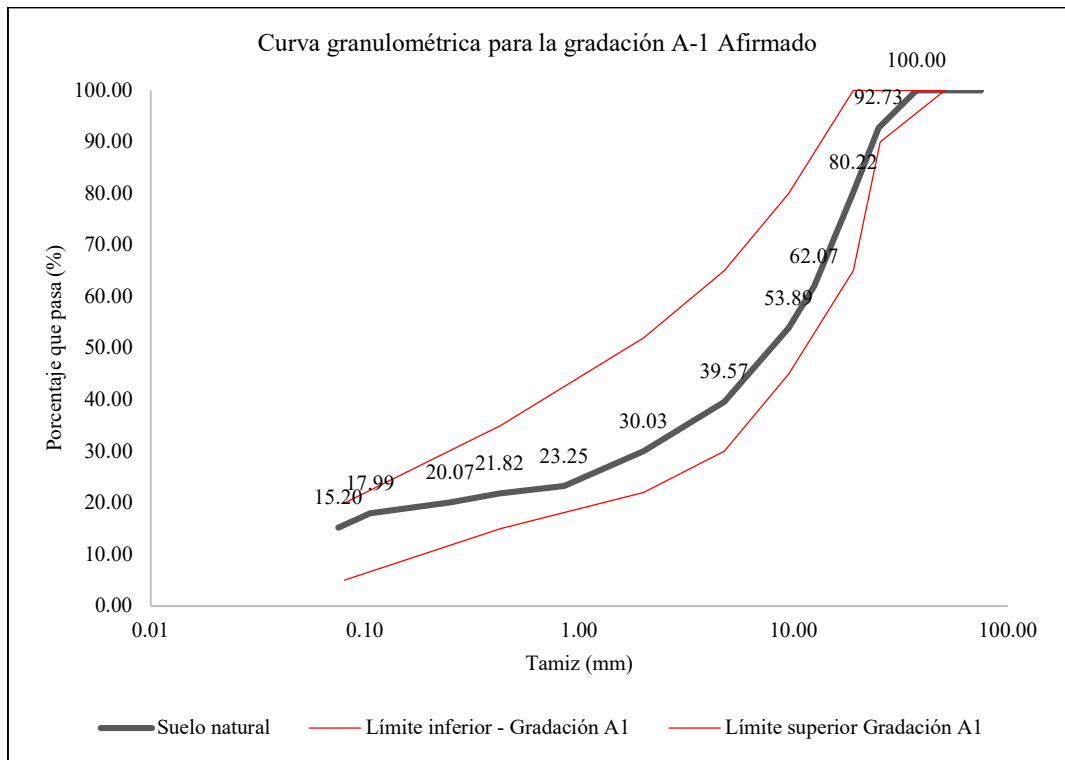


Figura 33

Curva de Fluidez del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto

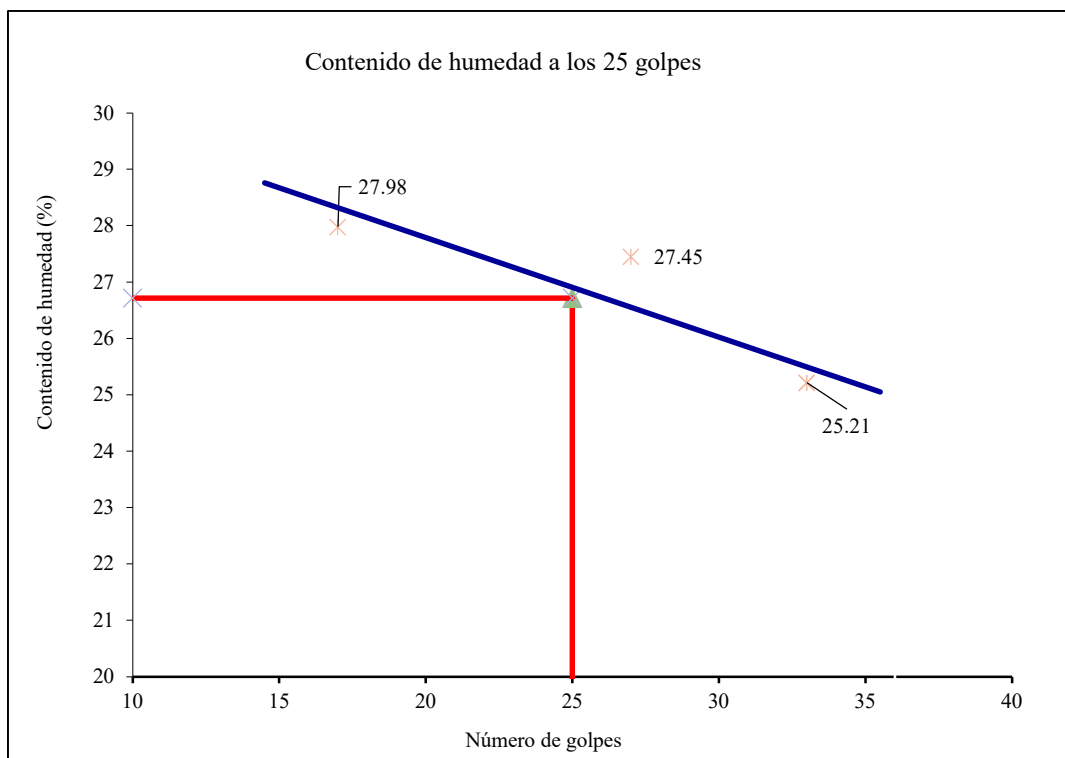


Figura 34

Curva de Compactación del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto

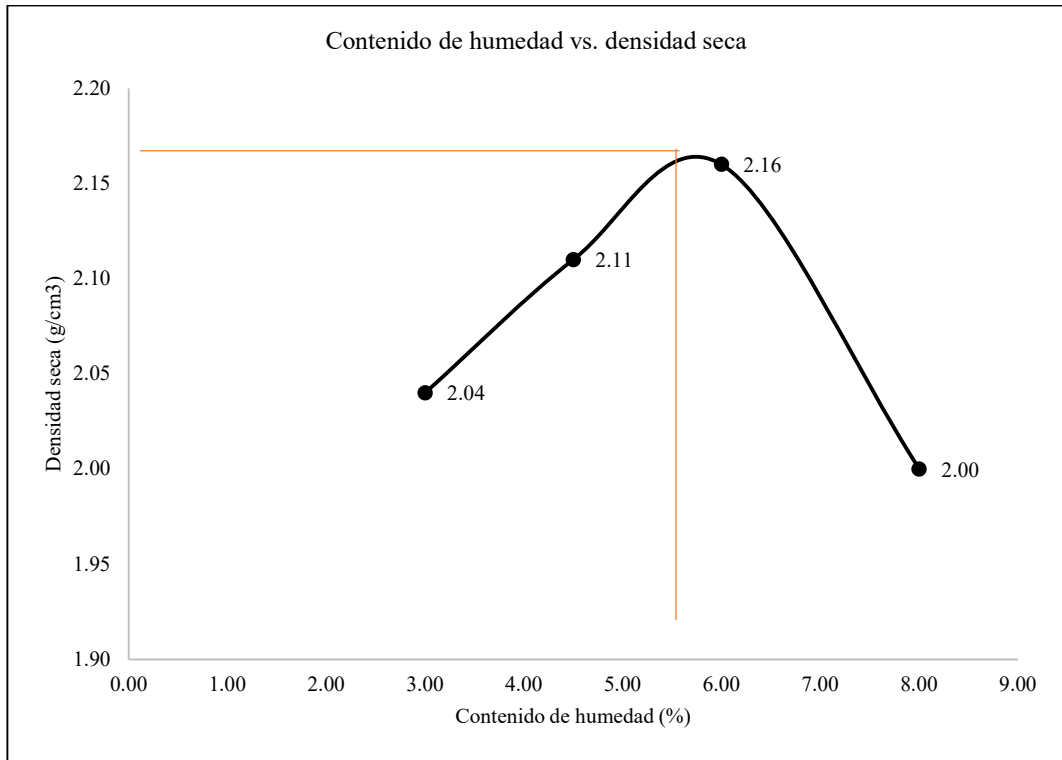
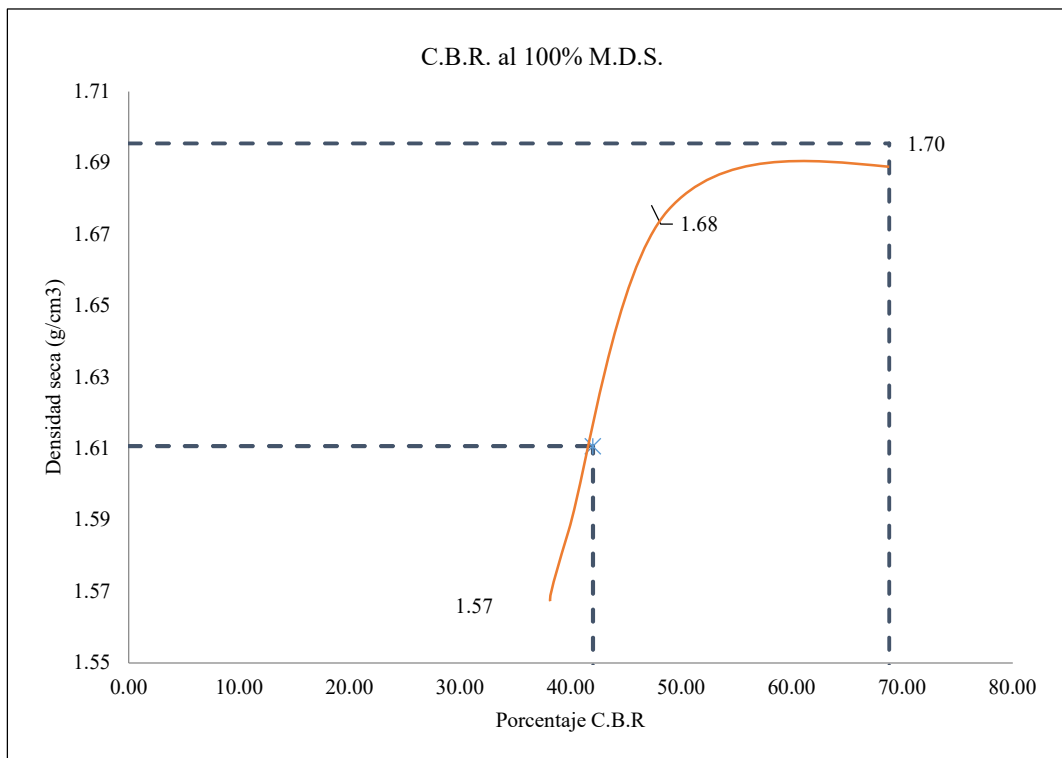


Figura 35

Curva CBR del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto



4.1.2. *Propiedades del suelo con 1%, 5% y 10% de aserrín*

El suelo de la Cantera Rejopampa Alto reduce su humedad conforme se aumenta el porcentaje de aserrín en la mezcla, siendo 8.90%, 7.81%, 6.79% y 4.41% para las mezclas de suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín, esto se debe a que, se ha utilizado aserrín en estado seco, por lo que al estar en contacto con el suelo absorbe parte del agua natural que tiene este, reduciendo así, su humedad crecientemente.

El límite líquido (LL) del suelo se incrementa conforme aumenta el porcentaje de adición de aserrín en el material granular, lo que, lleva a que se aleje más del porcentaje máximo sugerido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. El LL para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín es 26.72%, 27.51%, 33.39% y 40.33%, respectivamente. El LL para afirmado debe ser menor a 35%, por tanto, la mezcla de suelo con hasta 5% de aserrín cumple con este lineamiento del MTC (2014), pero el límite para ser considerado como subbase y base granular dado en la EG-2013 (MTC, 2015) es de 25%, por tanto, lejos de ayudar a cumplir este lineamiento la adición de aserrín ha hecho que el suelo se aleje del límite máximo.

El límite plástico (LP) del suelo se incrementa conforme aumenta el porcentaje de adición de aserrín en el material granular. El LP para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín es respectivamente 15.95%, 18.80%, 26.52% y 34.49%. Si bien este no es un parámetro clasificatorio para su uso como afirmado o base granular, este aumento se debe al material particulado del aserrín que, aumenta la presencia de finos en la mezcla de suelo.

El índice de plasticidad (IP) del suelo tiende a disminuir conforme se aumenta el porcentaje de aserrín en la mezcla. El IP para el suelo con 0%, 1%, 5%

y 10% de aserrín es 10.77%, 8.71%, 6.87% y 5.84%, respectivamente. Esto es favorable, debido a que, un material de afirmado no debe superar el 9% de plasticidad de acuerdo al MTC (2014), por tanto, en todos los casos el suelo con 1%, 5% y 10% de aserrín cumple con el IP normado; así mismo, para su uso como subbase granular debe presentar un IP menor a 6% de acuerdo a la EG-2013 (MTC, 2015) cumpliendo también con este lineamiento, sin embargo, para su uso como base granular debería presentar un IP menor a 4%, pero este no es el caso, así que ninguna de las mezclas de suelo con aserrín cumple con la plasticidad dada en el norma CE.010 (MVCS, 2010) para su uso como base granular.

El suelo de la cantera Rejopampa Alto reduce su máxima densidad seca (MDS) e incrementa su óptimo contenido de humedad (OCH) conforme se aumenta el porcentaje de aserrín en la mezcla granular. La MDS para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín es 2.16, 2.06, 2.01 y 1.73 g/cm³, respectivamente; mientras que, el OCH para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín es 6.00%, 7.42%, 9.60% y 12.66%, respectivamente. Esto hace que sea necesario un mayor volumen de agua para el proceso de compactación, a la vez que el suelo se vuelve menos resistente, prueba de ello, son los resultados de expansión donde el suelo tiene mayor porcentaje de expansibilidad al adicionar aserrín alcanzando 0.04%, 0.04%, 0.22% y 0.33% para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín.

La capacidad de soporte del suelo (CBR) también se ve afectada por la adición de aserrín reduciendo su capacidad mecánica. El CBR al 95% MDS para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín es 34.92%, 44.11%, 40.50% y 19.70%, respectivamente; mientras que, el CBR al 100% MDS para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín es 69.81%, 74.20%, 64.41% y 24.29%, respectivamente. Por tanto, el CBR al 95% y 100% aumenta ligeramente cuando se utiliza 1% de aserrín

en la mezcla granular, pero al superar este porcentaje el material pierde su capacidad de soporte volviéndose menos resistente, y por ende los valores de CBR decrecen hasta llegar a 24.29% para el suelo con 10% de aserrín. Siendo así, el suelo con 0%, 1% y 5% cumple con los requisitos técnicos dados por el MTC (2014) para material de afirmado y por la EG-2013 (MTC, 2015) para subbase granular, pero no cumple los requisitos técnicos para base granular.

Así mismo, el porcentaje de desgaste aumenta al adicionar 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín siendo 26.86%, 27.07%, 27.51% y 31.84%, respectivamente, sin embargo, en todos los casos cumple con el MTC (2014) para material de afirmado y con la EG-2013 (MTC, 2015) para base granular.

Tabla 22

Propiedades del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto con Aserrín

Propiedades	Aserrín			
	0%	1%	5%	10%
Humedad (%)	8.90%	7.81%	6.79%	4.41%
LL (%)	26.72	27.51	33.39	40.33
LP (%)	15.95	18.8	26.52	34.49
IP (%)	10.77	8.71	6.87	5.84
Grava 3" (tamiz N° 4) (%)	60.43	63.89	62.93	65.85
Arena N° 4 – N° 200 (%)	24.37	21.23	22.83	22.10
Arena gruesa (N° 4 – N° 10) %	9.55	9.41	10.98	8.92
Arena media (N° 10 – N° 40) %	8.20	5.92	5.56	7.05
Arena fina (N° 40 – N° 200) %	6.62	5.90	6.29	6.14
Finos < N° 200 (%)	15.20	14.89	14.24	12.05
MDS (g/cm ³)	2.16	2.06	2.01	1.73
OCH (%)	6.00	7.63	9.60	12.66
Expansión (%)	0.04	0.04	0.22	0.33
CBR al 100% MDS	69.81	74.20	64.41	24.29
CBR al 95% MDS	34.92	44.11	40.50	19.70
Desgaste (%)	26.86	27.07	27.51	31.84

4.1.2.1. Granulometría

La incorporación de aserrín al suelo de la cantera Rejopampa Alto produce un ligero aumento en el porcentaje de finos y en el porcentaje de arena en la mezcla granulométrica. Sin embargo, esta mezcla (con 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín) sigue cumpliendo con los requisitos granulométricos para material de afirmado, ya que se encuentra dentro del huso A-1 establecido por el MTC (2014). Además, cumple con las especificaciones de gradación para base granular y subbase granular, dado que las combinaciones de suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín se encuentran dentro del huso granulométrico B especificado en la EG-2013 (MTC, 2015).

Tabla 23

Granulométrica de la Subbase Granular con Aserrín

Tamiz		Porcentaje que pasa (%)			
Nº	Abertura (mm)	0%	1%	5%	10%
3"	75.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	64.41	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	37.50	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.00	92.73	92.85	92.66	93.18
3/4"	19.00	80.22	84.31	84.13	78.33
1/2"	12.50	62.07	65.22	64.92	60.39
3/8"	9.50	53.89	54.89	54.75	52.00
Nº 4	4.75	39.57	38.11	37.07	34.15
Nº 10	2.00	30.03	26.71	26.09	25.23
Nº 20	0.85	23.25	22.23	22.19	20.91
Nº 40	0.43	21.82	20.79	20.53	18.18
Nº 60	0.25	20.07	19.06	18.87	15.00
Nº 140	0.11	17.99	16.83	16.55	13.30
Nº 200	0.08	15.20	14.89	14.24	12.05

Figura 36

Curva Granulométrica del Suelo con Aserrín – Gradación A-1 para Afirmado

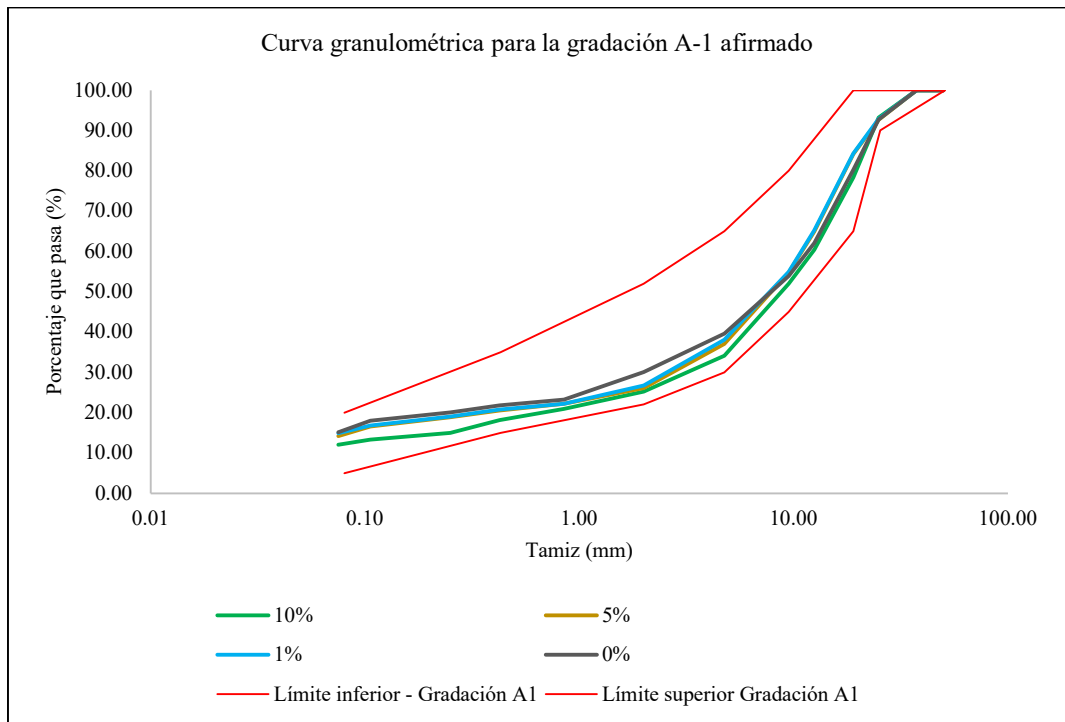
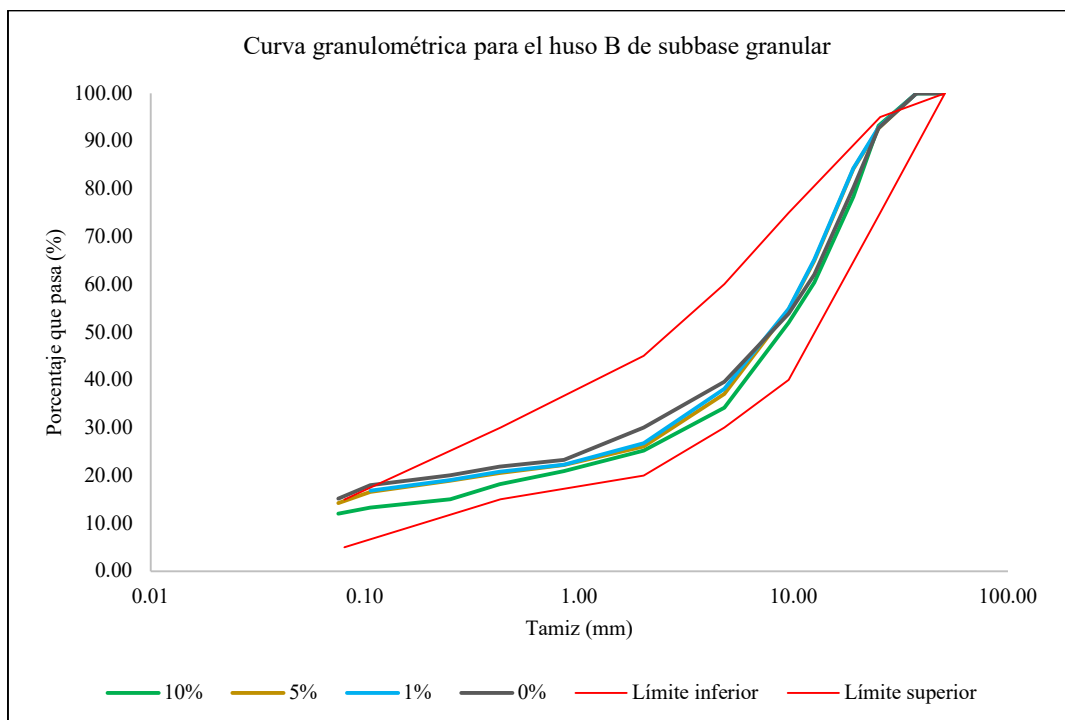


Figura 37

Curva Granulométrica del Suelo con Aserrín – Gradación B para Base

Granular



4.1.2.2. Contenido de humedad

La humedad del suelo disminuye crecientemente con la adición de aserrín, alcanzado porcentajes de reducción de 12.25, 23.71 y 50.45% para las combinaciones con 1%, 5% y 10% de aserrín, respecto al suelo natural que presentaba una humedad de 8.90%. Esta reducción en la humedad, se da debido a las características intrínsecas del aserrín, siendo este un material fibroso y con bajo contenido de humedad, debido a que, se ha incorporado al suelo en estado seco, absorbe el volumen de agua del material granular, reduciendo así su humedad natural cuando se agrega en altas cantidades.

Tabla 24

Contenido de Humedad del Suelo con Aserrín

Aserrín	Humedad	Porcentaje de reducción
0%	8.90	0.00%
1%	7.81	12.25%
5%	6.79	23.71%
10%	4.41	50.45%

4.1.2.3. Límites de consistencia

Los límites de consistencia del suelo también se ven afectados por el uso de aserrín en la mezcla granular. El límite líquido (LL) aumenta conforme se aumenta el porcentaje de aserrín, pasando de 26.72% para el suelo sin aserrín a 40.33% para el suelo con 10% de aserrín. El límite plástico (LP) también aumenta conforme se aumenta el porcentaje de aserrín, pasando de 15.95% para el suelo sin aserrín a 34.49% para el suelo con 10% de aserrín. En cambio, el índice de plasticidad (IP) se reduce al aumentar el porcentaje de aserrín, pasando de 10.77% para el suelo sin aserrín a 5.84% para el suelo con 10% de aserrín. El aumento en

la plasticidad y reducción en el IP se debe a las características del material adicionante, el aserrín es un compuesto orgánico, fibroso, con partículas finas y medianas que al ser menos plásticas que las partículas de arcilla, interrumpen la estructura del suelo y limitan su capacidad para deformarse sin romperse. Esto hace que el suelo sea menos plástico y más friable, reduciendo así su IP.

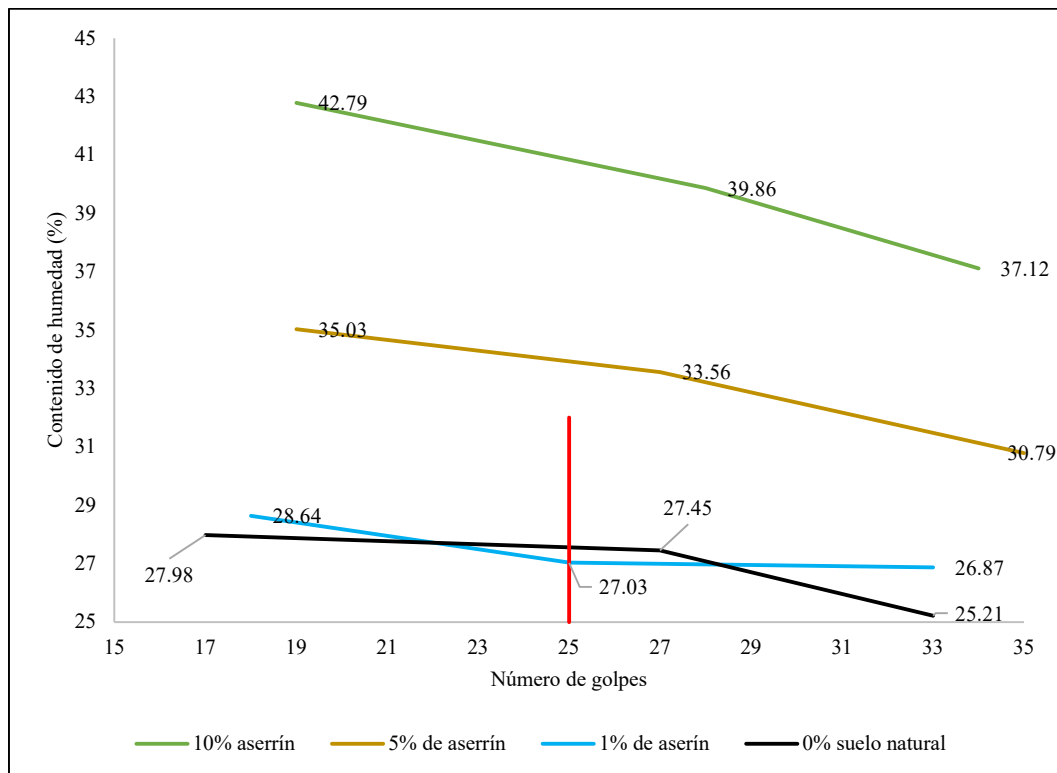
Tabla 25

Límites de Consistencia del Suelo con Aserrín

Límites de consistencia (%)	Aserrín			
	0%	1%	5%	10%
LL (%)	26.72	27.51	33.39	40.33
LP (%)	15.95	18.8	26.52	34.49
IP (%)	10.77	8.71	6.87	5.84

Figura 38

Curva de Fluidez del Suelo con Aserrín



La adición de aserrín, que tiene alta capacidad de absorción de agua, hace que el suelo necesite más agua para alcanzar el estado líquido, elevando el LL. Esto se debe a que el aserrín absorbe parte del agua, modificando la cantidad de humedad necesaria para que el suelo pierda su rigidez. Esto ha llevado a que, el LL del suelo con 1%, 5% y 10% de aserrín aumente en 2.96%, 24.96% y 50.94%, respectivamente.

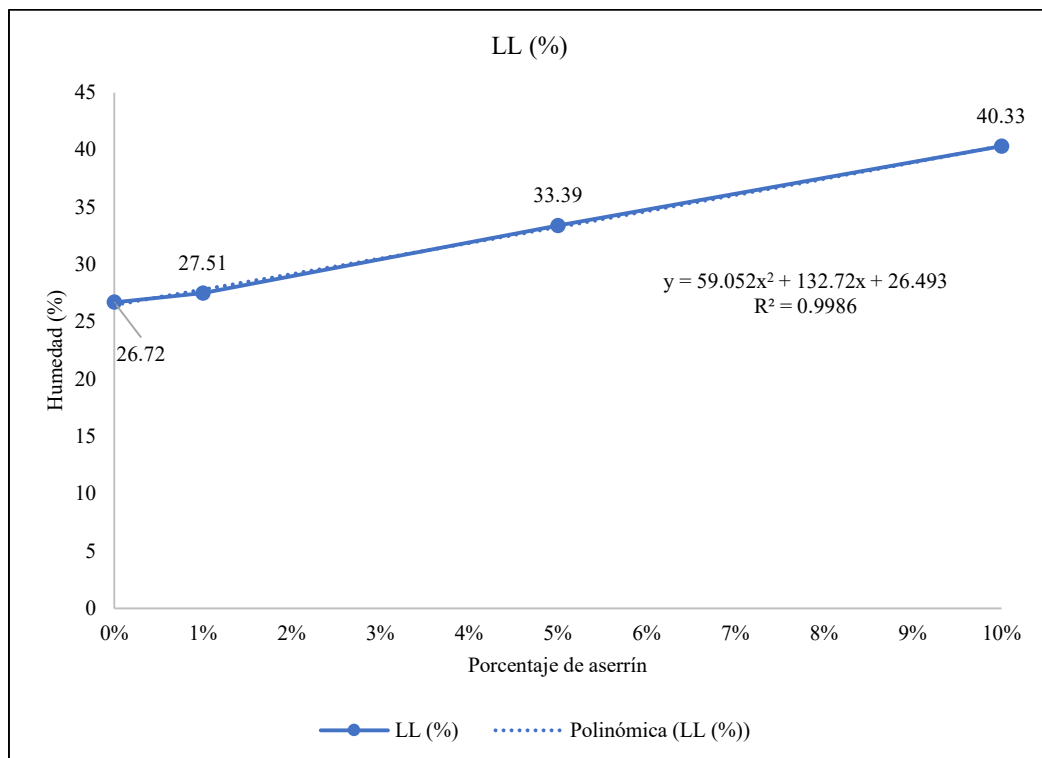
Tabla 26

Límite Líquido del Suelo con Aserrín

Aserrín	LL (%)	Porcentaje de aumento
0%	26.72	0.00%
1%	27.51	2.96%
5%	33.39	24.96%
10%	40.33	50.94%

Figura 39

Límite Líquido del Suelo con Aserrín



La presencia de aserrín, al alterar la cohesión interna del suelo, requiere un mayor contenido de agua para que el suelo adquiera propiedades plásticas. Al igual que en el caso del LL, el aserrín absorbe parte del agua, lo que significa que se necesita más humedad para que el suelo comience a comportarse de manera plástica, aumentando así el LP. Esto ha llevado a que, el LP del suelo con 1%, 5% y 10% de aserrín aumente en 17.87%, 66.27% y 116.24%, respectivamente.

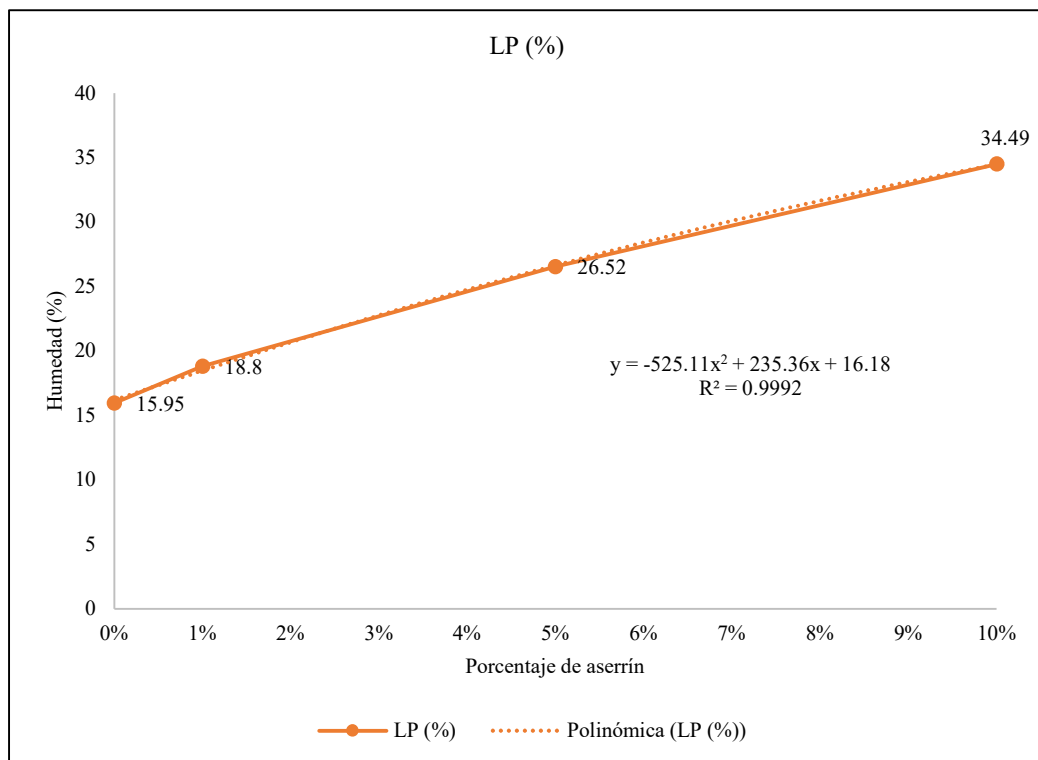
Tabla 27

Límite Plástico del Suelo con Aserrín

Aserrín	LP (%)	Porcentaje de incremento
0%	15.95	0.00%
1%	18.80	17.87%
5%	26.52	66.27%
10%	34.49	116.24%

Figura 40

Límite Plástico del Suelo con Aserrín



La incorporación de aserrín reduce el IP porque disminuye la cohesión y plasticidad del suelo, ya que las partículas de aserrín, al ser menos plásticas que las partículas de arcilla, interrumpen la estructura del suelo y limitan su capacidad para deformarse sin romperse. Esto hace que el suelo sea menos plástico y más friable, reduciendo así su IP. Esto ha llevado a que, el IP del suelo con 1%, 5% y 10% de aserrín se reduzca en 19.13%, 36.21% y 45.78%, respectivamente.

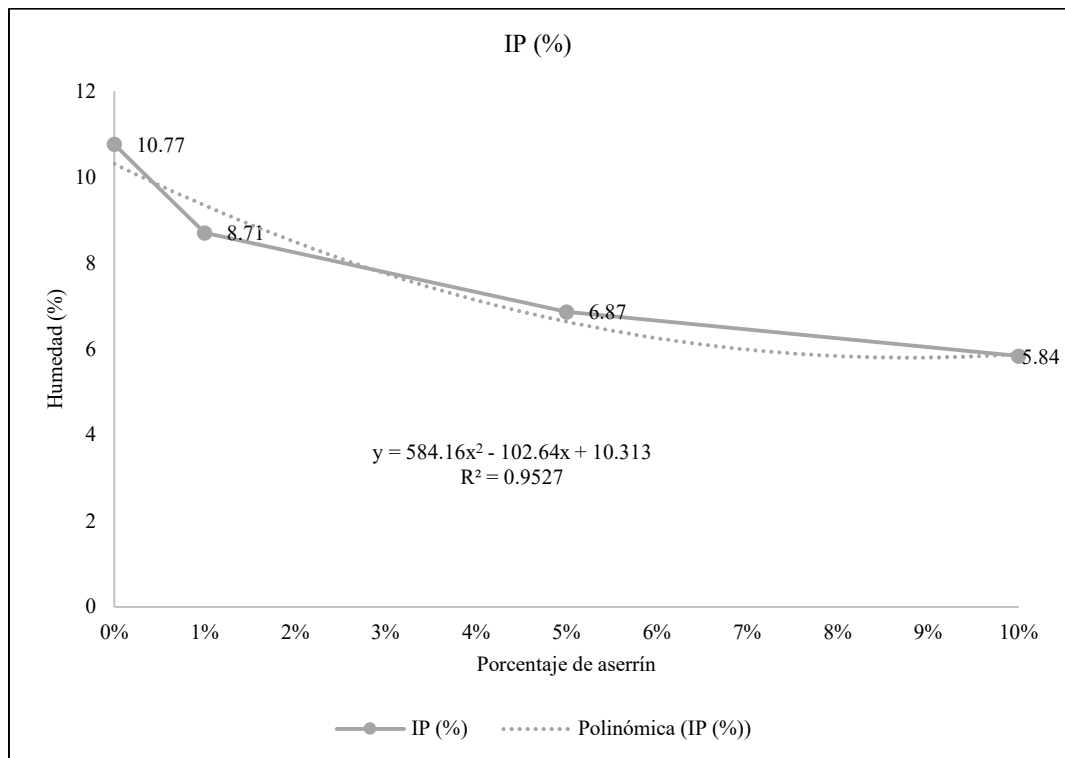
Tabla 28

Índice de Plasticidad del Suelo con Aserrín

Aserrín	IP (%)	Porcentaje de reducción
0%	10.77	0.00%
1%	8.71	-19.13%
5%	6.87	-36.21%
10%	5.84	-45.78%

Figura 41

Índice de Plasticidad del Suelo con Aserrín



4.1.2.4. Capacidad de Soporte

El CBR del suelo al adicionar aserrín tiende a disminuir crecientemente. Cuando se adiciona 1%, 5% y 10% de aserrín los porcentajes alcanzados por el CBR al 100% MDS respecto al suelo natural son 6.29%, -7.74% y -65.21%; y para el CBR al 95% MDS son 26.31%, 15.98% y -43.59%; respectivamente. Esto ha demostrado que, a niveles bajos de adición, el aserrín proporcionar cierta cohesión adicional al suelo, pero, cuando se añade en porcentajes superiores al 1%, el aserrín, que es un material ligero y de baja densidad, comienza a reducir la cohesión interna del suelo, debido a que sus partículas interfieren en el contacto directo entre las partículas de suelo, disminuyendo la capacidad de carga del suelo

Tabla 29

Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo con Aserrín

CBR (%)	Aserrín			
	0%	1%	5%	10%
Al 100% MDS	69.81	74.20	64.41	24.29
Al 95% MDS	34.92	42.1	40.50	19.70

Tabla 30

CBR al 100% MDS del Suelo con Aserrín

Aserrín	CBR al 100% MDS (%)	Porcentaje de reducción
0%	69.81	0.00%
1%	74.20	6.29%
5%	64.41	-7.74%
10%	24.29	-65.21%

Tabla 31

CBR al 95% MDS del Suelo con Aserrín

Aserrín	CBR al 95% MDS (%)	Porcentaje de reducción
0%	34.92	0.00%
1%	44.11	26.32%
5%	40.50	15.98%
10%	19.70	-43.59%

Figura 42

CBR al 100% MDS del Suelo con Aserrín

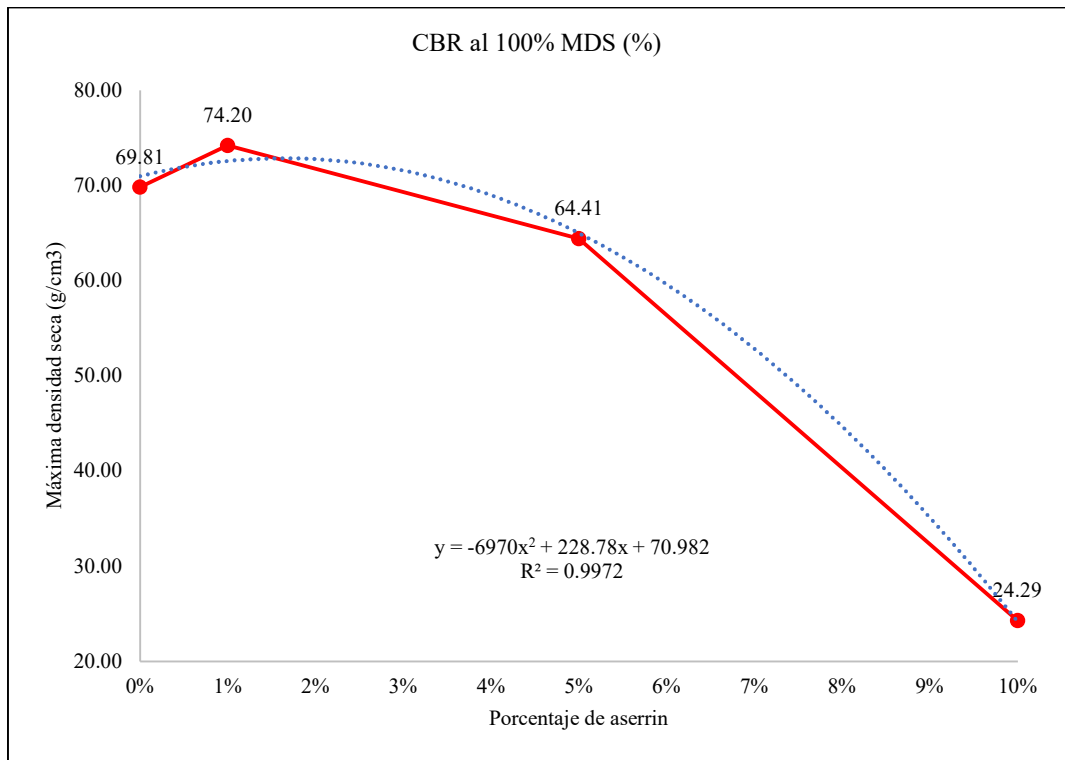
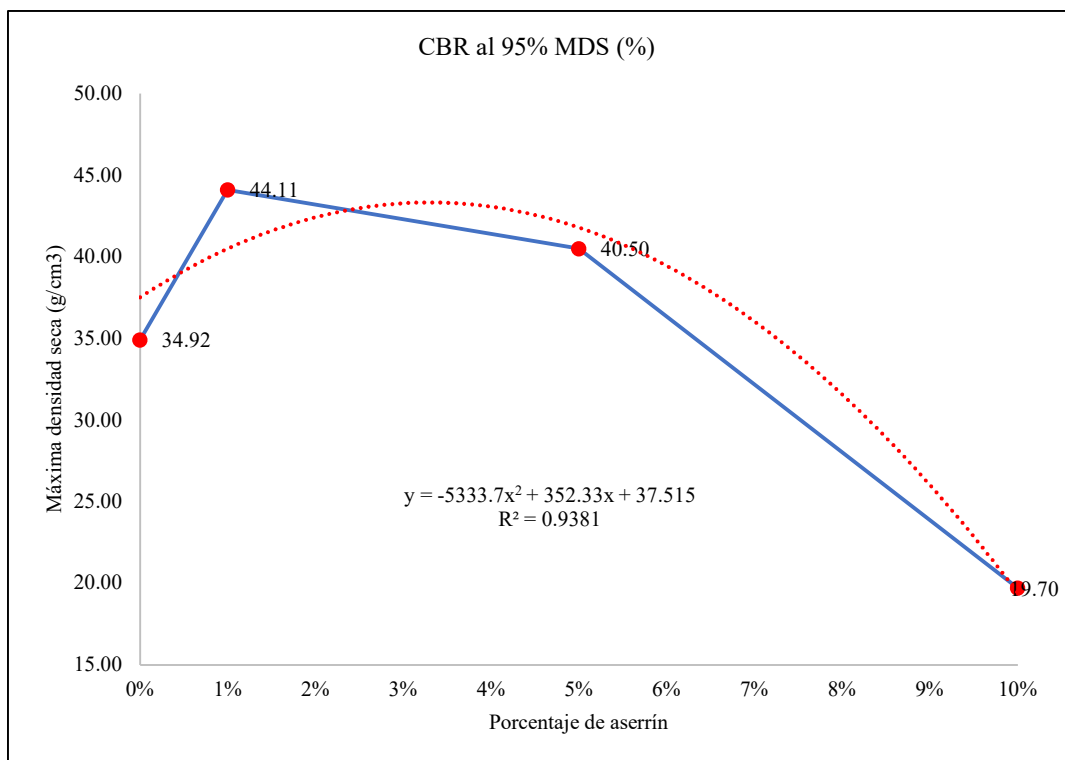


Figura 43

CBR al 95% MDS del Suelo con Aserrín



4.1.2.5. Compactación

El suelo con aserrín tiende a disminuir su máxima densidad seca (MDS) conforme se incrementa el porcentaje de adición, además tiende a reducir inicialmente su óptimo contenido de humedad (OCH) para luego aumentar el mismo. Esto lleva a que, sea necesario mayor volumen de agua para realizar el proceso de compactación en campo para el afirmado de carreteras, pero al tener baja densidad seca, este aumento en volumen de agua no corresponde con aumento en la resistencia, sino que, la mezcla granular es más ligera y, menos resistente.

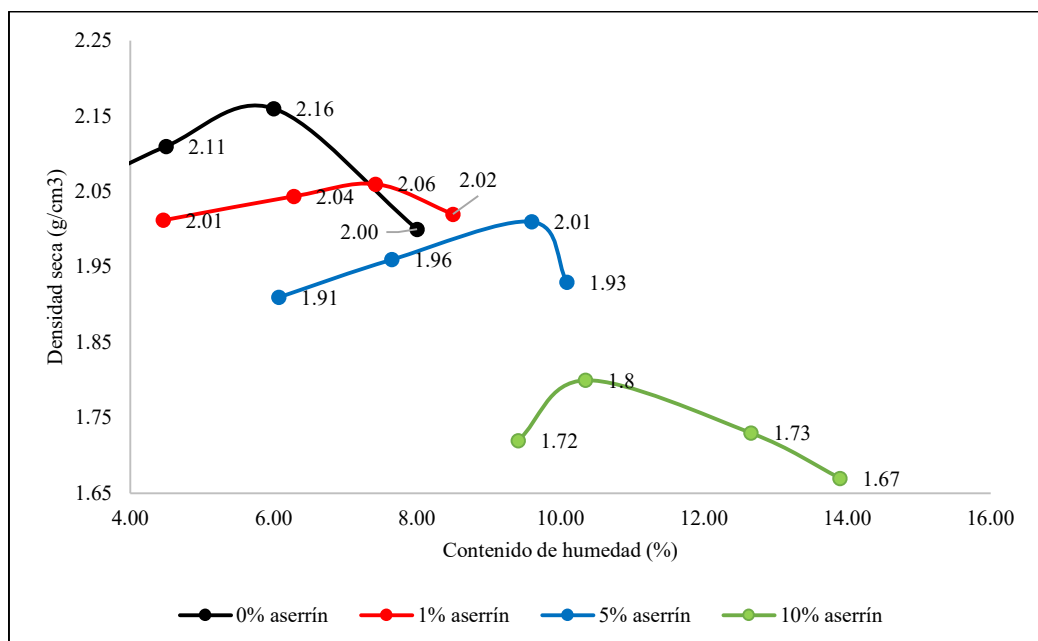
Tabla 32

Compactación del Suelo con Aserrín

Compactación	Aserrín			
	0%	1%	5%	10%
MDS (g/cm ³)	2.16	2.06	2.01	1.73
OCH (%)	6.00	7.43	9.60	12.66

Figura 44

Curva de Compactación del Suelo con Aserrín



A medida que se incrementa el contenido de aserrín, aumenta el número de vacíos dentro de la estructura del suelo. Estos vacíos reducen la densidad seca máxima alcanzable durante la compactación, lo que debilita la estructura del suelo y disminuye su resistencia general cuando se supera el 10% de aserrín. La reducción en la MDS del suelo al incorporar 1%, 5% y 10% de aserrín es 4.63%, 6.94% y 19.91%, respectivamente.

Tabla 33

Máxima Densidad Seca del Suelo con Aserrín

Aserrín	MDS (%)	Porcentaje de reducción
0%	2.16	0.00%
1%	2.06	4.63%
5%	2.01	6.94%
10%	1.73	19.91%

El aserrín es un material altamente poroso y tiene gran capacidad para absorber y retener agua. Cuando se mezcla con el suelo, el aserrín actúa como una esponja, absorbiendo gran parte del agua añadida durante el proceso de compactación. Como resultado, se requiere mayor cantidad de agua para alcanzar el punto de humedad óptimo que permite una adecuada compactación del suelo cuando se usa más de 10% de aserrín. Siendo así, el OCH aumenta en 23.67%, 60% y 111% al usar 1%, 5% y 10% de aserrín en la mezcla granular.

Tabla 34

Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Aserrín

Aserrín	OCH (%)	Porcentaje de aumento
0%	6.00	0.00%
1%	7.63	23.67%
5%	9.60	60.00%
10%	12.66	111.00%

Figura 45

Máxima Densidad Seca del Suelo con Aserrín

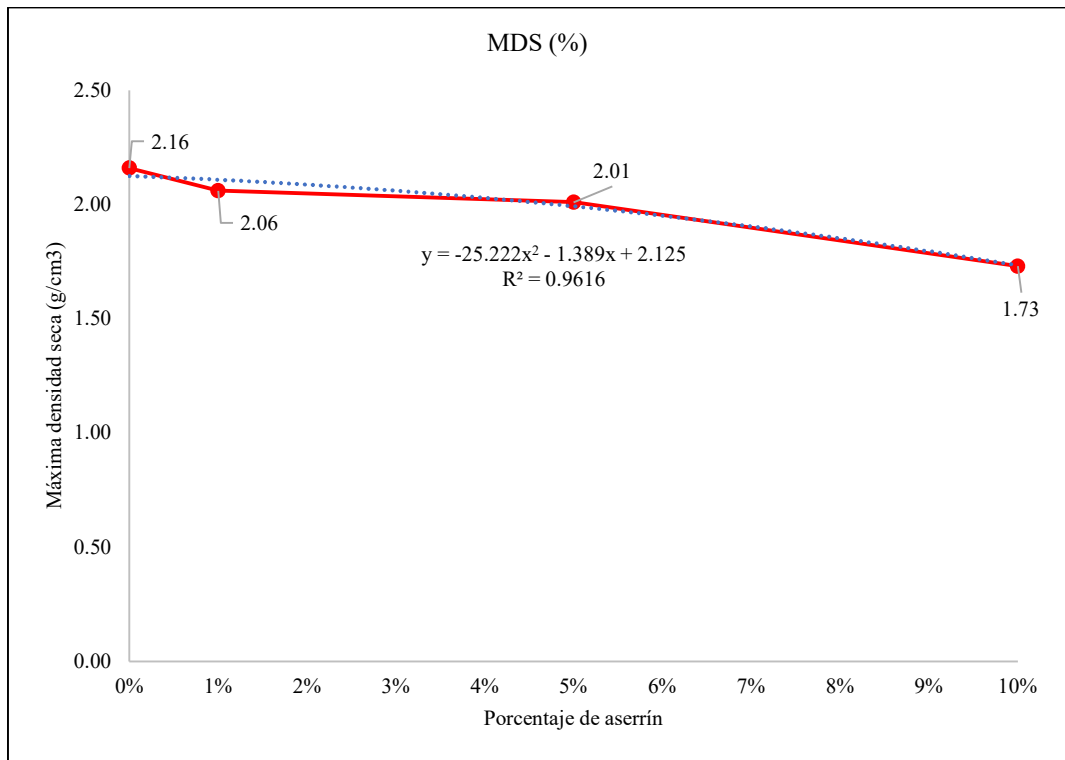
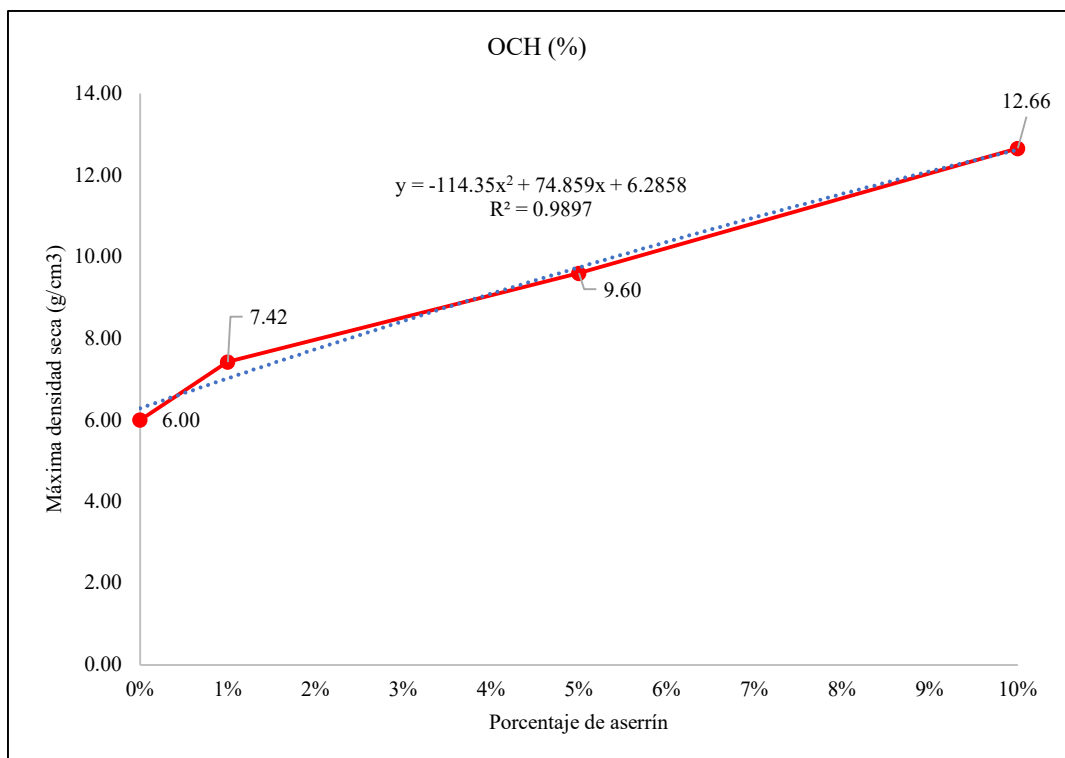


Figura 46

Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Aserrín



4.1.2.6.Desgaste por abrasión

El aserrín al ser un material fino y ligero no ayuda al material granular a resistir el desgaste a la abrasión, sino que, aumenta su porcentaje crecientemente conforme se aumenta el porcentaje de aserrín, alcanzando aumentos de 0.78%, 2.42% y 18.54%. Esto es desfavorable debido a que, el suelo se vuelve más flexible y menos resistente, pero los porcentajes obtenidos aún son aceptables.

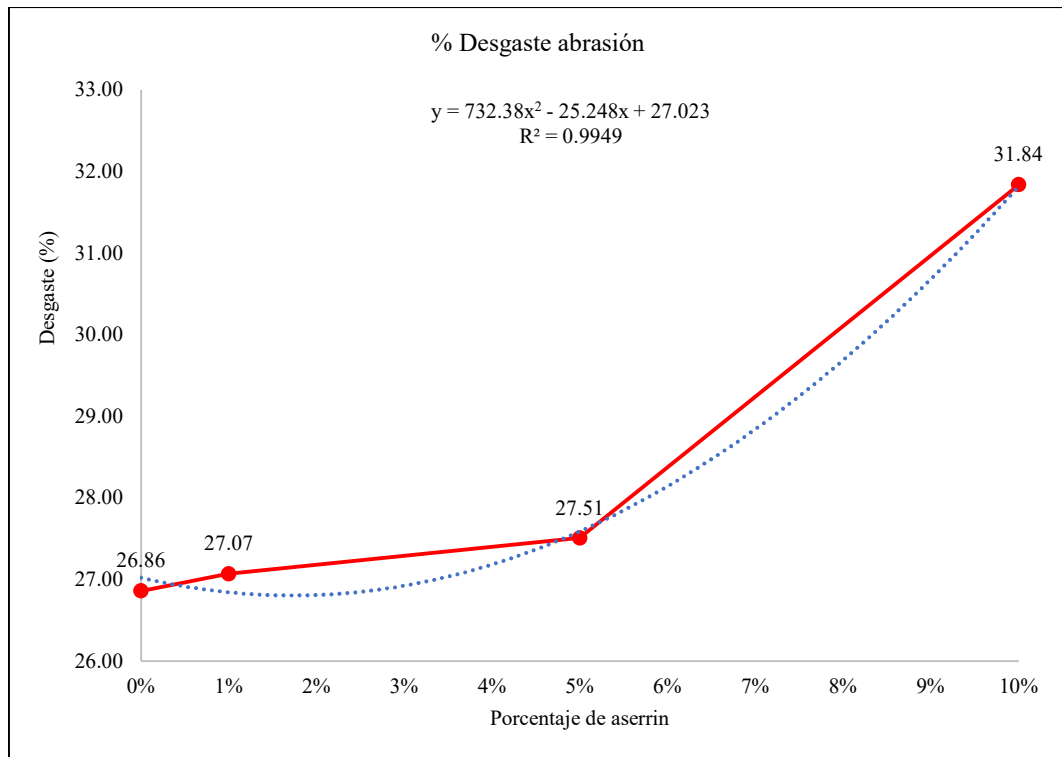
Tabla 35

Desgaste por Abrasión del Suelo con Aserrín

Aserrín	% Desgaste abrasión	Porcentaje de aumento
0%	26.86	0.00%
1%	27.07	0.78%
5%	27.51	2.42%
10%	31.84	18.54%

Figura 47

Desgaste por Abrasión del Suelo con Aserrín



4.1.3. *Propiedades del suelo con 1%, 5% y 10% de caucho granular*

Las propiedades del suelo de la cantera Rejopampa Alto varían conforme al porcentaje de adición de caucho granular en la mezcla. El contenido de humedad aumenta conforme se aumenta el porcentaje de caucho granular, siendo 6.00%, 6.56%, 8.71% y 10.47% para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de caucho granular, respectivamente.

El límite líquido (LL) del suelo aumenta progresivamente conforme al porcentaje de caucho granular en la mezcla, alcanzando 26.72%, 28.69%, 30.60% y 30.53% respectivamente para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de caucho granular. Este incremento es desfavorable para el material granular debido a que, el MTC (2014) especifica que, el suelo no debe superar el LL de 35% para ser utilizado como material de afirmado, requisito que cumplen todas las muestras a pesar del aumento del LL, pero no cumplen con los requisitos de la EG-2013 (MTC, 2015) para ser utilizado como base granular, en este caso todas las combinaciones del suelo con caucho granular superan el 25% de LL estandarizado, por tanto, el suelo con caucho granular se puede utilizar como afirmado, pero no como base granular.

El límite plástico (LP) del suelo también aumenta conforme se incrementa el porcentaje de adición de caucho granular en el material de afirmado. Alcanzado 15.95%, 18.95%, 21.93% y 23.09% para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de caucho granular, respectivamente. Esto significa que, el uso de caucho granular aumenta las condiciones de plasticidad del suelo conforme se aumenta su cantidad dentro del material granular.

El índice de plasticidad (IP) del suelo disminuye conforme se incrementa el porcentaje de adición de caucho granular. Alcanzado 10.77%, 9.74%, 8.67% y

7.44% para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de caucho granular, respectivamente. Esta reducción es favorable debido a que, los requisitos normativos sugieren que, se utilice material granular con bajo o nulo IP. Sin embargo, solo las combinaciones con 5% y 10% de caucho granular cumplen con el IP (menor a 9%) dado por el MTC (2014) para material de afirmado, pero ninguna de las combinaciones de suelo con caucho granular cumple con el IP para subbase y base granular dados en la EG-2013 (MTC, 2015), debido a que, todos los valores son superiores a 6% y 4%, respectivamente. Por tanto, de acuerdo a la plasticidad del suelo con caucho granular puede ser utilizado como material de afirmado, pero no como base granular.

La máxima densidad seca (MDS) del suelo con caucho granular tienden a disminuir ligeramente y el óptimo contenido de humedad (OCH) tiende a aumentar progresivamente. La MDS que alcanza el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de caucho granular es 2.16, 2.21, 2.05 y 1.93 g/cm³, mientras que, el OCH que alcanza el suelo con %, 1%, 5% y 10% de caucho granular es 6.00%, 6.56%, 8.71% y 10.47%, respectivamente. Por tanto, se requiere mayor contenido de agua para alcanzar la compactación del suelo, debido a que, el caucho granular es un material liviano que absorbe gran cantidad de agua, además justamente esta composición liviana hace que cubra vacíos, pero que no genere mayor densidad, llevando a que, la MDS disminuya, aunque está disminución es baja.

La capacidad de soporte del suelo (CBR) también se ve afectado por la adición de caucho granular, en este caso tiende a aumentar ligeramente cuando se utiliza hasta 1% de caucho granular, pero luego disminuye progresivamente, para las demás dosificaciones de adición de caucho granular. El CBR al 95% MDS del suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de caucho granular alcanza 34.92%, 45.93%,

37.20% y 21.96%, respectivamente; mientras que, el CBR al 100% MDS del suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de caucho granular alcanza 69.81%, 70.44%, 58.68% y 25.46%, respectivamente. Esta disminución en el CBR ha llevado a que, solamente las dosificaciones con 0%, 1% y 5% de caucho granular cumplan con el CBR para un material de afirmado de acuerdo al MTC (2014) y para un material de subbase granular de acuerdo a la EG-2013 (MTC, 2015), debido a que superan el 40% de CBR al 100% MDS, sin embargo, ninguna de las combinaciones del suelo con caucho granular alcanza la capacidad de soporte (80% CBR al 100% MDS) para su uso como base granular de acuerdo a la norma CE.010 (MVCS, 2010). Siendo así, de acuerdo a sus propiedades mecánicas se puede utilizar el suelo con caucho granular como material de afirmado o como material de subbase granular, pero no como base granular.

El porcentaje de desgaste del suelo con caucho granular tiende a aumentar ligeramente cuando se adiciona 1% de caucho granular, pero luego este porcentaje se reduce crecientemente, alcanzando valores de 26.86%, 27.64%, 26.41% y 25.54% de abrasión para el suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de caucho granular, respectivamente. Esto se debe a que, el caucho granular es un material elástico, flexible, altamente resistente a cargas de abrasión, por lo que, tienen a disminuir el porcentaje de desgaste a estas cargas, no obstante, el ligero incremento inicial es una muestra de que, en porcentajes bajos, todavía no se adhiere bien al suelo generando mayor desprendimiento del suelo. Sin embargo, algo importante de destacar es que, en todos los casos la abrasión es menor a 50%, por tanto, cumple con los lineamientos del MTC (2014) para material de afirmado, pero, además, los valores son menores al 40% de abrasión, por lo que, también cumplen con el

porcentaje de desgaste para ser utilizados como material de subbase granular y base granular de acuerdo a la EG-2013 (MTC, 2015).

Finalmente, en conjunto de acuerdo a las propiedades del suelo de la cantera Rejopampa Alto con adición de caucho granular, se puede inferir que esta combinación puede ser utilizada favorablemente como material de afirmado debido a que, cumple con los requisitos granulométricos, de plasticidad, abrasión y capacidad de soporte especificados por el MTC (2014). Sin embargo, su uso como material para subbase granular y/o base granular queda restringido, debido a que algunas de las características más importantes como el IP y el CBR se encuentran fuera de los límites dados por la EG-2013 (MTC, 2015).

Tabla 36

Propiedades del Suelo de la Cantera Rejopampa Alto con Caucho Granular

Propiedades	Caucho granular			
	0%	1%	5%	10%
Humedad (%)	8.90%	8.70%	7.74%	8.90%
LL (%)	26.72	28.69	30.60	30.53
LP (%)	15.95	18.95	21.93	23.09
IP (%)	10.77	9.74	8.67	7.44
Grava 3" (tamiz N° 4) (%)	60.43	69.30	65.82	63.03
Arena N° 4 – N° 200 (%)	24.37	16.96	19.52	22.11
Arena gruesa (N° 4 – N° 10) %	9.55	6.93	8.81	8.41
Arena media (N° 10 – N° 40) %	8.20	6.31	6.64	8.59
Arena fina (N° 40 – N° 200) %	6.62	3.71	4.07	5.11
Finos < N° 200 (%)	15.20	13.75	14.65	14.85
MDS (g/cm ³)	2.16	2.21	2.05	1.93
OCH (%)	6.00	6.56	8.71	10.47
Expansión (%)	0.04	0.22	0.18	0.22
CBR al 100% MDS	69.81	70.44	58.68	25.46
CBR al 95% MDS	34.92	45.93	37.20	21.96
Desgaste (%)	26.86	27.64	26.41	25.54

4.1.3.1. Granulometría

La incorporación de caucho granular al suelo de la cantera Rejopampa Alto produce un ligero aumento en el porcentaje del suelo arcilloso en la mezcla granulométrica, pero este aumento es favorable porque se está generando mayores porcentajes para los rangos intermedios de la curva granulométrica (tamiz N° 4). Por lo que, las mezclas con 0%, 1%, 5% y 10% de caucho granular cumplen con los requisitos granulométricos para material de afirmado, ya que se encuentra dentro del huso A-1 establecido por el MTC (2014). Además, cumple con las especificaciones de gradación para base granular y subbase granular, dado que las combinaciones de suelo con 0%, 1%, 5% y 10% de caucho granular se encuentran dentro del huso granulométrico B especificado en la EG-2013 (MTC, 2015).

Tabla 37

Granulometría del Suelo de la Cantera Rejopampa con Caucho Granular

N°	Tamiz	Porcentaje que pasa (%)			
	Abertura (mm)	0%	1%	5%	10%
3"	75.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	64.41	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	37.50	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.00	92.73	92.26	92.02	91.92
3/4"	19.00	80.22	79.39	80.12	81.01
1/2"	12.50	62.07	59.54	61.81	63.97
3/8"	9.50	53.89	49.87	49.07	51.40
N° 4	4.75	39.57	30.70	34.18	36.97
N° 10	2.00	30.03	23.77	25.37	28.56
N° 20	0.85	23.25	19.81	20.85	22.47
N° 40	0.43	21.82	17.46	18.73	19.97
N° 60	0.25	20.07	15.97	17.11	18.03
N° 140	0.11	17.99	14.61	15.61	16.33
N° 200	0.08	15.20	13.75	14.65	14.85

Figura 48

Curva Granulométrica del Suelo con Caucho Granular – Huso A-1 para Afirmado

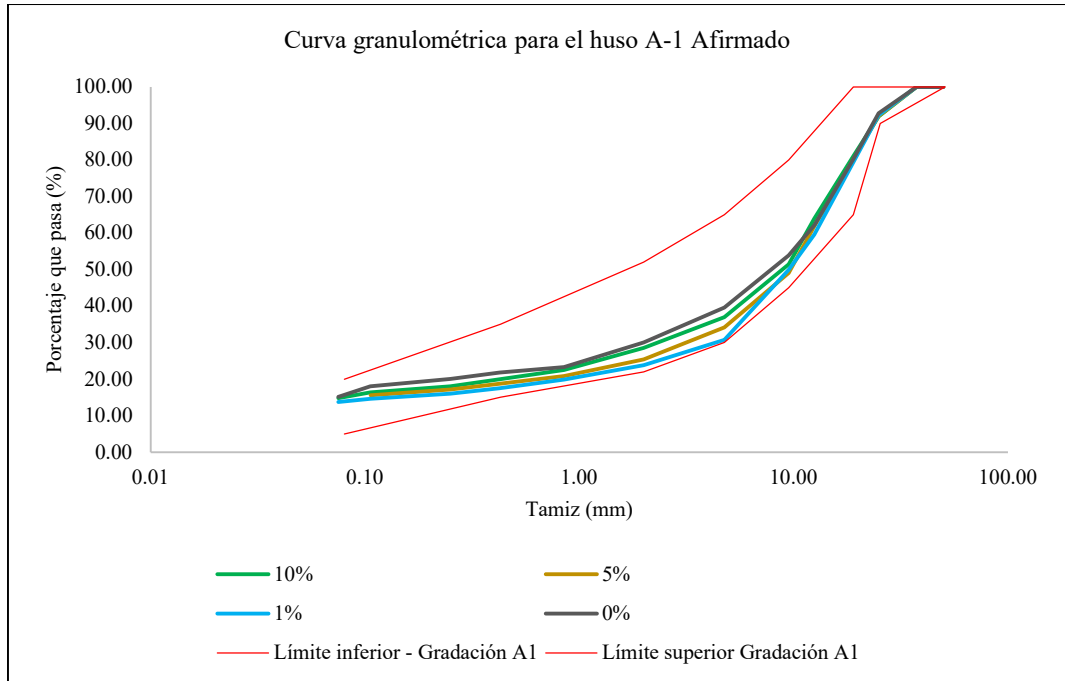
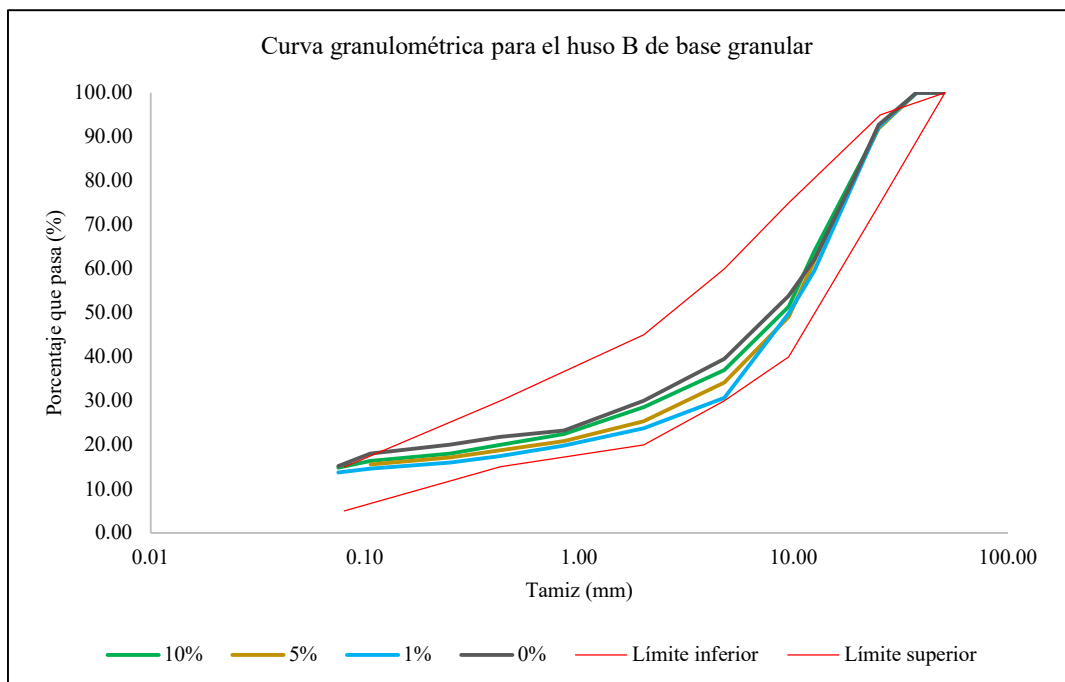


Figura 49

Curva Granulométrica del Suelo con Caucho Granular – Huso B para Base Granular



4.1.3.2. Contenido de humedad

La humedad del suelo se reduce crecientemente con la adición de caucho granular, alcanzado porcentajes de reducción de 2.25%, 13.03% y 25.28% para las combinaciones con 1%, 5% y 10% de caucho granular, respecto al suelo natural que presentaba humedad de 8.90%. Esta reducción en la humedad, se da debido a las características intrínsecas del caucho granular, siendo este un material liviano y con bajo contenido de humedad, debido a que, se ha incorporado al suelo en estado seco, absorbe el volumen de agua del material granular, reduciendo así su humedad natural cuando se agrega en más del 10%.

Tabla 38

Contenido de Humedad del Suelo con Caucho

Caucho	Humedad	Porcentaje de reducción
0%	8.90%	0.00%
1%	8.70%	2.25%
5%	7.74%	13.03%
10%	6.65%	25.28%

4.1.3.3. Límites de consistencia

Los límites de consistencia del suelo también se ven afectados por el uso de caucho granular en la mezcla granular. El límite líquido (LL) aumenta conforme se aumenta el porcentaje de caucho granular, pasando de 26.72% para el suelo sin caucho granular a 30.53% para el suelo con 10% de caucho granular. El límite plástico (LP) también aumenta conforme se aumenta el porcentaje de caucho granular, pasando de 15.95% para el suelo sin caucho granular a 23.09% para el suelo con 10% de caucho granular. En cambio, el índice de plasticidad (IP) se reduce al aumentar el porcentaje de caucho granular, pasando de 10.77% para el suelo sin caucho granular a 7.44% para el suelo con 10% de caucho granular.

El aumento en la plasticidad y reducción en el IP se debe a las características del material adicionante, el caucho granular es un compuesto inerte y no plástico, interfieren en la cohesión y plasticidad del suelo. Esto provoca que el suelo pierda parte de su capacidad para deformarse plásticamente. Esto significa que el suelo se vuelve menos susceptible a la deformación plástica, haciéndolo más resistente a los cambios de forma bajo cargas ligeras.

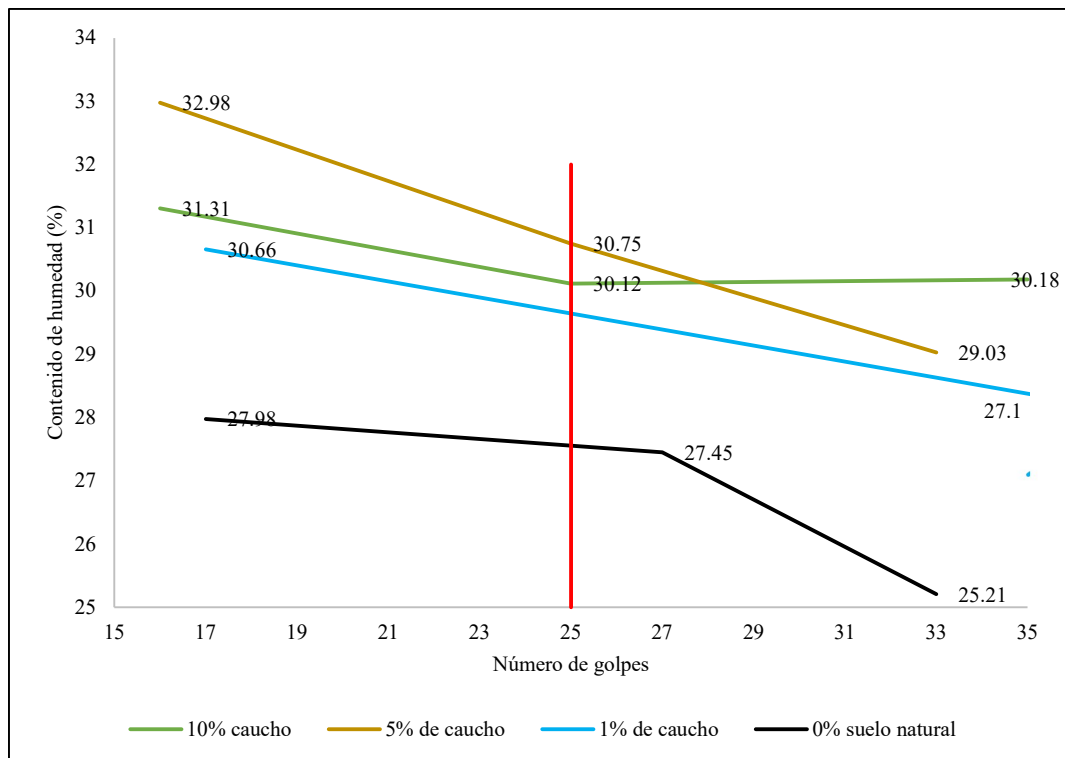
Tabla 39

Límites de Plasticidad del Suelo con Caucho

Límites de consistencia (%)	Caucho granular			
	0%	1%	5%	10%
LL (%)	26.72	28.69	30.6	30.53
LP (%)	15.95	18.95	21.93	23.09
IP (%)	10.77	9.74	8.67	7.44

Figura 50

Curva de Plasticidad del Suelo con Caucho



La adición de caucho granular, que no absorbe agua como lo hacen las partículas de suelo, aumenta la cantidad de agua necesaria para alcanzar esta condición. Las partículas de caucho crean una estructura que reduce la movilidad de las partículas de suelo, requiriendo más agua para que el suelo alcance un estado donde pierda su rigidez y fluya, elevando así el LL. Esto ha llevado a que, el LL del suelo con 1%, 5% y 10% de caucho granular aumente en 7.37%, 13.03% y 25.28%, respectivamente.

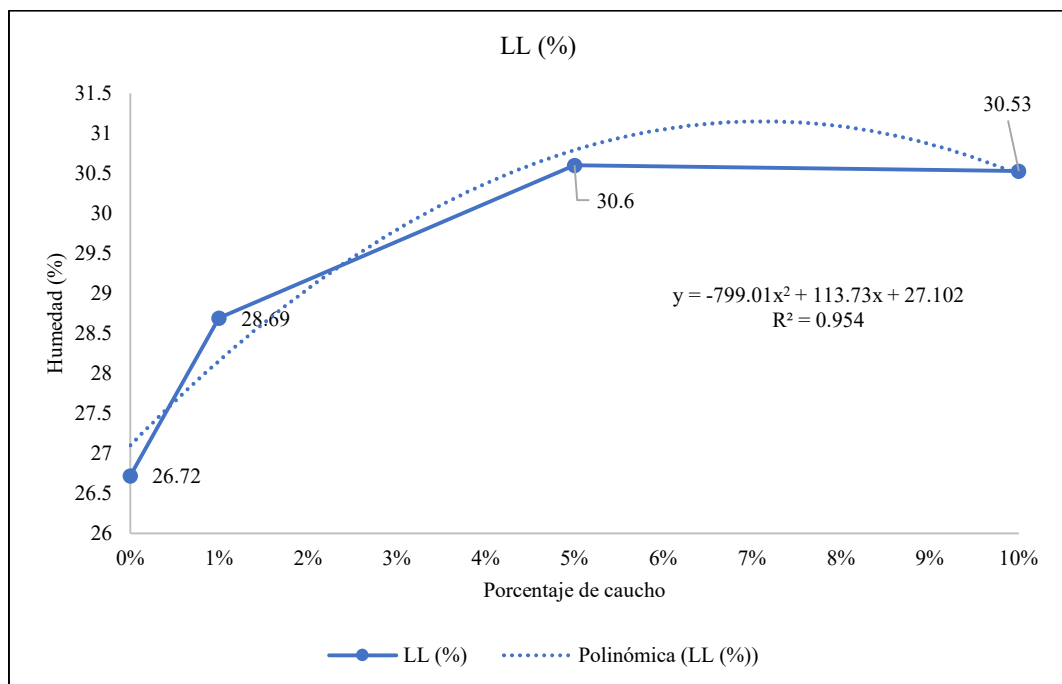
Tabla 40

Límite Líquido del Suelo con Caucho

Caucho	LL (%)	Porcentaje de incremento
0%	26.72	0.00%
1%	28.69	7.37%
5%	30.60	13.03%
10%	30.53	25.28%

Figura 51

Límite Líquido del Suelo con Caucho



La presencia de caucho granular en la mezcla hace que el suelo necesite más agua para que las partículas se deslicen entre sí y se comporten plásticamente. Esto se debe a que el caucho, al no ser cohesivo ni absorbente, actúa como una barrera física entre las partículas de suelo, incrementando la cantidad de agua necesaria para que el suelo adquiriera plasticidad, lo que aumenta ligeramente el LP. Esto ha llevado a que, el LP del suelo con 1%, 5% y 10% de caucho granular aumente en 18.81%, 37.49% y 44.76%, respectivamente.

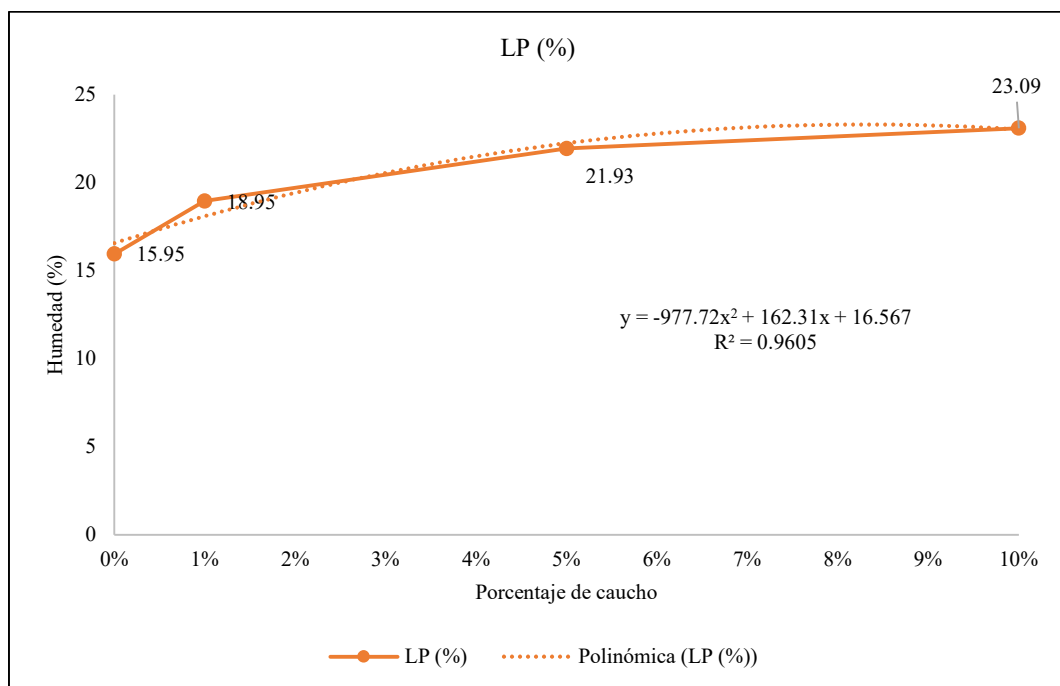
Tabla 41

Límite Plástico del Suelo con Caucho

Caucho	LP (%)	Porcentaje de incremento
0%	15.95	0.00%
1%	18.95	18.81%
5%	21.93	37.49%
10%	23.09	44.76%

Figura 52

Límite Plástico del Suelo Natural con Caucho



Cuando se añade caucho granular al suelo, las partículas de caucho, que son inertes y no plásticas, interfieren en la cohesión y plasticidad del suelo. Esto provoca que el suelo pierda parte de su capacidad para deformarse plásticamente. Aunque tanto el LL como el LP pueden aumentar, la diferencia entre ellos disminuye, lo que se traduce en una reducción del IP. Esto ha llevado a que, el IP del suelo con 1%, 5% y 10% de caucho granular se reduzca en 9.56%, 19.50% y 30.94%, respectivamente.

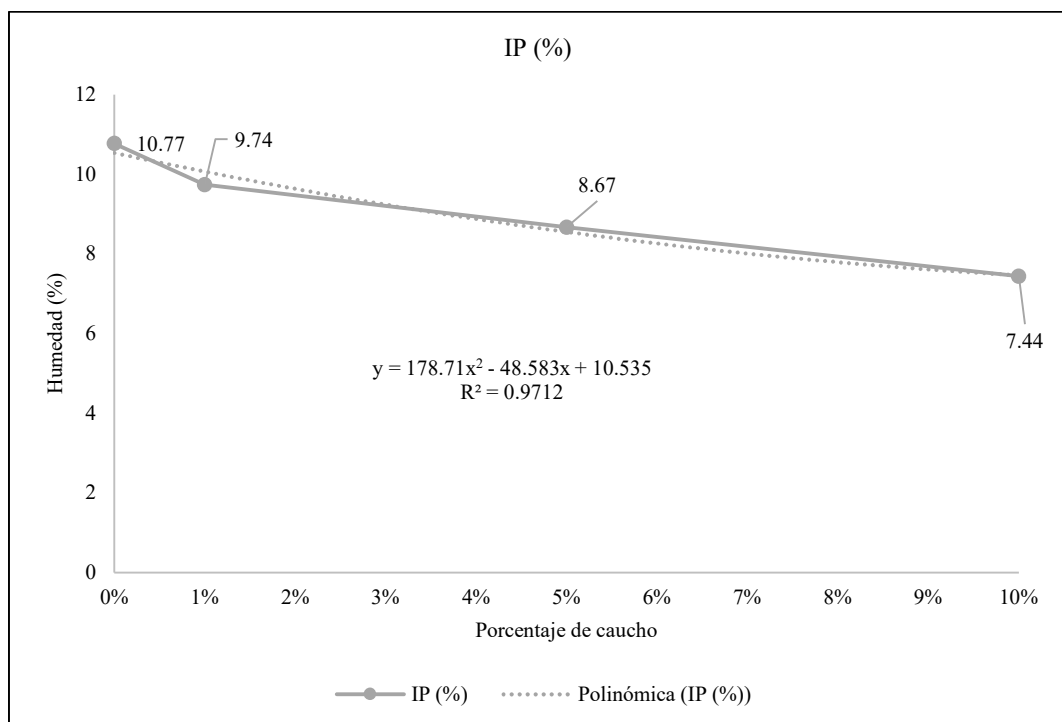
Tabla 42

Índice de Plasticidad del Suelo con Caucho

Caucho	IP (%)	Porcentaje de reducción
0%	10.77	0.00%
1%	9.74	9.56%
5%	8.67	19.50%
10%	7.44	30.94%

Figura 53

Índice de Plasticidad del Suelo con Caucho



4.1.3.4. Capacidad de Soporte

El CBR del suelo al adicionar caucho granular tiende a disminuir crecientemente. Cuando se adiciona 1%, 5% y 10% de caucho granular los porcentajes alcanzados por el CBR al 100% MDS respecto al suelo natural son 0.90%, -15.94% y -63.53%; y para el CBR al 95% MDS son 31.53%, 6.53% y -37.11%; respectivamente. Esto ha demostrado que, a niveles bajos de adición, el caucho granular proporcionar cierta cohesión adicional al suelo, pero, cuando se añada en porcentajes superiores al 1%, el caucho granular, que es un material ligero y de baja densidad, comienza a reducir la cohesión interna del suelo, debido a que sus partículas interfieren en el contacto directo entre las partículas de suelo, disminuyendo la capacidad de carga del suelo

Tabla 43

Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo con Caucho

CBR (%)	Caucho			
	0%	1%	5%	10%
Al 100% MDS	69.81	70.44	58.68	25.46
Al 95% MDS	34.92	45.93	37.20	21.96

Tabla 44

CBR al 100% MDS del Suelo con Caucho

Caucho	CBR al 100% MDS (%)	Porcentaje de reducción
0%	69.81	0.00%
1%	70.44	0.90%
5%	58.68	-15.94%
10%	25.46	-63.53%

Tabla 45

CBR al 95% MDS del Suelo con Caucho

Caucho	CBR al 95% MDS (%)	Porcentaje de reducción
0%	34.92	0.00%
1%	45.93	31.53%
5%	37.20	6.53%
10%	21.96	-37.11%

Figura 54

CBR al 100% MDS del Suelo con Concreto

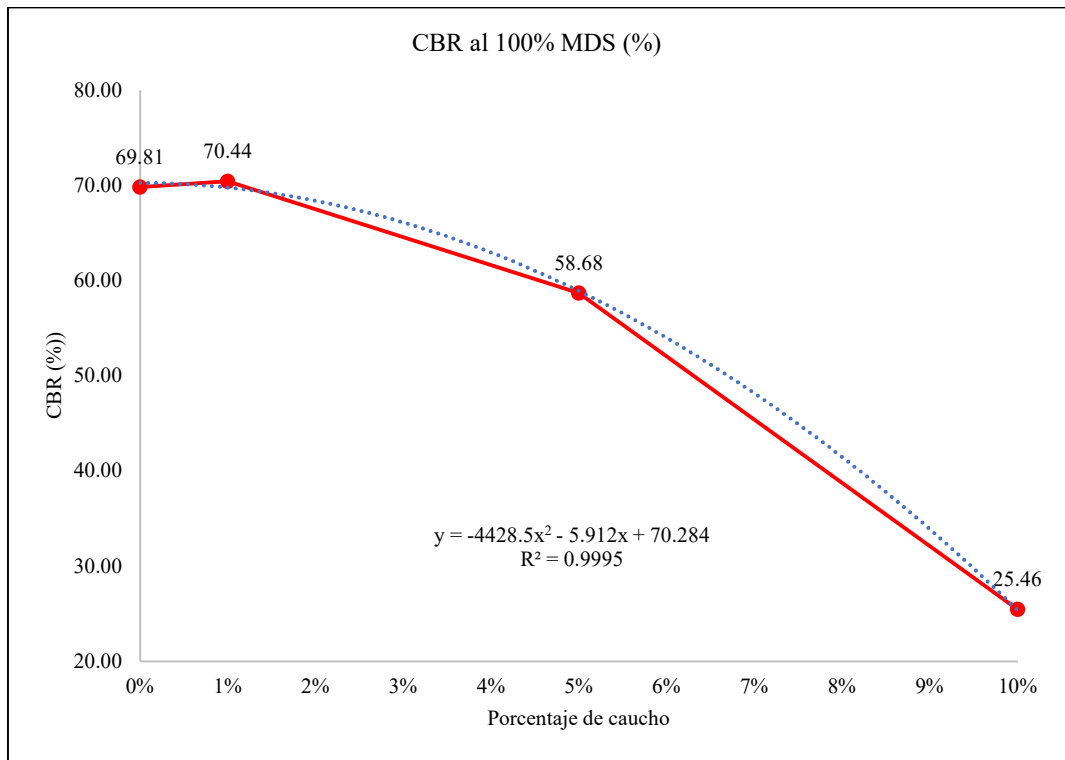
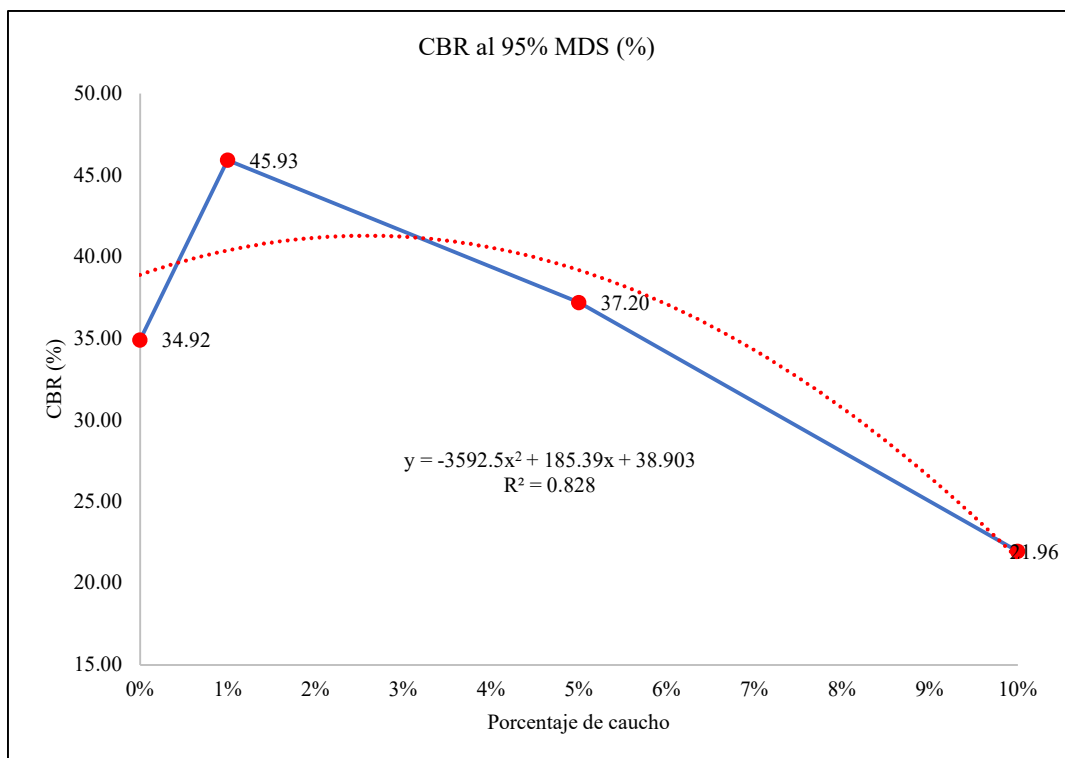


Figura 55

CBR al 95% MDS del Suelo con Caucho



4.1.3.5. Compactación

El suelo con caucho granular tiende a disminuir su máxima densidad seca (MDS) y aumentar su óptimo contenido de humedad (OCH). Esto lleva a que, sea necesario menor volumen de agua para realizar el proceso de compactación en campo para el afirmado de carreteras, pero al tener alta densidad seca, este aumento en volumen de agua corresponde con aumento en la resistencia, sino que, la mezcla granular es menos ligera y, por ende, más resistente.

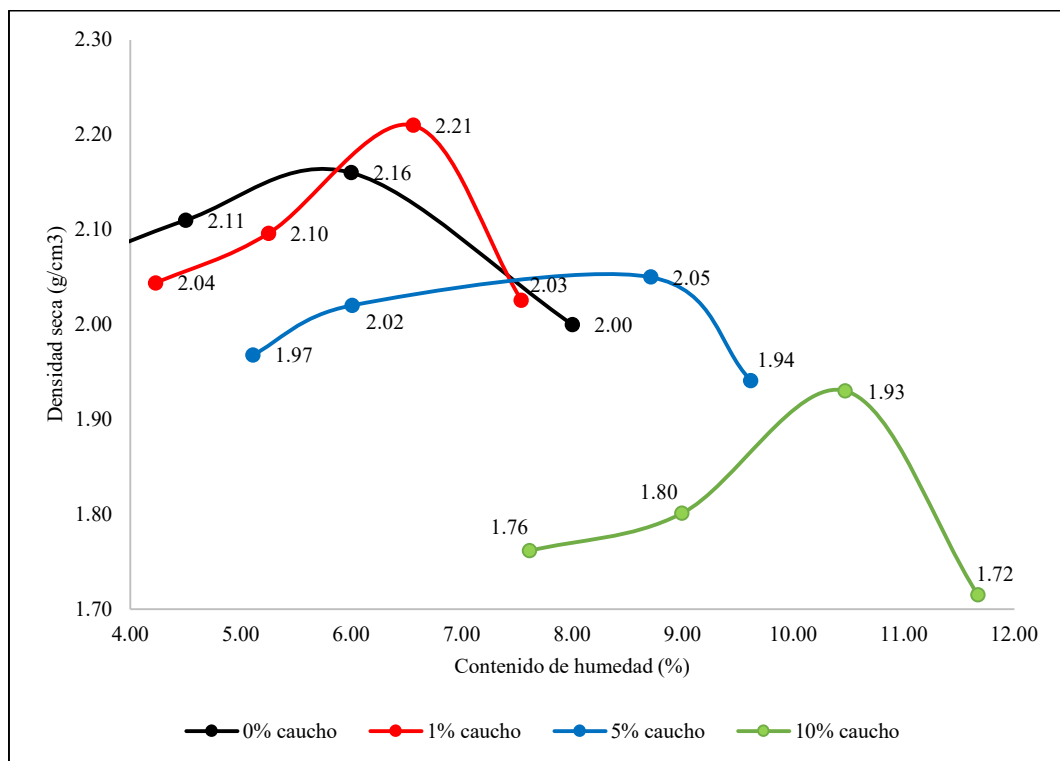
Tabla 46

Compactación del Suelo con Caucho

Caucho en la mezcla con suelo natural				
Compactación	0%	1%	5%	10%
MDS (g/cm ³)	2.16	2.21	2.05	1.93
OCH (%)	6.00	6.56	8.71	10.47

Figura 56

Curva de Compactación del Suelo con Caucho



El caucho granular tiene densidad mucho menor que los componentes minerales del suelo, como la arena, limo y arcilla. Cuando se mezcla con el suelo, el caucho reduce la densidad global de la mezcla ya que ocupa espacio, a pesar que no contribuye significativamente al peso total de la mezcla compactada. La MDS del suelo con 1%, 5% y 10% de caucho granular reduce a 2.31%, 5.09% y 10.65%, respectivamente.

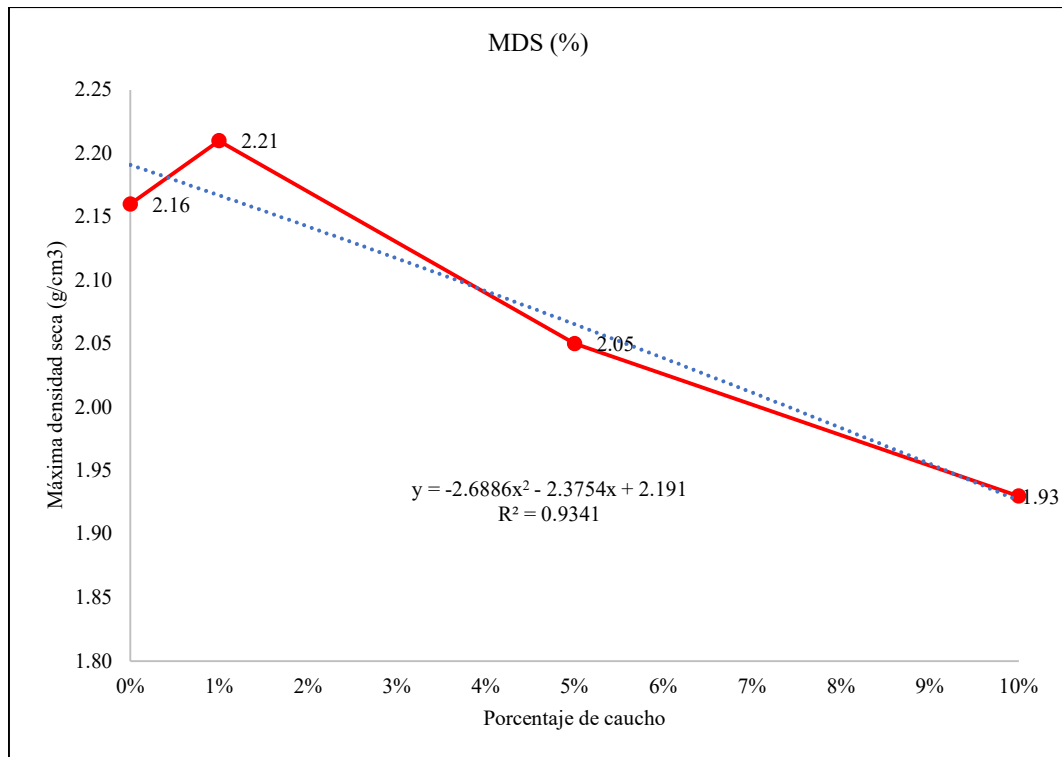
Tabla 47

Máxima Densidad Seca del Suelo con Caucho

Caucho	MDS (%)	Porcentaje de reducción
0%	2.16	0.00%
1%	2.21	2.31%
5%	2.05	5.09%
10%	1.93	10.65%

Figura 57

Máxima Densidad Seca del Suelo con Caucho



Aunque el caucho granular no absorbe agua de la misma manera que los materiales del suelo, su estructura porosa y su capacidad para retener pequeñas cantidades de agua en su superficie hacen que se necesite menor contenido de humedad para alcanzar la compactación óptima. Esto se debe a que parte del agua agregada al suelo se adhiere a la superficie del caucho, haciendo que se requiera más agua para lograr buena compactación del material. El OCH del suelo aumenta en 9.33%, 45.17% y 74.50%, respectivamente para el suelo con 1%, 5% y 10% de caucho granular.

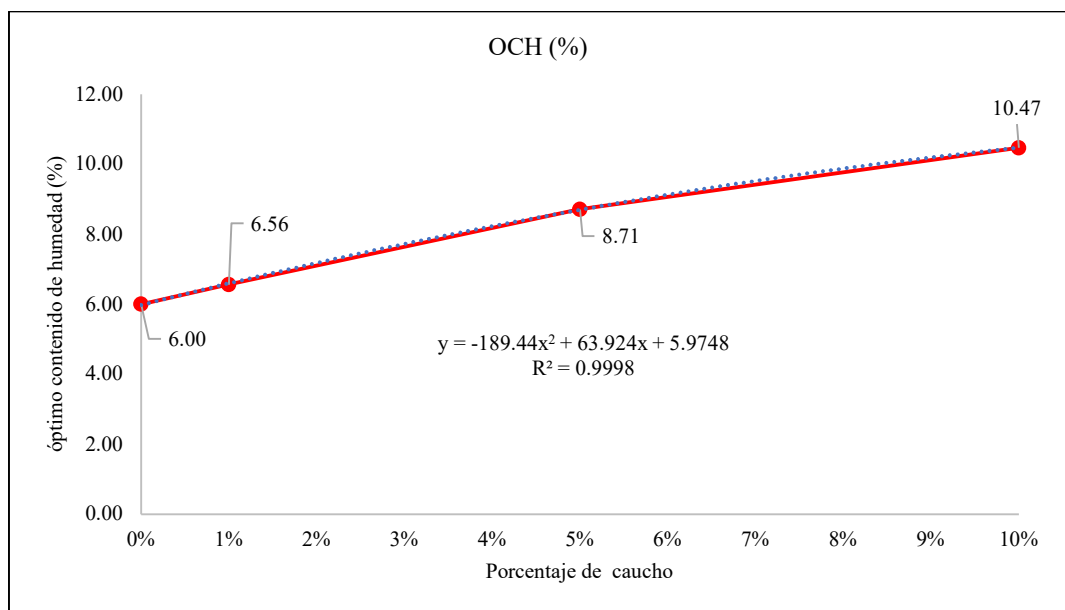
Tabla 48

Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Caucho

Caucho	OCH (%)	Porcentaje de reducción
0%	6.00	0.00%
1%	6.56	9.33%
5%	8.71	45.17%
10%	10.47	74.50%

Figura 58

Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Caucho



4.1.3.6.Desgaste por abrasión

El caucho granular tiene una alta capacidad de absorción de energía y cuando se incorpora al suelo, actúa como un material amortiguador que reduce la fricción y el desgaste entre las partículas minerales del suelo durante la exposición a fuerzas abrasivas, alcanzando reducciones de 1.68% y 4.91%, para el suelo con, 5% y 10% de caucho granula, respectivamente.

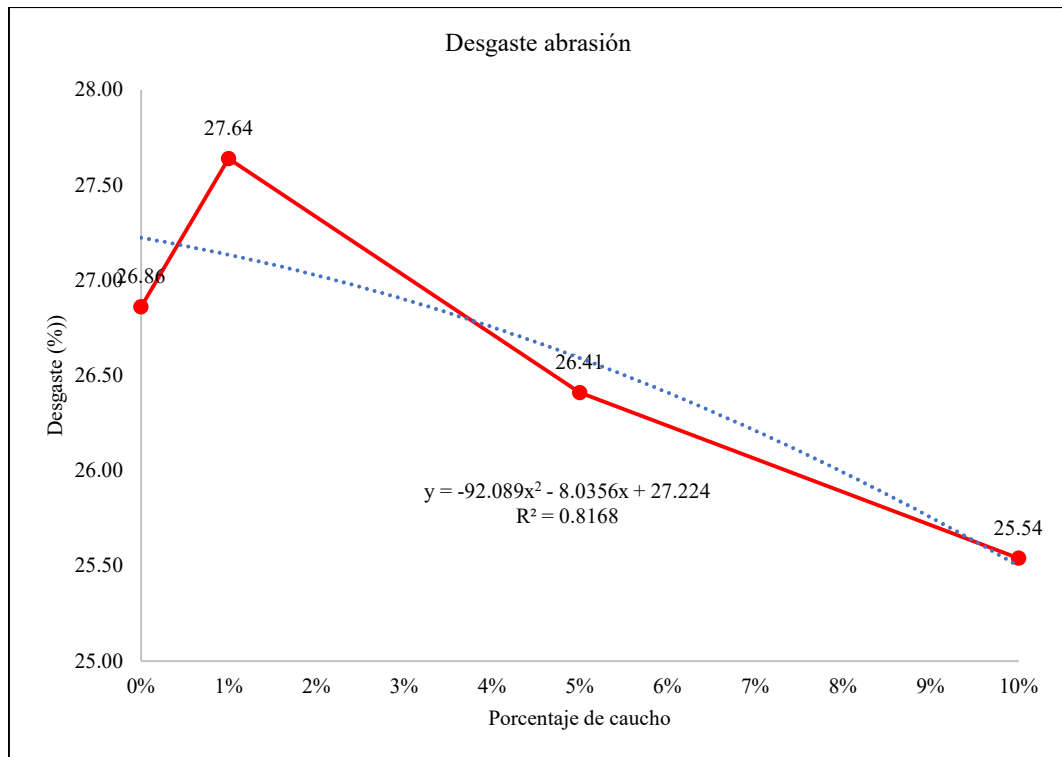
Tabla 49

Desgaste por Abrasión del Suelo con Caucho Granular

Caucho granular	Desgaste abrasión	Porcentaje de reducción
0%	26.86	0.00%
1%	27.64	2.90%
5%	26.41	-1.68%
10%	25.54	-4.91%

Figura 59

Desgaste por Abrasión del Suelo con Caucho Granular



4.1.4. Comparación de las propiedades físicas y mecánicas del material granular con aserrín y caucho granular

Al utilizar aserrín en combinación con el suelo granular la humedad se reduce en mayor medida que al utilizar caucho granular, porque el aserrín absorbe y retiene una parte significativa del agua, disminuyendo la cantidad de humedad libre en la mezcla; mientras que, el caucho granular al no absorber agua, deja mayor parte de la humedad disponible en el suelo, resultando en un contenido de humedad más alto. Cuando se utiliza 10% de aserrín la humedad del material granular alcanza 4.41%, mientras que, cuando se adiciona caucho granular al 10% el porcentaje de humedad es de 6.65%, siendo la diferencia de 2.24%.

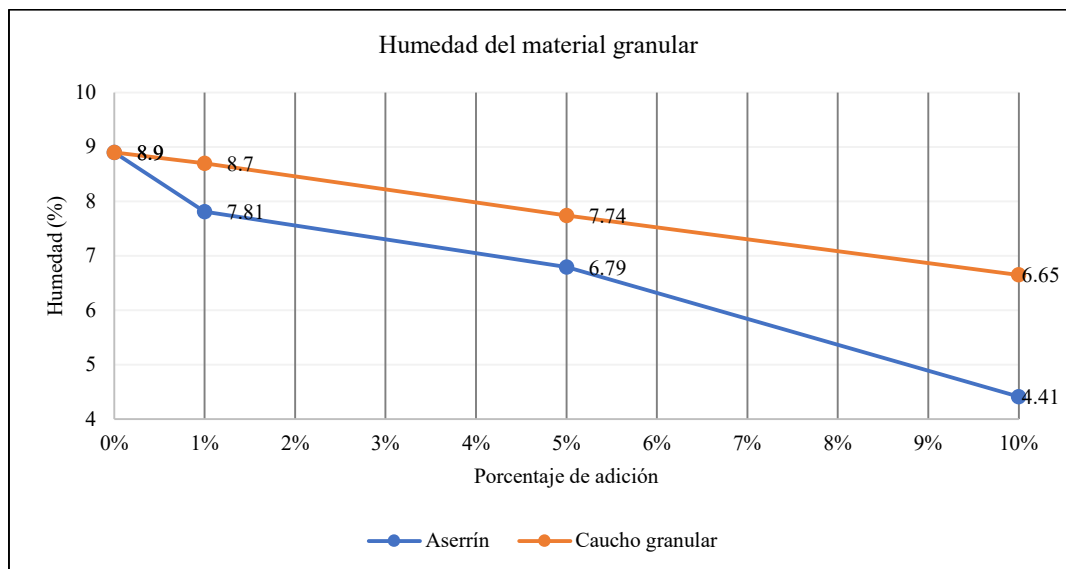
Tabla 50

Humedad del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular

% de adición	Humedad (%)		
	Aserrín	Caucho granular	Diferencia
0%	8.90	8.90	0.00
1%	7.81	8.70	-0.89
5%	6.79	7.74	-0.95
10%	4.41	6.65	-2.24

Figura 60

Humedad del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular



El límite líquido del suelo con adición de aserrín es mayor que, el límite líquido del suelo con caucho granular debido a que, el aserrín al absorber y retener más agua aumenta la cantidad de humedad necesaria para que el suelo pierda cohesión y fluya como un líquido. Para el material granular con 10% de caucho granular se obtiene 30.53% de LL, mientras que, para el suelo con 10% de aserrín se obtiene 40.33% de LL, esto ha llevado a que, el suelo con caucho granular cumpla con el LL para material de afirmado, mientras que, el suelo con más de 1% de aserrín ya no cumple con el LL para material de afirmado, que de acuerdo al MTC (2014) especifica como máximo 35%.

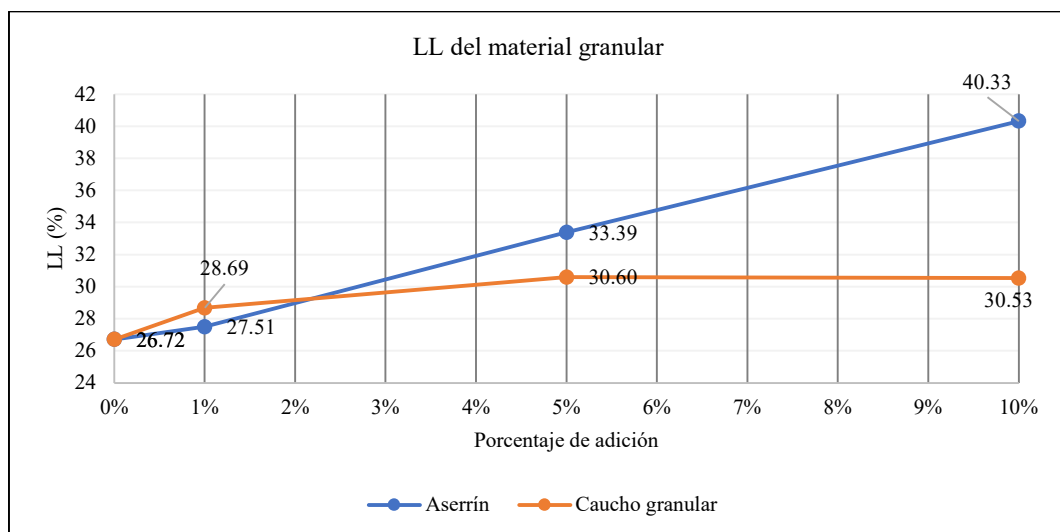
Tabla 51

Límite Líquido del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho

% de adición	LL (%)		
	Aserrín	Caucho granular	Diferencia
0%	26.72	26.72	0
1%	27.51	28.69	-1.18
5%	33.39	30.60	2.79
10%	40.33	30.53	9.80

Figura 61

Límite Líquido del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho



El límite plástico del suelo con adición de aserrín es mayor que, el suelo con caucho granular porque el aserrín, al absorber y retener más agua, requiere una mayor cantidad de humedad para que el suelo pase a un estado plástico; mientras que, el caucho al no absorber agua y no alterar significativamente la cohesión del suelo, permite que el suelo alcance su estado plástico con menos contenido de agua, resultando en un límite plástico menor. El suelo con 10% de aserrín alcanza 34.49% de LP, mientras que, el suelo con 10% de caucho granular, tan solo alcanza 23.09%, siendo la diferencia entre las mediciones de 11.4%.

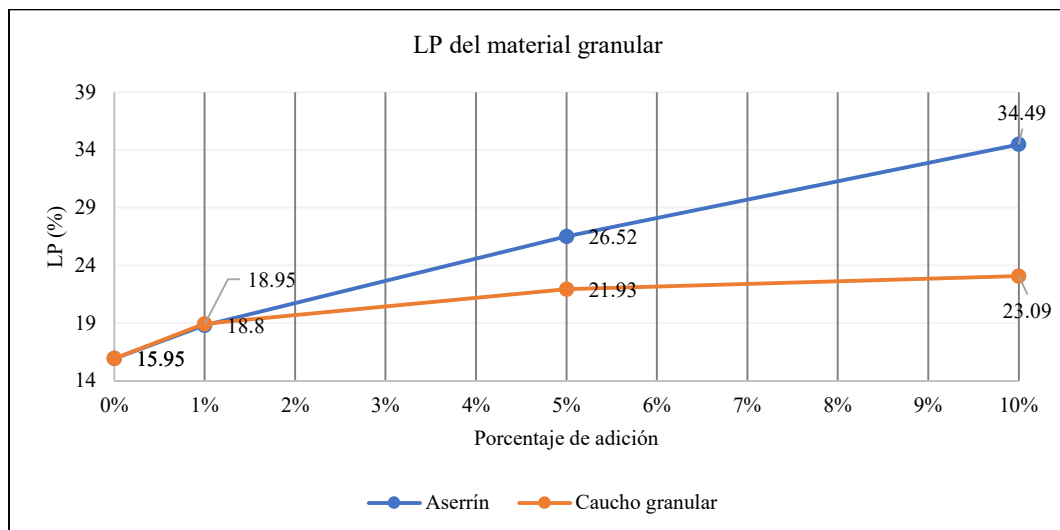
Tabla 52

Límite Plástico del Material Granular con Aserrín y Caucho Granular

% de adición	LP (%)		
	Aserrín	Caucho granular	Diferencia
0%	15.95	15.95	0
1%	18.80	18.95	-0.15
5%	26.52	21.93	4.59
10%	34.49	23.09	11.4

Figura 62

Límite Plástico del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular



El índice de plasticidad del material granular con adición de aserrín es menor que, el suelo con caucho granular, porque el aserrín incrementa significativamente el LP al absorber agua, mientras que el aumento del LL es más controlado; esto reduce la diferencia entre LL y LP, resultando en un menor índice de plasticidad en comparación con el suelo con caucho granular, donde el LL y el LP se mantienen más distantes, generando un mayor IP. El IP del suelo con aserrín al 10% cumple con los requisitos de plasticidad de una subbase granular (menor a 6%), mientras que, el IP del suelo con caucho granular solamente cumple con los requisitos de plasticidad para material de afirmado (menor a 9%).

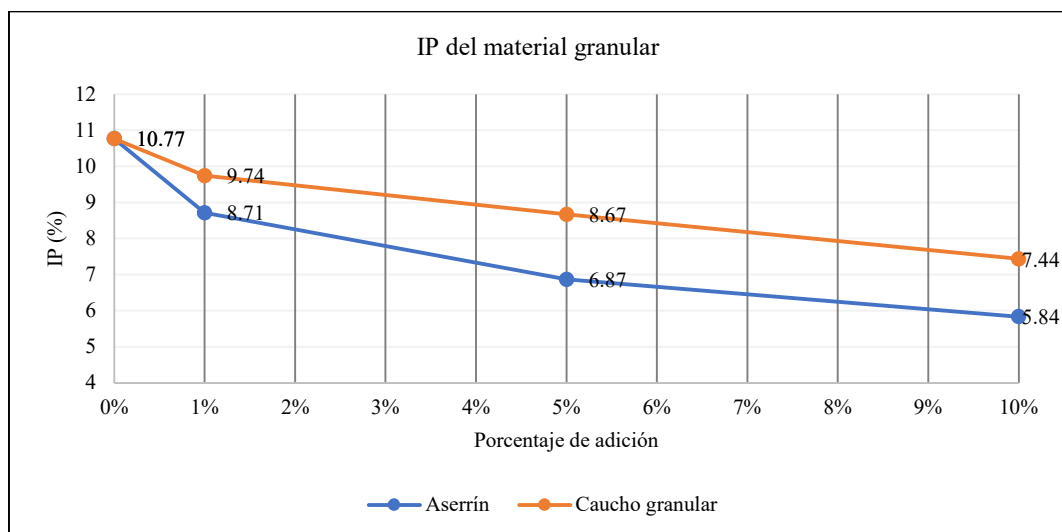
Tabla 53

Índice de Plasticidad del Material Granular con Aserrín y Caucho Granular

% de adición	IP (%)		
	Aserrín	Caucho granular	Diferencia
0%	10.77	10.77	0
1%	8.71	9.74	-1.03
5%	6.87	8.67	-1.80
10%	5.84	7.44	-1.60

Figura 63

Índice de Plasticidad del Material Granular con Aserrín y Caucho Granular



La máxima densidad seca del suelo con aserrín es menor que, al utilizar caucho granular, debido a su baja densidad, alta compresibilidad, retención de aire y capacidad de interferir con la compactación efectiva del suelo; que, en comparación, el caucho al tener una densidad mayor y menos compresibilidad permite una compactación más eficiente y una densidad seca máxima superior. El suelo con 5% de aserrín alcanza 2.01 g/cm³ de MDS, mientras que, el suelo con 5% de caucho granular alcanza 2.05 g/cm³ de MDS, siendo la diferencia de 0.04.

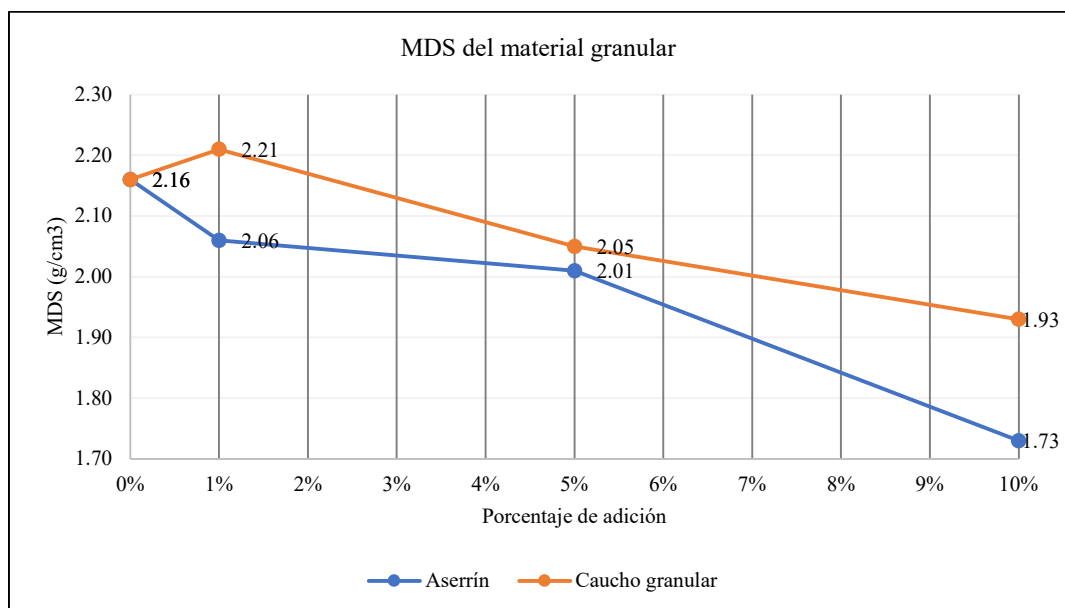
Tabla 54

Máxima Densidad Seca del Material Granular de Aserrín y Caucho Granular

% de adición	MDS (g/cm ³)		
	Aserrín	Caucho granular	Diferencia
0%	2.16	2.16	0
1%	2.06	2.21	-0.15
5%	2.01	2.05	-0.04
10%	1.73	1.93	-0.20

Figura 64

Máxima Densidad Seca del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular



El óptimo contenido de humedad del suelo con aserrín es mayor que, para el suelo con caucho granular, porque el aserrín absorbe y retiene mayor cantidad de agua, dejando menos agua disponible para la compactación efectiva del suelo. El suelo con 10% de aserrín alcanza 12.66% de OCH, mientras que, el suelo con 10% de caucho granular alcanza 10.47% de OCH, siendo la diferencia de 2.19, esto significa que, el suelo con caucho granular requiere menor volumen de agua para su proceso de compactación que, el suelo con aserrín, pero en ambos casos estos porcentajes son superiores al del suelo natural.

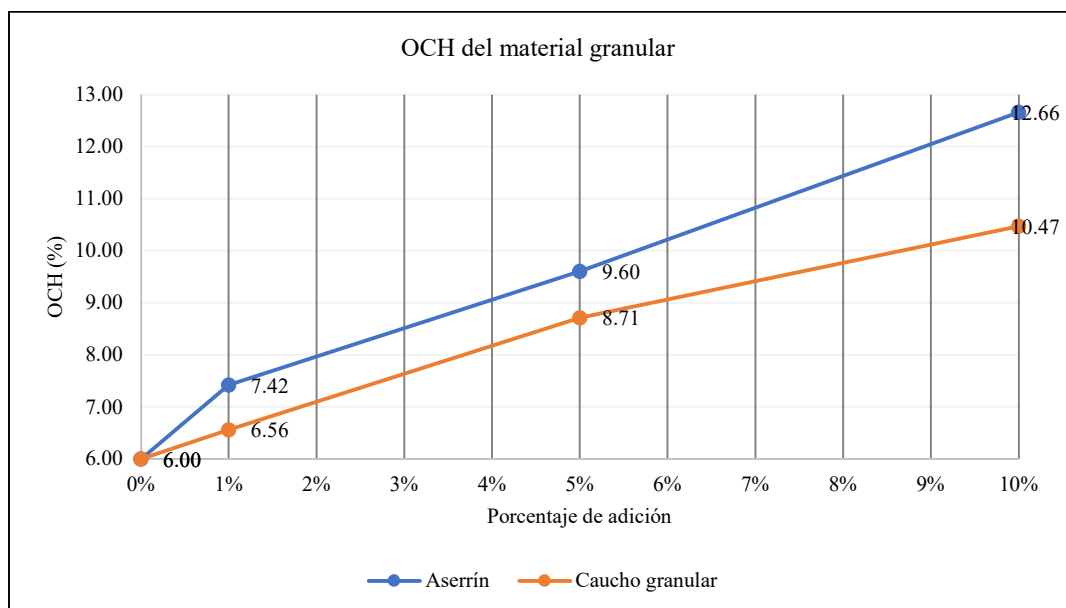
Tabla 55

Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Aserrín y Caucho Granular

% de adición	OCH (%)		
	Aserrín	Caucho granular	Diferencia
0%	6.00	6.00	0
1%	7.42	6.56	0.86
5%	9.60	8.71	0.89
10%	12.66	10.47	2.19

Figura 65

Óptimo Contenido de Humedad del Suelo con Aserrín y Caucho Granular



El porcentaje de desgaste del suelo con aserrín es mucho mayor que, el porcentaje de desgaste del suelo con caucho granular, porque el aserrín es un material más liviano y ligero, mientras que, el caucho granular es un material con mayor capacidad de amortiguación. Para el suelo con 10% de aserrín el porcentaje de desgaste es 31.84%, mientras que, para el suelo con 10% de caucho granular el desgaste a abrasión es 25.54%, siendo la diferencia 6.3%, por lo que, el suelo con caucho granular es más resistente a esfuerzos por abrasión, pero en ambos casos se cumple los requisitos técnicos debido a que, no se supera el 40%.

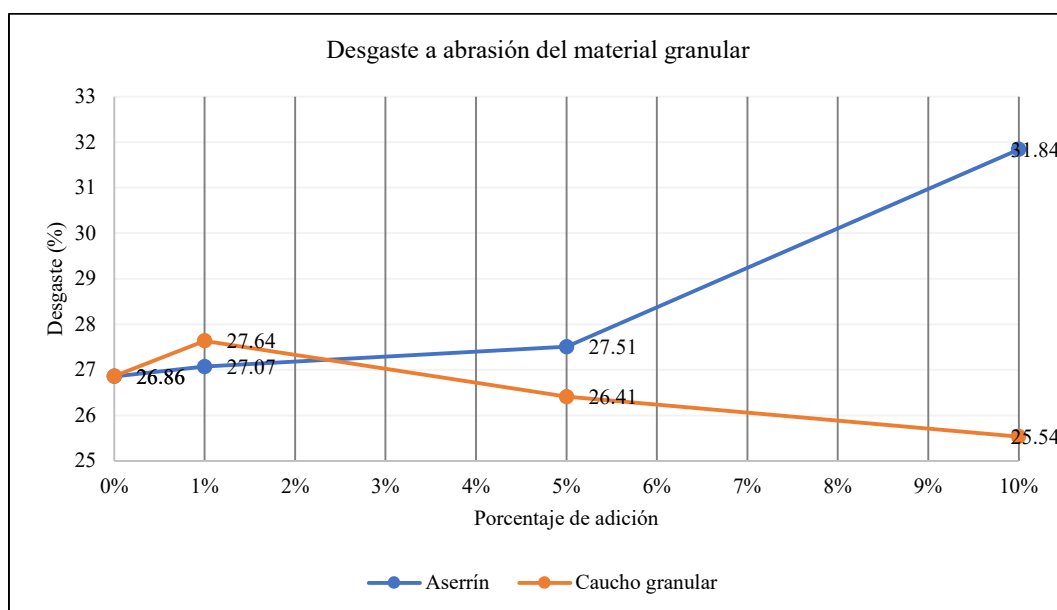
Tabla 56

Desgaste a Abrasión del Material Granular con Aserrín y Caucho Granular

% de adición	Desgaste (%)		
	Aserrín	Caucho granular	Diferencia
0%	26.86	26.86	0
1%	27.07	27.64	-0.57
5%	27.51	26.41	1.1
10%	31.84	25.54	6.3

Figura 66

Desgaste a Abrasión del Material Granular con Aserrín y Caucho Granular



El CBR al 95% de MDS del suelo con adición de aserrín es menor que, el CBR del suelo con adición de caucho granular, siendo la diferencia más notable para el suelo con 1% de aserrín que alcanza 44.11%, mientras que, el suelo con caucho granular alcanza 45.93% de CBR, en ambos casos superando el límite mínimo dado por el MTC (2014) para su uso como material de afirmado. Por tanto, a niveles de compactación del 95% de MDS, el suelo con caucho granular muestra mejor rendimiento en comparación con el suelo con aserrín porque el caucho, al no absorber agua y ser más resistente a la deformación, mantiene una estructura más estable.

Mientras que, para el CBR al 100% MDS del suelo con aserrín, ocurre algo diferente, este alcanza mayores valores que, para el suelo con caucho granular, a excepción de la muestra con 10% de aserrín donde el CBR al 100% MDS es de 24.29%, y el CBR del suelo con 10% de caucho granular es 25.46%, pero para el resto de mezclas con 1% y 5% de aserrín, el CBR al 100% MDS es superior que, para el suelo con caucho granular, alcanzando respectivamente, 70.44% y 58.68% para el suelo con caucho granular, mientras que, el suelo con aserrín alcanza CBR al 100% MDS de 74.20% y 64.41%, respectivamente.

Al compactar el suelo con aserrín al 100% de su MDS, se logra mejor integración de las partículas de suelo y aserrín. El aserrín actúa como agente estabilizador, mejorando la cohesión entre las partículas y proporcionando efecto de “amortiguación” bajo carga, esto incrementa la capacidad de soporte del suelo, reflejándose en valores de CBR superiores al suelo con caucho granular; sin embargo, cuando se adiciona mayor cantidad de aserrín (10%), la estructura del suelo se vuelve demasiado porosa y suelta, reduciendo significativamente su capacidad de soporte y, por lo tanto, el CBR disminuye. Mientras que, el caucho

granular, aunque permite buena compactación al 95% de MDS, a 100% de MDS su comportamiento cambia. Debido a su elasticidad y baja densidad, la mezcla con suelo puede volverse menos eficiente en la transferencia de cargas. A altas densidades, el caucho granular puede generar un efecto de “rebote” o elasticidad excesiva, reduciendo la capacidad de carga del suelo, lo que se traduce en menores valores de CBR en comparación con las mezclas de aserrín para el 1% y 5%; pero para el 10% de caucho granular, el CBR (25.46%) es mayor que el suelo con aserrín debido a que el exceso de aserrín crea una estructura menos estable y más susceptible a la deformación bajo carga.

Tabla 57

CBR al 95% MDS del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho

Granular

% de adición	CBR al 95% MDS (%)		
	Aserrín	Caucho granular	Diferencia
0%	34.92	34.92	0
1%	44.11	45.93	-1.82
5%	40.50	37.20	3.30
10%	19.70	21.96	-2.26

Tabla 58

CBR al 100% MDS del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho

Granular

% de adición	CBR al 100% MDS (%)		
	Aserrín	Caucho granular	Diferencia
0%	69.81	69.81	0
1%	74.20	70.44	3.76
5%	64.41	58.68	5.73
10%	24.29	25.46	-1.17

Figura 67

CBR al 95% MDS del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular

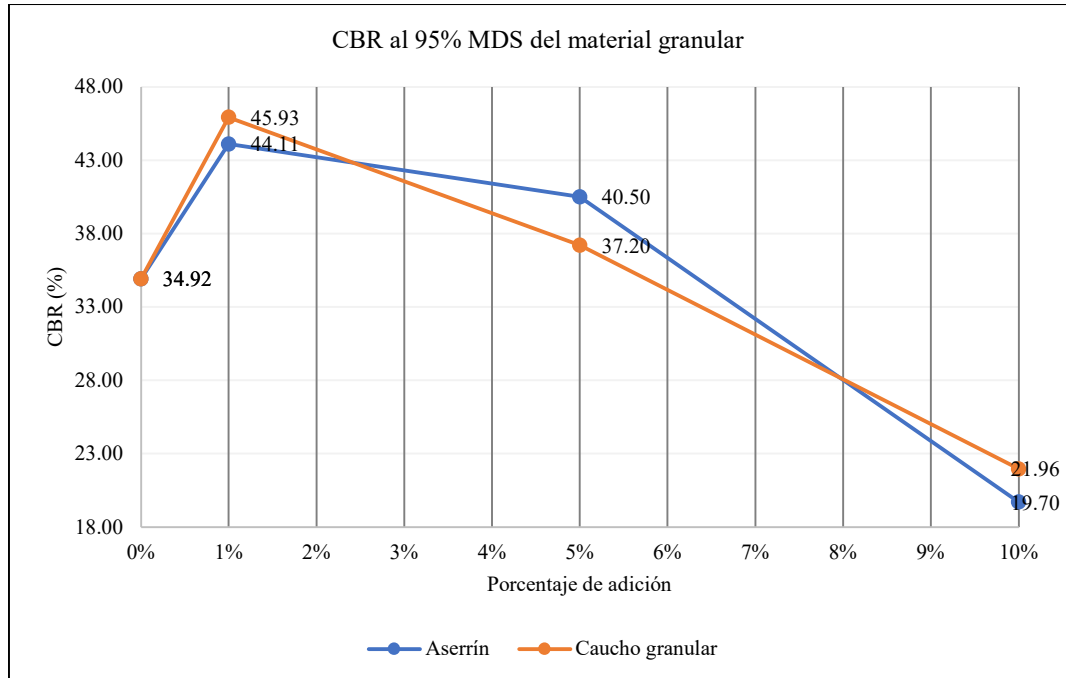
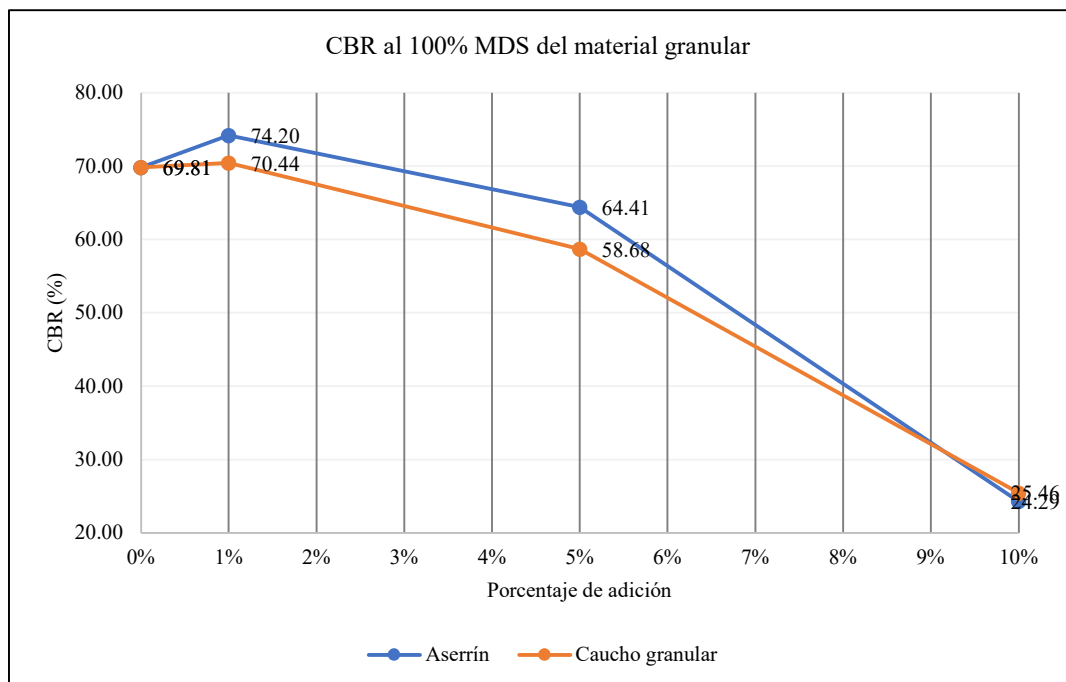


Figura 68

CBR al 100% MDS del Material Granular con Adición de Aserrín y Caucho Granular



4.1.5. Verificación del cumplimiento de los requisitos técnicos del material granular con aserrín y caucho granular para su uso como afirmado, subbase y base granular

4.1.5.1. Material granular con aserrín

El suelo de la cantera Rejopampa Alto con aserrín al 1% y 5% cumple con los requisitos para su uso como material de afirmado, presenta límite líquido menor a 35%, índice de plasticidad inferior a 9%, porcentaje de desgaste menor a 50% y CBR al 100% MDS superior a 40%, mientras que, el suelo natural presenta índice de plasticidad superior al límite máximo, es decir el material granular natural es altamente plástico, por tanto, se puede inferir que, el uso de aserrín mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo, pero esta mejora es sustancial si se utiliza como máximo 1% de aserrín, debido a que, con este porcentaje se alcanza el mayor CBR al 100% MDS equivalente a 74.20%.

Tabla 59

Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Aserrín para Afirmado con el MTC (2014)

Propiedades	Aserrín				Requisitos del (MTC, 2014)
	0%	1%	5%	10%	
LL (%)	26.72	27.51	33.39	40.33	Máx. 35%
IP (%)	10.77	8.71	6.87	5.84	Máx. 9%
Desgaste (%)	26.86	27.07	27.51	31.84	Máx. 50%
CBR al 100% MDS	69.81	74.20	64.41	24.29	Mín. 40%
CBR al 95% MDS	34.92	44.11	40.50	19.70	

El suelo de la cantera Rejopampa Alto con aserrín al 5% cumple parcialmente con los requisitos para su uso como material de subbase, presenta límite líquido superior a 25%, cuando este valor debería ser inferior, índice de plasticidad ligeramente superior al límite de 6%, porcentaje de desgaste dentro del

lineamiento, siendo menor a 50% y CBR al 100% MDS superior a 40%, por tanto, el suelo con 5% de aserrín presenta buenas características mecánicas y de plasticidad, pero supera el límite de fluidez máximo considerado en la EG-2013 (MTC, 2015).

Tabla 60

Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Aserrín para Subbase Granular con la EG-2013 (MTC, 2015)

Propiedades	Aserrín				Requisitos de la EG-2013 (MTC, 2015)
	0%	1%	5%	10%	
LL (%)	26.72	27.51	33.39	40.33	Máx. 25%
IP (%)	10.77	8.71	6.87	5.84	Máx. 6%
Desgaste (%)	26.86	27.07	27.51	31.84	Máx. 50%
CBR al 100% MDS	69.81	74.20	64.41	24.29	Mín. 40%
CBR al 95% MDS	34.92	44.11	40.50	19.70	

El suelo de la cantera Rejopampa Alto con aserrín no cumple con los requisitos para su uso como base granular, presenta límite líquido superior a 25%, índice de plasticidad mayor a 4% y CBR menor al 80% mínimo especificado en la norma CE.010 (MVCS, 2010), pero la mezcla más cercana a la capacidad de soporte normada es el suelo con 1% de aserrín que, alcanza 74.20% de CBR.

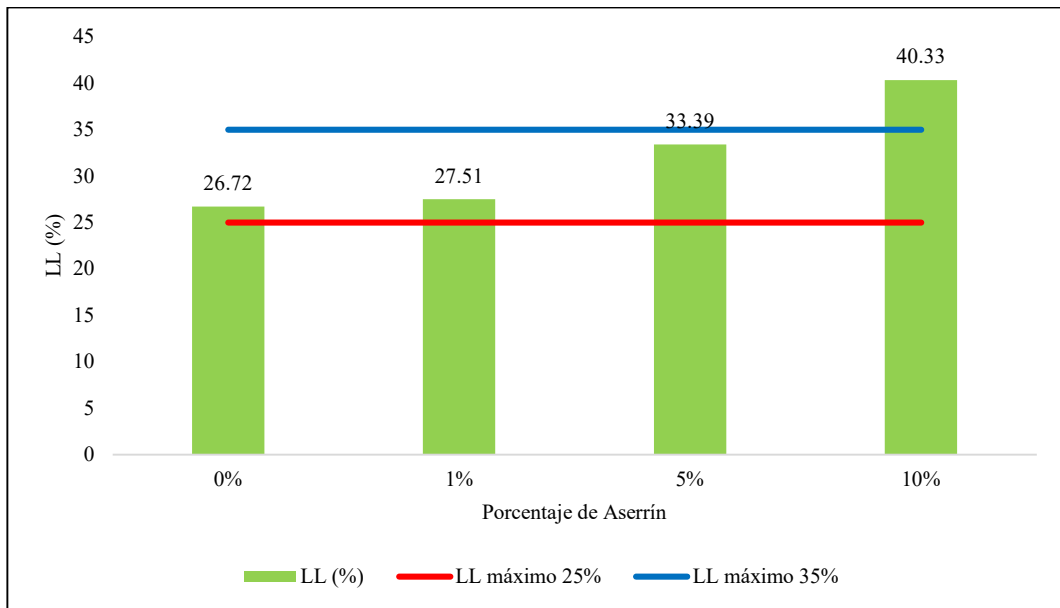
Tabla 61

Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Aserrín para Base Granular con la norma CE.010 (MVCS, 2010)

Propiedades	Aserrín				Requisitos de la norma CE.010 (MVCS, 2010)
	0%	1%	5%	10%	
LL (%)	26.72	27.51	33.39	40.33	Máx. 25%
IP (%)	10.77	8.71	6.87	5.84	Máx. 4%
Desgaste (%)	26.86	27.07	27.51	31.84	Máx. 40%
CBR al 100% MDS	69.81	74.20	64.41	24.29	Mín. 80%
CBR al 95% MDS	34.92	44.11	40.50	19.70	

Figura 69

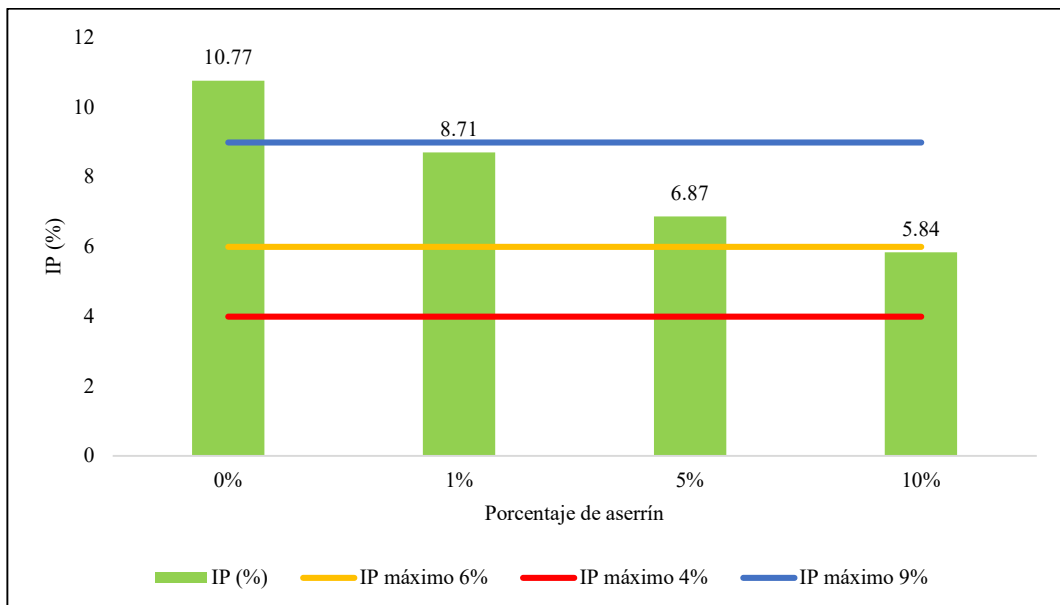
Verificación del Límite Líquido del Suelo con Aserrín



Nota. El LL del suelo con aserrín es superior al máximo de 25% especificado para subbase y base granular, pero cumple con el LL máximo para material de afirmado (35%).

Figura 70

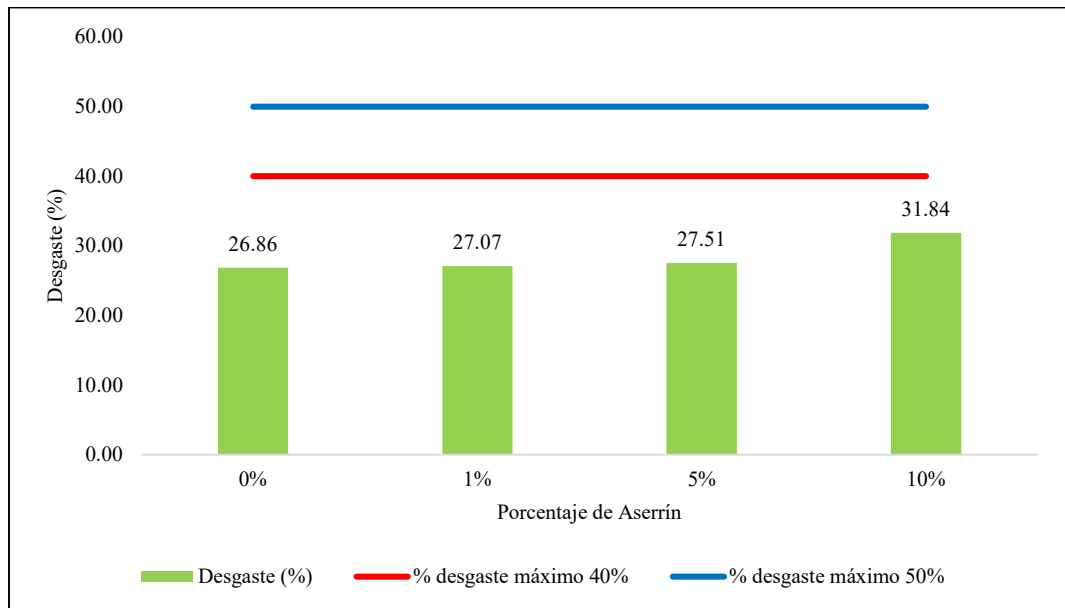
Verificación del Índice de Plasticidad del Suelo con Aserrín



Nota. El IP del suelo con aserrín supera el 4% especificado para base granular, también supera el 6% especificado para subbase granular, pero cumple con el 9% para material de afirmado.

Figura 71

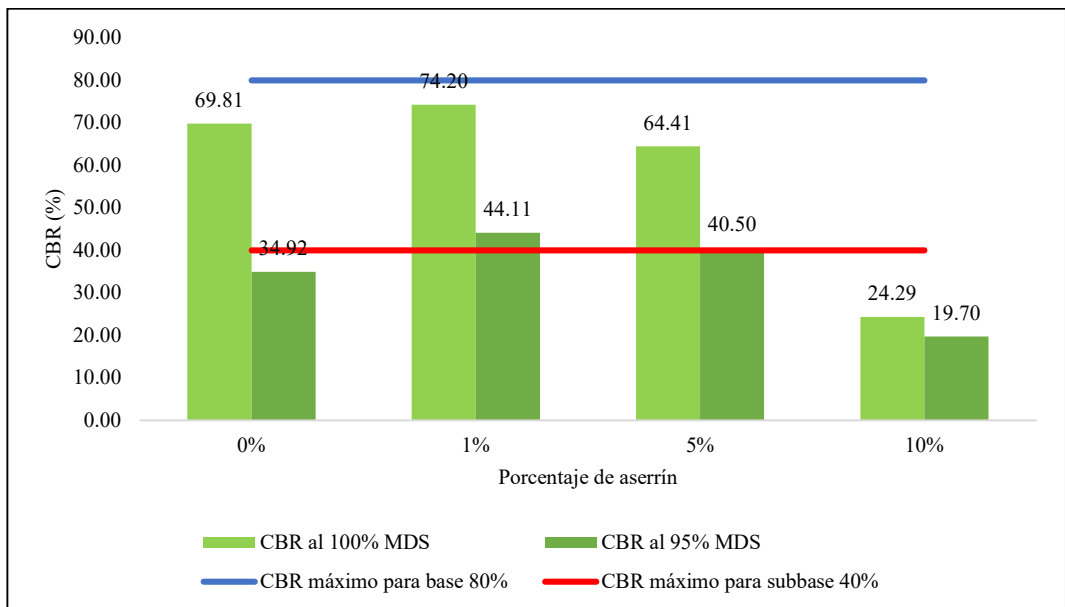
Verificación del Porcentaje de Desgaste del Suelo con Aserrín



Nota. El suelo con aserrín cumple con el porcentaje de desgaste a abrasión para afirmado, subbase y base granular, debido a que, es menor al 40%.

Figura 72

Verificación del CBR del Suelo con Aserrín



Nota. El suelo con aserrín al 1% y 5% cumple con superar el CBR al 100% MDS para su uso como afirmado y subbase granular, pero no alcanza el CBR para considerar su uso como base granular, debido a que, es menor al 80%.

4.1.5.2. Material granular con caucho granular

El suelo de la cantera Rejopampa Alto con caucho granular al 5% cumple con los requisitos para su uso como material de afirmado, presenta límite líquido menor a 35%, índice de plasticidad inferior a 9%, porcentaje de desgaste menor a 50% y CBR al 100% MDS superior a 40%, mientras que, el suelo natural presenta índice de plasticidad superior al límite máximo, es decir el material granular natural es altamente plástico, por tanto, se puede inferir que, el uso de caucho granular mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo, pero esta mejora es sustancial si se utiliza como máximo 5% de caucho granular, debido a que, con este porcentaje se alcanza a cumplir todos los requisitos especificados, aunque el mayor CBR al 100% MDS equivalente a 70.44% se logra al utilizar la combinación del suelo con 1% de caucho granular.

Tabla 62

Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Caucho para Afirmado con el MTC (2014)

Propiedades	Caucho				Requisitos del (MTC, 2014)
	0%	1%	5%	10%	
LL (%)	26.72	28.69	30.6	30.53	Máx. 35%
IP (%)	10.77	9.74	8.67	7.44	Máx. 9%
Desgaste (%)	26.86	27.64	26.41	25.54	Máx. 50%
CBR al 100% MDS	69.81	70.44	58.68	25.46	Mín. 40%
CBR al 95% MDS	34.92	45.93	37.20	21.96	

El suelo de la cantera Rejopampa Alto con caucho granular al 5% no cumple con los requisitos para su uso como material de subbase, presenta límite líquido superior a 25%, el índice de plasticidad es superior al límite de 6%, es decir el suelo con caucho granular sigue siendo altamente plástico para su aplicación como subbase granular, no obstante, el porcentaje de desgaste está

dentro del lineamiento, siendo menor a 40% y el CBR al 100% MDS es superior a 40%, por tanto, el suelo con 5% de caucho granular presenta buenas características mecánicas, pero supera tanto la fluidez, como la plasticidad máxima considerada en la EG-2013 (MTC, 2015).

Tabla 63

Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Caucho para Subbase Granular con la EG-2013 (MTC, 2015)

Propiedades	Caucho				Requisitos de la EG-2013 (MTC, 2015)
	0%	1%	5%	10%	
LL (%)	26.72	28.69	30.60	30.53	Máx. 25%
IP (%)	10.77	9.74	8.67	7.44	Máx. 6%
Desgaste (%)	26.86	27.64	26.41	25.54	Máx. 50%
CBR al 100% MDS	69.81	70.44	58.68	25.46	Mín. 40%
CBR al 95% MDS	34.92	45.93	37.20	21.96	

El suelo de la cantera Rejopampa Alto con caucho granular no cumple con los requisitos para su uso como base granular, presenta límite líquido superior a 25%, índice de plasticidad mayor a 4% y CBR menor al 80% mínimo dado en la norma CE.010 (MVCS, 2010), siendo la mezcla más cercana a la capacidad de soporte normada, el suelo con 1% de caucho granular, con 70.44%.

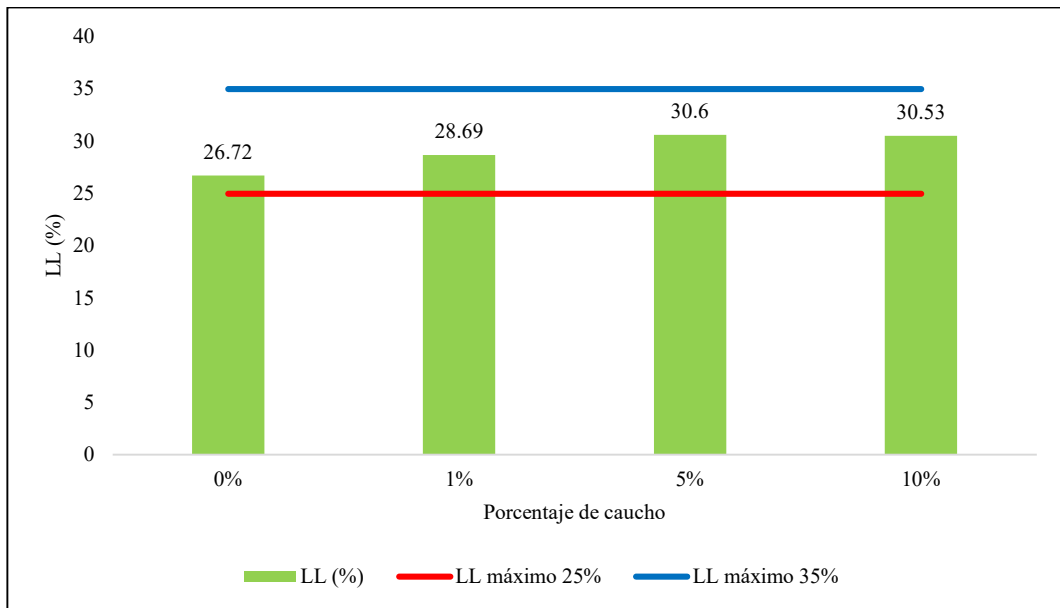
Tabla 64

Verificación del Cumplimiento del Material Granular con Caucho para Base Granular con la norma CE.010 (MVCS, 2010)

Propiedades	Caucho				Requisitos de la norma CE.010 (MVCS, 2010)
	0%	1%	5%	10%	
LL (%)	26.72	28.69	30.6	30.53	Máx. 25%
IP (%)	10.77	9.74	8.67	7.44	Máx. 4%
Desgaste (%)	26.86	27.64	26.41	25.54	Máx. 40%
CBR al 100% MDS	69.81	70.44	58.68	25.46	Mín. 80%
CBR al 95% MDS	34.92	45.93	37.20	21.96	

Figura 73

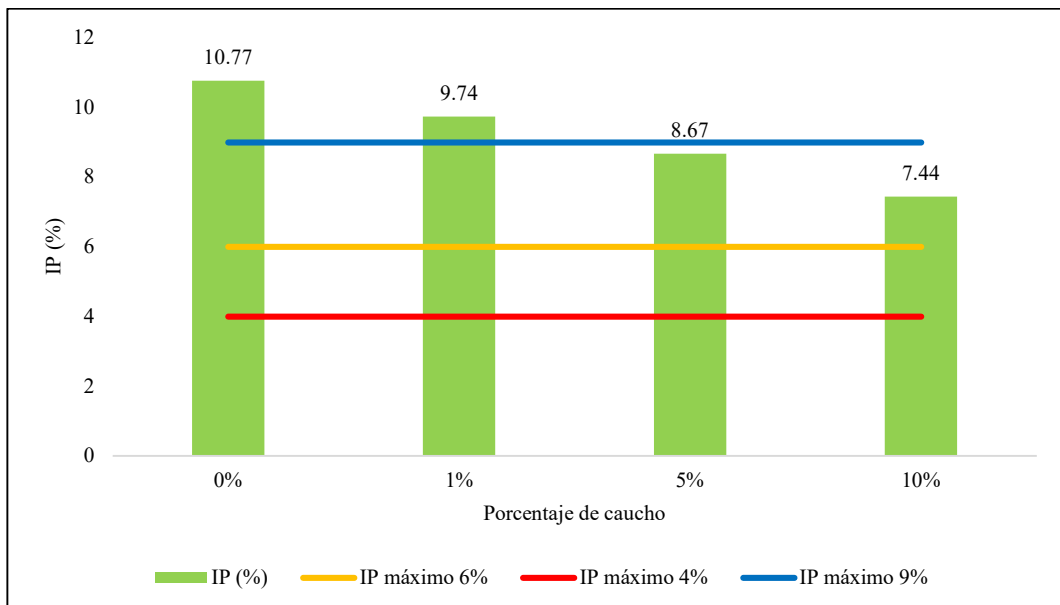
Verificación del Límite Líquido del Suelo con Caucho



Nota. El LL del suelo con caucho granular es superior al máximo de 25% especificado para subbase y base granular, pero cumple con el LL máximo para material de afirmado (35%).

Figura 74

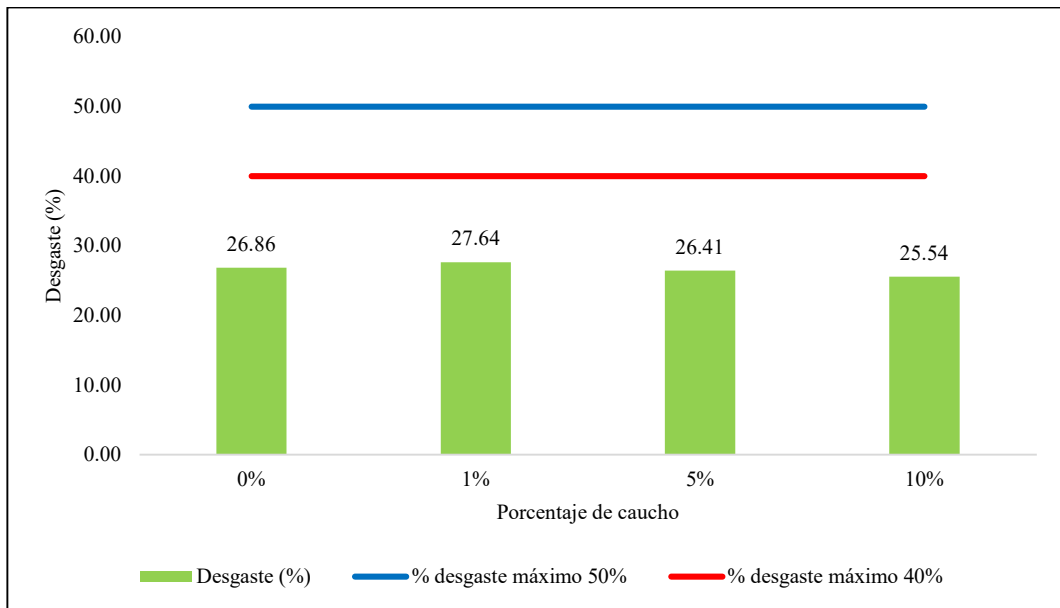
Verificación del Índice Plástico del Suelo con Caucho



Nota. El IP del suelo con caucho granular supera el 4% especificado para base granular, también supera el 6% especificado para subbase granular, pero cumple con el 9% para material de afirmado.

Figura 75

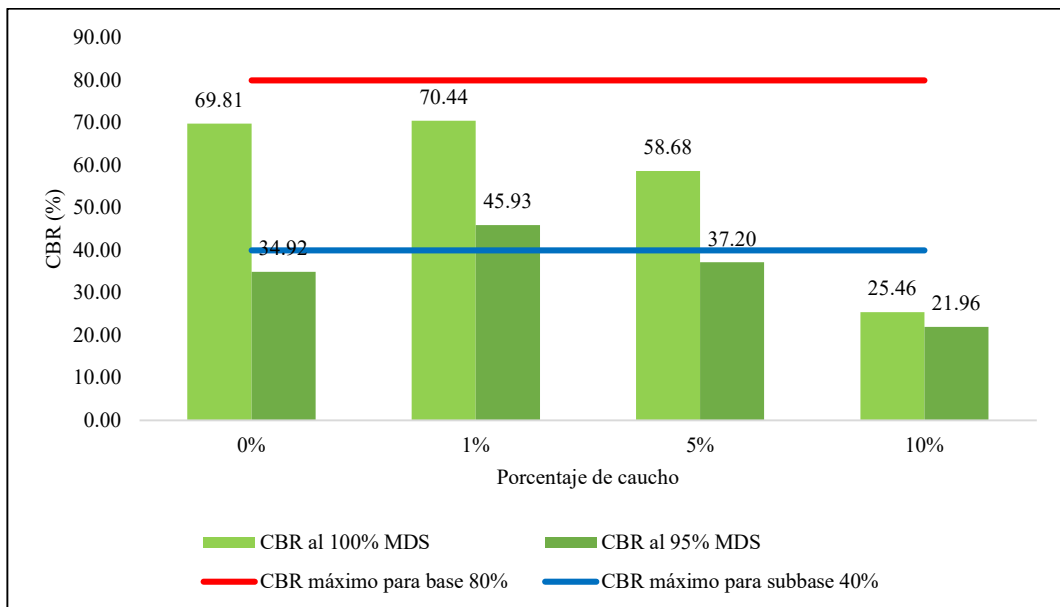
Verificación del Porcentaje de Desgaste del Suelo con Caucho



Nota. El suelo con caucho granular cumple con el porcentaje de desgaste a abrasión para afirmado, subbase y base granular, debido a que, es menor al 40%.

Figura 76

Verificación del CBR del Suelo con Caucho



Nota. El suelo con caucho granular al 1% y 5% cumple con superar el CBR al 100% MDS para su uso como afirmado y subbase granular (40%), pero no alcanza el CBR para considerar su uso como base granular, debido a que, es menor al 80%.

4.2. Contrastación de hipótesis

a) Datos para análisis estadístico

Se ha considerado la siguiente data:

Tabla 65 *Propiedades Físico Mecánicas del Suelo para el Análisis Estadístico*

Propiedades	% de adición	Aserrín	Caucho granular
LL (%)	0%	26.72	26.72
LP (%)	0%	15.95	15.95
IP (%)	0%	10.77	10.77
MDS (g/cm3)	0%	2.16	2.16
OCH (%)	0%	6.00	6.00
CBR al 100% MDS	0%	69.81	69.81
CBR al 95% MDS	0%	34.92	34.92
Desgaste (%)	0%	26.86	26.86
LL (%)	1%	27.51	28.69
LP (%)	1%	18.80	18.95
IP (%)	1%	8.71	9.74
MDS (g/cm3)	1%	2.06	2.21
OCH (%)	1%	7.63	6.56
CBR al 100% MDS	1%	74.20	70.44
CBR al 95% MDS	1%	44.11	45.93
Desgaste (%)	1%	27.07	27.64
LL (%)	5%	33.39	30.60
LP (%)	5%	26.52	21.93
IP (%)	5%	6.87	8.67
MDS (g/cm3)	5%	2.01	2.05
OCH (%)	5%	9.60	8.71
CBR al 100% MDS	5%	64.41	58.68
CBR al 95% MDS	5%	40.50	37.20
Desgaste (%)	5%	27.51	26.41
LL (%)	10%	40.33	30.53
LP (%)	10%	34.49	23.09
IP (%)	10%	5.84	7.44
MDS (g/cm3)	10%	1.73	1.93
OCH (%)	10%	12.66	10.47
CBR al 100% MDS	10%	24.29	25.46
CBR al 95% MDS	10%	19.70	21.96
Desgaste (%)	10%	31.84	25.54

b) Criterio de prueba

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 residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) influye en las características del material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, 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 residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) no influye en las características del material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, Chota y no cumple con los requisitos técnicos de la EG-2013 para su uso en la superficie de la infraestructura vial.

c) 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 aserrín o caucho granular 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 aserrín y caucho granular 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 77

Prueba de Normalidad para las Propiedades del Suelo con Aserrín

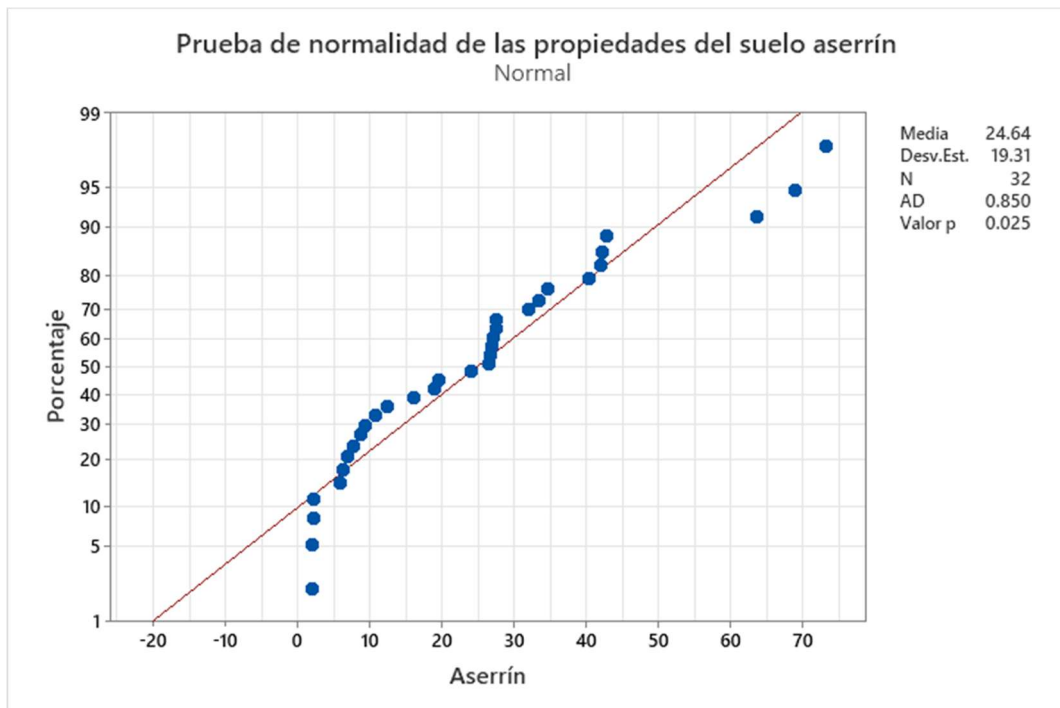
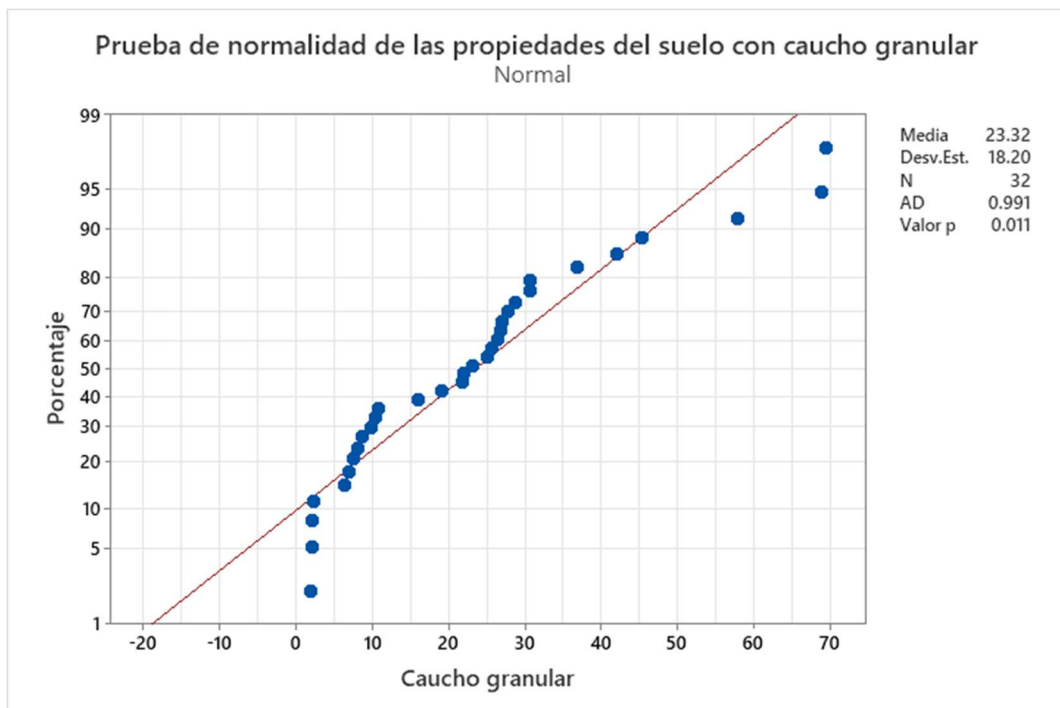


Figura 78

Prueba de Normalidad para las Propiedades del Suelo con Caucho Granular













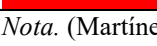


d) Prueba de correlación de Pearson

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 aserrín y caucho granular por separado en el material granular de la cantera Rejopampa Alto, 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 orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) influye en las características del material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, Chota.

Tabla 66

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 67

Correlaciones del Afirmado de la Cantera Rejopampa Alto con Aserrín

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 68

Correlaciones del Afirmado de la Cantera Rejopampa Alto con Caucho Granular

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

e) 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%, 1%, 5% y 10%) y por tipo de aditivo (aserrín y caucho granular). 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; así mismo, 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 aserrín o caucho granular.

Tabla 69

Prueba ANOVA para las Propiedades Físico Mecánicas del Suelo

Ho: No hay diferencia significativa en las mediciones de propiedades físico mecánicas del suelo entre tipo de propiedad analizada, porcentaje de aditivo utilizado y tipo de aditivo incorporado (aserrín o caucho granular).

H1: Si hay diferencia significativa en las mediciones de propiedades físico mecánicas del suelo entre tipo de propiedad analizada, porcentaje de aditivo utilizado y tipo de aditivo incorporado (aserrín o caucho granular).

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			

f) Prueba t-student

Según el análisis ANOVA, no se encontró una diferencia significativa en los resultados basada en el tipo de aditivo (aserrín o caucho granular), pero sí en relación con el porcentaje de adición. Por esta razón, se evaluó si el suelo con la adición de aserrín y caucho granular, en porcentajes de 1%, 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 1% y 5%, 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 residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) al material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, Chota, en proporciones del 1% y 5%, cumple con los estándares técnicos de la EG-2013 para su uso como afirmado en superficies de infraestructura vial.

Tabla 70

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

Orgánicos e Inorgánicos

H₀: $\mu = 35$

H₁: $\mu < 35$

Muestra	Valor T	Valor p
1% adición	-11.69	0.027*
5% adición	-2.15	0.138**
10% adición	0.09	0.528**

Nota. El valor p para 1% de adición es menor a 0.05, por tanto, se acepta H₁, y se infiere que esta dosificación cumple con no superar el 35% del límite líquido.

Tabla 71

Prueba t-student para Índice de Plasticidad del Suelo

H₀: $\mu = 9$

H₁: $\mu > 9$

Muestra	Valor T	Valor p
1% adición	0.44	0.369**
5% adición	-1.37	0.799**
10% adición	-2.96	0.896**

Nota. El valor p para 1%, 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%.

Tabla 72

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

H₀: $\mu = 50$

H₁: $\mu < 50$

Muestra	Valor T	Valor p
1% adición	-79.46	0.004*
5% adición	-41.89	0.008*
10% adición	-6.77	0.047*

Nota. El valor p para 1%, 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.

Tabla 73

Prueba t-student para CBR del Suelo

H₀: $\mu = 40$

H₁: $\mu > 40$

Muestra	Valor T	Valor p
1% adición	16.91	0.019*
5% adición	7.31	0.043*
10% adición	-26.66	0.988**

Nota. El valor p para 1% y 5% 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 10% 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.

4.3. **Discusión de resultados**

El suelo de la cantera Rejopampa Alto es grava arcillosa, tal como, el suelo estudiado por Palacios & Villanueva (2023) en San Juan Bautista y el suelo estudiado por Cosar (2023) en Lambayeque. Con contenido de humedad de 8.90%, límite líquido (LL) de 26.72% e índice de plasticidad (IP) de 10.77%, concordando con Ticlla (2021) quien también estudio la cantera Rejopampa Alto determinando que, el IP del suelo era 12.58%, por lo que, aunque el LL se encuentra dentro del rango máximo permitido de 35% para material de afirmado según el MTC (2014), supera el límite máximo de 25% establecido en la EG-2013 (MTC, 2015) para base y subbase granular. Asimismo, el IP del suelo de Rejopampa Alto excede la plasticidad máxima permitida para material de afirmado, que es de 4% a 9%, lo que indica que el suelo es altamente plástico y no cumple con los requisitos para ser utilizado como base y subbase granular según las especificaciones de la EG-2013 (MTC, 2015),

En cuanto a la granulometría, el suelo de Rejopampa Alto cumple con el huso granulométrico tipo A-1 para material de afirmado y con el huso B para subbase y base granular, con un 60.43% de grava, 24.37% de arena y 15.20% de finos; así también lo determinó Ticlla (2021), que analizó la misma cantera, comprobando que la gradación del suelo sigue los lineamientos.

Asimismo, la máxima densidad seca (MDS) del suelo de Rejopampa Alto, que alcanza 2.16 g/cm³, es similar a la MDS determinada por Ticlla (2021) de la misma fuente, quien obtuvo 2.051 g/cm³ e igual a Palacios & Villanueva (2023) cuyo suelo presentaba 2.248 g/cm³ de MDS, pero difiere del estudio de Aviles (2023) cuyo suelo tan solo alcanzaba 1.791 g/cm³, debido a que, se trata de suelo arcilloso de subrasante. Esto indica que, aunque el suelo de Rejopampa Alto tiene

una buena capacidad de compactación, su alta plasticidad podría comprometer su estabilidad a largo plazo, especialmente bajo condiciones de carga repetitiva y presencia de agua.

El suelo de Rejopampa Alto presenta un porcentaje de desgaste por abrasión del 26.86%, cumpliendo con los requisitos del MTC (2014) para material de afirmado y los de la EG-2013 (MTC, 2015) para subbase y base granular, al no superar el límite del 40%, esto también coincide con el estudio de Ticlla (2021).

Por otro lado, la capacidad de soporte del suelo de Rejopampa Alto, con valores de CBR de 34.92% y 69.81% al 95% y 100% de MDS respectivamente, supera el mínimo de 40% requerido para material de afirmado y subbase granular, según el MTC (2014) y la EG-2013 (MTC, 2015). No obstante, no alcanza el valor de 80% necesario para ser considerado como material apto para base granular, según la norma CE.010 (MVCS, 2010). El CBR alcanzado al 95% y 100% de MDS concuerda con Palacios & Villanueva (2023) quienes obtuvieron respectivamente, 44% y 58.30%, pero a pesar de esta alta capacidad de soporte decidieron mejorar las propiedades mecánicas del suelo para alcanzar la capacidad de soporte de una base granular. Siendo así, este comportamiento es consistente con Ticlla (2021), quien encontró que el CBR del suelo de la cantera Rejopampa Alto cumplía con los lineamientos mecánicos para material de afirmado, pero no con los requisitos para base granular, sin embargo, el CBR al 100% de MDS obtenido fue de 45%, mientras que, en la presente investigación el CBR alcanzado es más alto (69.81%), esto se debe a que la cantera Rejopampa Alto es un banco de material en extracción y con el paso del tiempo, el material superficial se va extrayendo y va dejando nuevo material en su superficie.

Las propiedades del suelo natural cumplen con los lineamientos mecánicos para su uso como material de afirmado, pero no cumplen con los parámetros físicos por lo que, de acuerdo a las recomendaciones de Ticlla (2021) es necesario mejorar el material granular con la incorporación de aditivos.

Al agregar aserrín en diferentes proporciones al suelo de la cantera Rejopampa Alto muestran cambios significativos en sus propiedades físico-mecánicas. A medida que se incrementa el porcentaje de aserrín, la humedad del suelo disminuye progresivamente debido a la capacidad del aserrín seco para absorber agua del suelo. Este comportamiento concuerda con el estudio de Median-Martínez et al. (2023), quienes observaron que la adición de aserrín en suelos arcillosos redujo la humedad debido a su alta capacidad de absorción, lo que afecta la trabajabilidad del suelo. En el contexto de esta investigación, la disminución de la humedad con el aumento del aserrín, desde 8.90% para el suelo sin aditivo hasta 4.41% para la mezcla con 10% de aserrín, indica un comportamiento similar.

Respecto al límite líquido (LL), se observa un incremento constante al aumentar el contenido de aserrín, alcanzando valores de 40.33% para la mezcla con 10% de aserrín. Esto sugiere que el suelo requiere más agua para alcanzar su estado plástico-líquido, debido a la capacidad de absorción y retención de agua del aserrín. Esta tendencia discrepa con Ahmed & Purnanandam (2019), quienes reportaron que la adición de aserrín en suelos arcillosos redujo significativamente el LL. En el caso del suelo de Rejopampa Alto, la mezcla con 5% de aserrín cumple con el límite máximo de 35% para afirmado, pero no con el de 25% para base granular, lo que reduce su viabilidad para capas superiores de pavimentos.

El límite plástico (LP) también se incrementa con la adición de aserrín, lo que se traduce en un aumento de la capacidad del suelo para deformarse antes de alcanzar su estado plástico. Este comportamiento está alineado con los resultados de Bosco et al. (2020), quienes observaron que el aserrín incrementa el LP al actuar como un material fino que altera la cohesión y la consistencia del suelo. Así mismo, Ahmed & Purnanandam (2019) también observaron un incremento creciente en el LP del suelo al añadir porcentajes de aserrín. En este estudio, el aumento del LP desde 15.95% para el suelo sin aserrín hasta 34.49% con 10% de aserrín evidencia una mayor plasticidad, que puede ser desfavorable para aplicaciones de alta capacidad de carga.

El índice de plasticidad (IP), por otro lado, disminuye con la adición de aserrín, mejorando la clasificación del suelo como material de afirmado. El IP se reduce un 5.84% con 10% de aserrín, cumpliendo con los estándares del MTC (2014) y la EG-2013 (MTC, 2015) para subbase granular. Este resultado es consistente con Median-Martínez et al. (2023), quienes reportaron que el uso de aserrín disminuye el IP y mejora el comportamiento del suelo, favoreciendo su aplicación en capas inferiores de pavimentos. Ahmed & Purnanandam (2019) también reportaron la reducción del IP hasta en 27.50% cuando se utiliza mayores porcentajes de aserrín, siendo así, utilizaron hasta 15% de este compuesto, pero lo trataron con cal, para no afectar las propiedades mecánicas.

El aumento del porcentaje de desgaste por abrasión con la adición de aserrín, desde 26.86% hasta 31.84% con 10% de aserrín, refleja una disminución en la resistencia del suelo frente a fuerzas mecánicas. Este aumento en el desgaste, aunque se mantiene dentro de los límites aceptables del MTC (2014), sugiere una

menor durabilidad del material, lo cual es consistente con Ahmed & Purnanandam (2019) en su estudio sobre suelos tratados con aserrín.

En cuanto a la densidad y la compactación, la máxima densidad seca (MDS) disminuye y el contenido óptimo de humedad (OCH) aumenta con la adición de aserrín. La MDS disminuye de 2.16 g/cm³ para el suelo sin aditivos a 1.73 g/cm³ con 10% de aserrín, mientras que el OCH aumenta de 6.00% a 12.66%. Este comportamiento se debe a la baja densidad del aserrín, que reduce la compacidad de la mezcla y requiere más agua para alcanzar la máxima densidad, como también fue reportado por Parayil & Salini (2024) en su estudio sobre suelos lateríticos estabilizados con SDA, pero difiere del estudio de Ahmed & Purnanandam (2019) quienes encontraron un aumento creciente en la MDS, no obstante, dichos autores no solamente utilizaron aserrín sino que, combinaron este con cal para lograr mejores características mecánicas, de allí la diferencia. Así mismo, el aumento en el OCH concuerda con Median-Martínez et al. (2023) quienes argumentan que, debido a que el aserrín es un material fibroso requiere de un mayor contenido de agua para alcanzar su MDS durante la compactación, pero este compuesto mejora la elasticidad del suelo, sin embargo, en el caso de la investigación, la reducción de la MDS y el aumento del OCH hacen que el suelo sea menos denso y más susceptible a deformaciones, como lo demuestra la expansión creciente del suelo, que alcanza 0.33% con 10% de aserrín.

La capacidad de soporte del suelo (CBR) muestra un comportamiento variable con la adición de aserrín. Al 95% de MDS, el CBR aumenta ligeramente con 1% y 5% de aserrín (44.11% y 40.50%, respectivamente), pero disminuye distribuidamente a 19.70% con 10% de aserrín. A 100% de MDS, el suelo con 1% y 5% de aserrín supera los requisitos mínimos del MTC (2014), alcanzando

74.20% y 64.41%, respectivamente, pero el suelo con 10% de aserrín presenta una caída significativa en el CBR (24.29%), lo que indica que el exceso de aserrín compromete severamente la capacidad de soporte del suelo. Estos resultados son similares a los de Gonzales (2024) y Salazar (2023), quien observó la adición de aserrín incrementa el CBR solo hasta un porcentaje óptimo, después del cual la resistencia disminuye considerablemente. En cambio, Ahmed & Purnanandam (2019) determinaron que, el suelo aumentaba su capacidad de soporte en combinación con aserrín y cal. De acuerdo a Parayil & Salini (2024) el porcentaje óptimo de aserrín puede ser mayor si se trata este compuesto previamente o se incluyen otros aditivos en conjunto como la cal, lo que, no solo genera un mayor porcentaje de adición, sino también, un incremento mayor en el CBR del suelo.

Por tanto, la adición de aserrín al suelo de la cantera Rejopampa alto mejora ciertas propiedades, como la reducción del índice de plasticidad, pero también genera efectos negativos, como la disminución de la densidad seca y la capacidad de soporte en porcentajes superiores al 5%. Estos resultados indican que, aunque el aserrín puede ser útil para mejorar la trabajabilidad y ciertas propiedades mecánicas del suelo, su uso debe limitarse a proporciones bajas (1% a 5%) para evitar comprometer la estabilidad y capacidad de soporte del material en aplicaciones viales, tal como, lo determinaron Bosco et al. (2020) quienes encontraron como dosificación óptima a la adición de 3% de aserrín.

Al adicionar caucho granular al suelo de la cantera Rejopampa Alto revelan variaciones importantes en sus propiedades físico-mecánicas. En primer lugar, el contenido de humedad disminuye progresivamente a medida que aumenta el porcentaje de caucho granular, pasando de 8.90% en el suelo sin aditivo a 8.90% con 10% de caucho. Esta reducción se debe a que el caucho, al

ser un material inorgánico y no poroso, no absorbe agua como el suelo, lo que reduce la cantidad de humedad disponible en la mezcla. Este comportamiento es coherente con Palacios & Villanueva (2023), quienes observaron una disminución similar en el contenido de humedad al agregar caucho granular a suelos arcillosos, concluyendo que la inclusión de caucho reduce la capacidad del suelo para retener agua.

El límite líquido (LL) del suelo con caucho granular muestra un incremento conforme aumenta el porcentaje de adición, alcanzando un valor máximo de 30.53% con 10% de caucho granular. Aunque todos los valores se mantienen dentro del límite máximo de 36% para material de afirmado según el MTC (2014), no cumplen con el estándar de 25% para base granular establecido por la EG-2013 (MTC, 2015). Este aumento en el LL sugiere que la presencia de caucho granular, al no contribuir a la cohesión interna del suelo, requiere más agua para que el suelo adquiera un estado plástico-líquido. Este fenómeno también fue observado por Wu et al. (2023), quienes indicaron que la alta fricción entre las partículas de caucho y arena incrementa el LL de la mezcla.

En cuanto al límite plástico (LP), este también aumenta con la adición de caucho granular, alcanzando 23.09% en la mezcla con 10% de caucho. Este comportamiento refleja una mayor capacidad del suelo para deformarse antes de alcanzar su estado plástico, lo cual se debe a la flexibilidad inherente del caucho. Sin embargo, esta característica puede ser desfavorable para aplicaciones que requieren alta capacidad de carga, ya que la mayor deformabilidad podría conducir a una menor estabilidad estructural bajo condiciones de carga dinámica. Salcedo et al. (2024) también reportaron un aumento en el LP en suelos con

caucho triturado, señalando que esta característica limita su uso en capas superiores de pavimentos.

El índice de plasticidad (IP), que mide la diferencia entre el LL y el LP, disminuye a medida que aumenta el contenido de caucho granular, alcanzando un mínimo de 7,44% con 10% de caucho. Aunque esta reducción es favorable, ya que un IP más bajo indica menor susceptibilidad del suelo a cambios volumétricos, ninguna de las combinaciones con caucho granular cumple con los límites de IP establecidos para subbase y base granular en la EG-2013 (MTC, 2015). Por lo tanto, aunque el suelo con caucho granular podría ser adecuado como material de afirmado, no es apropiado para su uso en capas estructurales superiores, donde se requiere IP menores a 6% y 4%, respectivamente. Estos resultados son similares a los reportados por Cosar (2023), quien concluyó que el caucho granular reduce el IP, pero no lo suficiente para cumplir con los requisitos de base granular.

El porcentaje de desgaste del suelo con caucho granular tiende a disminuir conforme aumenta la proporción de caucho en la mezcla, alcanzando un valor de 25.54% con 10% de caucho. Esto se debe a la resistencia del caucho a la abrasión, que reduce el desgaste del material bajo cargas mecánicas. Este resultado es favorable y coincide con Wu et al. (2023), quienes señalan que el uso de caucho granular disminuye el desgaste abrasivo del suelo, mejorando su durabilidad como material de afirmado, pero difiere de Salcedo et al. (2024) quienes determinaron el porcentaje de desgaste del suelo aumentaba al incorporar caucho triturado a la mezcla, no obstante, eso debió a que, dichos autores remplazaron el agregado fino por este compuesto, y dejaron a la mezcla sin cohesión y adherencia, lo que, terminaba aumentando su porcentaje de desgaste superando el límite de 50%, por

tanto, se recomienda usar el caucho granular como adiconante y no como sustituto de los componentes del material granular.

Respecto a la expansibilidad del suelo con caucho granular esta ha incrementado al aumentar los porcentajes de caucho en la mezcla granular, pero no son porcentajes elevados por lo que continúan cumpliendo con los límites normativos, sin embargo, Wu et al. (2023) argumenta que, las partículas de caucho son altamente deformables y llenan los huecos más fácilmente que las partículas de arena más rígidas. Esto contribuye a la alta fricción de las interfaces arena-caucho, que retrasa o incluso inhibe el movimiento relativo y el volteo de las partículas de arena. Es decir, aun cuando aumente la expansibilidad del suelo brindará mayor flexibilidad al movimiento vehicular reduciendo los esfuerzos que debe soportar la superficie del pavimento.

La máxima densidad seca (MDS) del suelo aumenta ligeramente con la adición de caucho granular, pasando de 2.16 g/cm^3 a 1.93 g/cm^3 con 10% de caucho, tal como, en el estudio de Palacios & Villanueva (2023) cuyo suelo llego a obtener 1.977 g/cm^3 de MDS al utilizar 10% de caucho granular. Esta disminución se debe a la baja densidad del caucho en comparación con las partículas minerales del suelo, según argumentan Campos & Diaz (2020). Además, el óptimo contenido de humedad (OCH) aumenta con la adición de caucho, alcanzando 10.47% con 10% de aditivo, lo que indica que se requiere más agua para lograr la máxima compactación. Esto se debe a que el caucho granular ocupa espacio en la matriz del suelo sin contribuir a la densidad total, comportamiento que también fue documentado por Zvonarić et al. (2024) y Zvonarić (2023) en sus estudios sobre mezclas estabilizadas con caucho. Pero, difiere de Palacios & Villanueva (2023) que también observaron una disminución

en el OCH al incorporar caucho granular, sin embargo, esta diferencia se debe a que, en el estudio se utilizó caucho granular seco, mientras que, en San Juan Bautista de Maynas se saturó previamente el caucho granular.

La capacidad de soporte del suelo, medida a través del CBR, muestra una tendencia decreciente con la adición de caucho granular. Aunque el CBR al 95% de MDS se incrementa ligeramente con 1% de caucho (45.93%), disminuye progresivamente a medida que se incrementa el porcentaje de caucho, alcanzando 21.96% con 10% de adición. Del mismo modo, el CBR al 100% de MDS se reduce de 69.81% para el suelo sin caucho a 25.46% con 10% de adición. Estos resultados indican que, aunque el caucho granular puede mejorar ligeramente la capacidad de soporte en pequeñas proporciones, su uso en porcentajes mayores reduce significativamente la capacidad mecánica del suelo. Salcedo et al. (2024) también encontraron una disminución en la capacidad de soporte de suelos con caucho triturado, concluyendo que este material no es viable para su uso en capas de alto tráfico debido a su baja resistencia mecánica. Así mismo, Palacios & Villanueva (2023) determinaron que el uso de caucho granular reciclado de menos de 5 mm no era favorable para suelo arcilloso porque en porcentajes superiores a 4%, generaba disminuciones en la capacidad de soporte del suelo. En cambio, Zvonarić et al. (2024) determinaron que, a mayor porcentaje de caucho granular como remplazo de la arena se obtenía un mayor CBR y mayor resistencia a la compresión, no obstante, esta diferencia se debe principalmente a la forma de uso del caucho, mientras que en el presente estudio se ha usado de forma granular, Zvonarić et al. (2024) lo utilizaron en forma de hilos (fibras), además de que incorporaron 5% de cemento a la mezcla, por lo que, para futuros estudios se

sugiere utilizar el caucho granular en combinación con otros aditivos como el cemento para lograr mejores resultados mecánicos.

Por tanto, el uso de caucho granular en el suelo de la cantera Rejopampa Alto mejora algunas propiedades como la disminución del índice de plasticidad y el porcentaje de desgaste. Sin embargo, su efecto en la capacidad de soporte y la densidad seca máxima limita su aplicación en capas superiores de pavimentos cuando supera el 5%, tal como, lo ha determinado Cosar (2023). También, Flores & Mamani (2022) determinaron que, porcentajes bajos de caucho granular son ideales para el mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo, siendo así sugirieron como máximo el uso de 4%, mientras que, Roman et al. (2019) determinaron como dosificación óptima a 3% de caucho granular. Estos resultados sugieren que el caucho granular puede ser utilizado como material de afirmado, pero no es adecuado para su uso como subbase o base granular, dado que no cumple con los requisitos técnicos de la EG-2013 (MTC, 2015) y la norma CE.010 (MVCS, 2010). Hurtado (2022) también demostró la viabilidad de utilizar el caucho granular para carreteras no pavimentadas, además de determinar que es una propuesta más económica (15.89 soles/m²) que otras propuestas de estabilización como, adición de 8% de cemento (19.91 soles/m²) y adición de 6% de cal (16.55 soles/m²).

El análisis comparativo entre las propiedades físico-mecánicas del suelo de la cantera Rejopampa Alto con la adición de aserrín y caucho granular revela diferencias significativas en su comportamiento. En primer lugar, la capacidad del aserrín para absorber y retener agua es superior a la del caucho granular, lo que se traduce en una mayor reducción de la humedad del suelo. Al agregar 10% de aserrín, la humedad del suelo se reduce un 4.41%, mientras que con el mismo

porcentaje de caucho granular, la humedad es de 8.90%. Esta diferencia de 2,24% se explica por la estructura porosa y la capacidad higroscópica del aserrín, que contrasta con la naturaleza hidrofóbica del caucho granular. Gonzales (2024) también observó una reducción significativa de la humedad en suelos tratados con cenizas de aserrín, lo que confirma la influencia de los residuos orgánicos en la retención de agua.

En cuanto al límite líquido (LL), se encontró que el suelo con aserrín presenta valores más altos que el suelo con caucho granular. El LL para el suelo con 10% de aserrín es de 40.33%, mientras que para el suelo con 10% de caucho granular es de 30.53%. Esta diferencia de casi 10% indica que el aserrín, al absorber más agua, requiere una mayor cantidad de humedad para que el suelo pierda cohesión y fluya como un líquido. Este comportamiento es similar al reportado por Ahmed & Purnanandam (2019), quienes señalan que la adición de aserrín en suelos arcillosos incrementa el LL debido a su capacidad para retener agua y modificar la cohesión del suelo.

El límite plástico (LP) también es mayor en el suelo con aserrín en comparación con el suelo con caucho granular, alcanzando 34.49% frente a 23.09% con 10% de adición. Este incremento en el LP se debe a la mayor capacidad del aserrín para retener agua y modificar la cohesión interna del suelo, lo que requiere más humedad para alcanzar su estado plástico. Esta tendencia fue observada por Bosco et al. (2020), quienes reportaron un aumento del LP en suelos estabilizados con aserrín debido a su alta capacidad de absorción.

Por otro lado, el índice de plasticidad (IP) del suelo disminuye más significativamente con la adición de aserrín en comparación con el caucho granular. Con 10% de aserrín, el IP es de 5.84%, mientras que con caucho granular

es de 7.44%. Esto se debe a que el aserrín incrementa el LP en mayor proporción que el LL, reduciendo así el rango de plasticidad del suelo. Estos valores indican que el suelo con aserrín es más adecuado para su uso como subbase granular, ya que cumple con el requisito de IP menor a 6% según la EG-2013 (MTC, 2015). En contraste, el suelo con caucho granular solo cumple con los requisitos de afirmado, coincidiendo con lo encontrado por Median-Martínez et al. (2023), quienes concluyeron que la adición de aserrín reduce el IP, mejorando la estabilidad del suelo.

La máxima densidad seca (MDS) es otra propiedad afectada por la adición de estos residuos. El suelo con aserrín presenta una MDS menor que el suelo con caucho granular, alcanzando 1.73 g/cm³ frente a 1.93 g/cm³ con 10% de adición. Esta diferencia se debe a la baja densidad y alta compresibilidad del aserrín, que interfiere con la compactación efectiva del suelo. En cambio, el caucho granular, al tener una mayor densidad y menor compresibilidad, permite una compactación más eficiente. Este comportamiento es consistente con los resultados de Zvonarić (2023), quien señaló que la inclusión de caucho en mezclas de suelo incrementa la MDS debido a su capacidad para llenar vacíos sin comprometer la densidad total del material.

El óptimo contenido de humedad (OCH) también es mayor en el suelo con aserrín. Con 10% de adición, el OCH es de 12.66% frente a 10.47% para el suelo con caucho granular. Esto refleja la mayor cantidad de agua requerida por el suelo con aserrín para alcanzar su compactación óptima, debido a la absorción adicional de agua por parte de este material. Este resultado es coherente con los hallazgos de Ahmed & Purnanandam (2019), quienes observaron un incremento en el OCH

al agregar aserrín a suelos arcillosos, lo que sugiere que el aserrín actúa como un regulador de humedad en la mezcla.

En cuanto al porcentaje de desgaste, se observa que el suelo con aserrín presenta un mayor desgaste que el suelo con caucho granular. Con 10% de adición, el desgaste por abrasión es de 31.84% para el suelo con aserrín, mientras que para el suelo con caucho granular es de 25.54%. Esta diferencia de 6.3% se explica por la naturaleza liviana y frágil del aserrín en comparación con la mayor resistencia y capacidad de amortiguación del caucho. Salcedo et al. (2024) reportaron resultados similares al observar que el caucho triturado reduce el desgaste en suelos granulares, lo que respalda la idoneidad del caucho para mejorar la resistencia a la abrasión en materiales de afirmado.

La capacidad de soporte medida a través del CBR también muestra diferencias significativas. Al 95% de la MDS, el suelo con caucho granular presenta un CBR superior al suelo con aserrín, alcanzando 45.93% frente a 44.11% con 1% de adición. Este resultado indica que el caucho granular, al no absorber agua y mantener su estructura bajo carga, proporciona una mejor capacidad de soporte en comparación con el aserrín. Sin embargo, al 100% de la MDS, el suelo con aserrín muestra una mayor capacidad de soporte que el suelo con caucho granular, alcanzando un CBR de 74.20% frente a 70.44% con 1% de adición. Esto se debe a que el aserrín, al compactarse, mejora la cohesión entre las partículas de suelo, proporcionando un mejor soporte bajo carga máxima. Este comportamiento también fue reportado por Parayil & Salini (2024), quienes observaron que la adición de SDA (ceniza de aserrín) incrementa significativamente el CBR de suelos lateríticos, mejorando su capacidad de carga bajo compactación máxima.

Por tanto, la comparación entre el aserrín y el caucho granular como aditivos en el suelo de la cantera Rejopampa Alto demuestra que ambos residuos tienen efectos distintos en las propiedades físico-mecánicas del suelo. El aserrín, aunque mejora la cohesión y el CBR al 100% de MDS, presenta desventajas en términos de desgaste y densidad. Por otro lado, el caucho granular, aunque no proporciona una cohesión tan alta, mejora la resistencia al desgaste y el CBR al 95% de MDS. Estos resultados sugieren que la selección del tipo de aditivo debe basarse en los requisitos específicos del proyecto, considerando las características mecánicas y de resistencia necesarias para la infraestructura vial.

La verificación del cumplimiento de los requisitos técnicos de la EG-2013 (MTC, 2015) para el uso del suelo de la cantera Rejopampa Alto con la adición de aserrín y caucho granular, tanto como material de afirmado, subbase, o base granular, ha permitido identificar las ventajas y limitaciones de cada material en función de las normas establecidas.

En el caso del aserrín, se observa que la adición de 1% y 5% permite que el suelo cumpla con los requisitos para su uso como material de afirmado. En particular, el suelo modificado presenta un límite de líquido menor a 35%, índice de plasticidad inferior a 9%, porcentaje de desgaste menor a 50%, y un CBR al 100% de la MDS superior al 40%. Estos resultados son consistentes con investigaciones como la de Median-Martínez et al. (2023), quienes encontraron que la adición de fibras de aserrín mejora la resistencia y la plasticidad del suelo, lo que favorece su aplicación en afirmados. Además, se destaca que con 1% de aserrín, se obtiene un CBR de 74.20%, el más alto registrado, lo que sugiere que este porcentaje es el óptimo para mejorar la capacidad de soporte del suelo. Sin

embargo, el suelo con 10% de aserrín no cumple con los requisitos para afirmar debido a su alto límite líquido.

Para el uso como material de subbase, el suelo con 5% de aserrín cumple parcialmente. Aunque el CBR y el porcentaje de desgaste son aceptables, el límite de líquido supera los 35% y el índice de plasticidad es ligeramente mayor al límite de 6%. Esto concuerda con Bosco et al. (2020), quienes mencionan que el aserrín puede aumentar la cohesión del suelo, pero su capacidad de absorción de agua también puede elevar el límite líquido, afectando su comportamiento como subbase.

En cuanto al uso como base granular, el suelo con aserrín no cumple con los requisitos técnicos, presentando un límite líquido superior al 25%, un índice de plasticidad mayor al 4%, y un CBR inferior al 80%. La adición de 1% de aserrín es la más cercana a cumplir con los requisitos, alcanzando un CBR de 74.20%, pero sigue siendo insuficiente. Ahmed & Purnanandam (2019) también encontraron que, aunque el aserrín mejora algunas propiedades mecánicas del suelo, su capacidad para cumplir con los estándares de base granular es limitada debido a su comportamiento bajo cargas elevadas.

En el caso del caucho granular, se encontró que el suelo con 5% de adición cumple con los requisitos para su uso como material de afirmado, presentando un límite líquido menor a 35%, un índice de plasticidad inferior a 9%, porcentaje de desgaste menor al 50%, y un CBR superior al 40%. Estos resultados concuerdan con las observaciones de Zvonarić et al. (2024), quienes también reportaron que la adición de caucho granular mejora la resistencia del suelo a la abrasión y su capacidad de soporte, haciéndolo adecuado para afirmados.

Para el uso como subbase, el suelo con 5% de caucho granular no cumple con los requisitos para su uso como material de subbase. El índice de plasticidad es mayor al máximo de 6%, el límite de liquidez excede al 25%, permitido por la norma técnica, lo que indica que el suelo sigue siendo altamente plástico para esta aplicación. Esto coincide con Salcedo et al. (2024), quienes señalan que, aunque el caucho granular mejora algunas propiedades del suelo, su elevada plasticidad puede limitar su aplicación en capas estructurales más exigentes, como la subbase.

El suelo con caucho granular no cumple con los requisitos para su uso como base granular, ya que presenta un límite líquido superior al 25%, un índice de plasticidad mayor al 4%, y un CBR inferior al 80%. La mezcla más cercana a cumplir con los requisitos es el suelo con 1% de caucho granular, que alcanza un CBR de 70.44%, pero aún insuficiente para su aplicación en bases granulares, lo que concuerda con Zvonarić (2023), quienes encontraron que el caucho granular, aunque mejora la compactación, no alcanza la capacidad mecánica necesaria para ser utilizado en bases granulares.

Finalmente, tanto el aserrín como el caucho granular pueden mejorar las propiedades del suelo de la cantera Rejopampa Alto para su uso en afirmados y, parcialmente, en subbases cuando se adicionan en porcentajes menores al 5%. Sin embargo, ninguno de los materiales cumple con los requisitos para ser utilizado como base granular, lo que limita su aplicación en capas más exigentes de pavimentos.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De forma general, se concluye que, la adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) influye en las propiedades del material de la cantera Rejopampa Alto, Chota, con coeficientes de correlación de Pearson de ± 0.90 , logrando elaborar una base granular que, cumple con los requisitos técnicos de la EG-2013 (MTC, 2015) para su uso como afirmado. Siendo las conclusiones específicas:

- 1) El suelo de la cantera Rejopampa Alto es de tipo grava arcillosa, con límite líquido (26.72%) dentro del rango establecido por el MTC (2014) para material de afirmado, pero con índice de plasticidad (10.77%) superior al máximo permitido, siendo altamente plástico. Además, el suelo tiene una adecuada capacidad de soporte para afirmado, siendo el CBR al 100% MDS 69.81%, pero no alcanza los valores requeridos para base granular según la norma CE.010 (MVCS, 2010).
- 2) La adición de aserrín al suelo de la cantera Rejopampa Alto afecta significativamente sus propiedades físicas y mecánicas. A medida que se incrementa el porcentaje de aserrín el límite líquido aumenta (27.51%, 33.39% y 40.33% para el suelo con 1%, 5% y 10% de aserrín), alejándose de los valores requeridos para una base granular; no obstante, el índice de plasticidad se reduce, logrando que las mezclas con 1%, 5% y 10% de aserrín cumplan con los requisitos de plasticidad con 8.71%, 6.87% y 5.84%, respectivamente. La máxima densidad seca disminuye y el contenido óptimo de humedad aumenta, lo que hace necesario un mayor volumen de agua para la

compactación. Aunque el CBR al 100% MDS mejora con la adición de 1% de aserrín (74.20%), disminuye drásticamente con mayores proporciones, siendo 64.41% y 24.29% de CBR para el suelo con 5% y 10% de aserrín, lo que limita su capacidad de soporte.

- 3) Las propiedades del suelo de la cantera Rejopampa Alto con caucho granular revela que esta adición influye en las características físicas y mecánicas del material. El límite líquido aumenta progresivamente con la adición de caucho, siendo 28.69%, 30.60% y 30.53% para el suelo con 1%, 5% y 10% de caucho granular, pero cumple con los requisitos para material de afirmado. El índice de plasticidad disminuye con la adición de caucho, siendo favorable para su uso en afirmado, con valores de 9.74%, 8.67% y 7.44% para el suelo con 1%, 5% y 10% de caucho granular. La máxima densidad seca disminuye y el contenido óptimo de humedad aumenta, indicando una mayor necesidad de agua para la compactación. El CBR mejora con la adición de hasta 1% de caucho, alcanzando 70.44% de CBR al 100% MDS, pero disminuye con mayores porcentajes de 5% y 10% alcanzando 58.68% y 25.46% de CBR al 100% MDS, limitando su uso como base granular.
- 4) La adición de aserrín y caucho granular al suelo de la cantera Rejopampa Alto produce efectos distintos en sus propiedades físicas y mecánicas. El aserrín disminuye significativamente la humedad del suelo debido a su capacidad de absorción, mientras que el caucho granular, al no absorber agua, mantiene un mayor contenido de humedad. En cuanto a la plasticidad, el límite líquido y plástico aumenta con ambos aditivos, siendo más pronunciado con el aserrín, lo que afecta negativamente su idoneidad para material de afirmado. El índice de plasticidad disminuye con la adición de ambos materiales, cumpliendo con

los requisitos para subbase con aserrín y para afirmado con caucho. La máxima densidad seca es menor con aserrín, mientras que el caucho permite una mejor compactación. En términos de capacidad de soporte, el suelo con caucho granular presenta un mejor comportamiento al 95% de MDS, mientras que al 100% MDS, el aserrín ofrece una mayor capacidad de carga. Sin embargo, con porcentajes elevados de ambos aditivos, la estructura del suelo se debilita, reduciendo su capacidad de soporte.

- 5) El suelo de la cantera Rejopampa Alto, con la adición de hasta 5% de aserrín o caucho granular, cumple con los requisitos técnicos para su uso como material de afirmado, mejorando significativamente sus propiedades físicas y mecánicas en comparación con el suelo natural. Sin embargo, el uso de aserrín o caucho granular en mayores porcentajes afecta negativamente las propiedades del suelo, impidiendo su uso como subbase o base granular. A pesar de que ambos aditivos reducen la plasticidad del suelo, ninguno logra cumplir con los parámetros de límite líquido, índice de plasticidad y capacidad de soporte requeridos para base granular según las normas establecidas en el EG-2013.

5.2. Recomendaciones y/o sugerencias

- Se recomienda estabilizar el suelo de la cantera Rejopampa Alto con aditivos que reduzcan su índice de plasticidad para mejorar su comportamiento como material de afirmado y evaluar mezclas con otros aditivos que permitan cumplir con los requisitos de base granular según las normas vigentes.
- Se sugiere limitar la adición de aserrín al suelo a un máximo de 5%, ya que proporciones superiores reducen significativamente su capacidad de soporte.

Además, se recomienda realizar pruebas adicionales con combinaciones de aserrín y otros estabilizadores para mejorar sus propiedades mecánicas.

- Se aconseja utilizar un máximo de 5% de caucho granular en la mezcla, ya que proporciones más altas reducen significativamente la capacidad de soporte del suelo. Así mismo, es necesario explorar la adición de otros componentes que puedan complementar las propiedades del caucho para cumplir con los requisitos de base granular.
- Se recomienda elegir el aditivo según el uso previsto: el aserrín para mejorar la cohesión del suelo en aplicaciones con menores exigencias mecánicas y el caucho granular para afirmados, ya que ofrece mejor comportamiento ante la compactación. Se deben evitar porcentajes elevados de ambos materiales para no comprometer la estabilidad del suelo.
- De acuerdo a los requisitos de la EG-2013 se recomienda limitar el uso de aserrín y caucho granular al 1% para su uso en el afirmado de carreteras a fin de obtener el material granular con mayor CBR. Además, es imprescindible continuar investigando la combinación de estos aditivos con otros estabilizadores que permitan mejorar su desempeño para su uso en subbase y base granular.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS

- Abukhattala, M. (2016). Use of recycled materials in road construction. *In Proceedings of the 2nd international conference on civil, structural and transportation engineering, Ottawa, Canada,* 138-146. https://doi.org/http://avestia.com/ICCSTE2016_Proceedings/files/paper/138.pdf
- 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>
- Ahmed, S. I., & Purnanandam, K. (2019). An experimental study on the performance of marine clay subgrade treated with sawdust and lime. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology,* 4(4), 383-389.
- Amaro, Z., & Capcha, P. (2021). *Diseño de pavimento flexible ambientalmente sostenible con subrasante estabilizada mediante la adición de caucho triturado según aashto-93 en el tramo kimbiri capital – C.P. Kimbiri alto.* [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma Facultad De Ingeniería]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4726>
- Amulya, S., & Shankar, A. R. (2020). Replacement of Conventional Base Course with Stabilized Lateritic Soil Using Ground Granulated Blast Furnace Slag and Alkali Solution in the Flexible Pavement Construction. *Indian Geotechnical Journal,* 50(2), 276-288.
- Anaya, S. (2021). *Criterios de diseño sustentable y bioclimático para alojamientos turísticos. Caso Ejido La Morena - Tanchachín, Aquismón, S.L.P.* [Tesis de grado, Universidad Autónoma de San Luis Potosí]. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/355190163_CRITERIOS_DE_DISENO_SUSTENTABLE_Y_BIOCLIMATICO_PARA_ALOJAMIENTOS_TURISTICOS_CASO_EJIDO_LA_MORENA_-_TANCHACHIN_AQUISMON_SLP/figures?lo=1
- Angelone, S., & Garibay, M. (2014). *Geología y geotecnia 4ª ed. Tipos de suelos: Características tacto visuales.* Academia.edu. [online]. https://doi.org/https://www.academia.edu/26115853/GEOLOGIA_Y_GEOTECNIA_2014_TIPOS_DE_SUELOS_CHARACTER%C3%8DSTICAS_TACTO_VISUALES

- Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas*, 11(2), 1-6.
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/614>
- Atiquipa, O., & Orozco, G. (2018). *Propuesta de parámetros de calidad del afirmado para carreteras no pavimentadas del Perú a fin de mejorar su serviciabilidad*. [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma].
- Aviles, L. F. (2023). *Realizar una correlación del impacto generado por la añadidura de caucho reciclado triturado, en las propiedades mecánicas (capacidad de soporte) y los costos de una base granular de una vía del norte del Perú, 2022*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].
<https://doi.org/https://hdl.handle.net/11537/37272>
- Balboa, M. C. (2019). *Estudio del material afirmado para el terraplén de carreteras Chasquitambo*. Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].
- Bañón, L., & Beviá, J. F. (2000). *Manual de carreteras. Volumen II: Construcción y mantenimiento*. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
<https://doi.org/http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1787>
- Barrera, A. (2016). *El aserrín como material expreso en el diseño interior*. Universidad del Azuay.
- Becerra, I. (2019). *Aplicación del caucho granular para modificar las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un pavimento flexible-Ancón 2019*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo].
- Benel, s. (2019). *Influencia de la incorporación de fibras de yute en la resistencia mecánica del material de afirmado de la cantera "Bazán"*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte].
- Binti, N. S. (2013). *The Effect of sawdust on shear strength properties of peat soil*. [Project report submitted, Universiti Malaysia Pahang].
- Bosco, J., Retno, S. P., & Hario, S. (2020). The Effect of Curing Time on the Engineering Properties of Sawdust and Lime Stabilized Expansive Soils. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Transportation Studies in Developing Countries (ISTSDC 2019)*, 193(1), 157-161.
<https://doi.org/https://doi.org/10.2991/aer.k.200220.033>

- Braja, M. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning. <https://aportesingecivil.com/principles-of-geotechnical-engineering-9th-edition-braja-m-das/>
- Braja, M. D. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 7ª ed.* Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Bustamante, M. H. (2023). *Mejoramiento de la capacidad portante del suelo natural de cimentación adicionando residuos triturados de neumáticos sector 3 de la Ciudad de Chota*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- Campos, M., & Diaz, E. (2020). *Adición de caucho reciclado en un suelo arcilloso para mejorar su comportamiento mecánico como material de relleno en obras geotécnicas en el sector El Suncho, distrito de Bambamarca, Hualgayoc – Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad de San Martín de Porres].
- Chávez, R. Y. (2023). *Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota*. Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- Chipana, L. V., & Chipana, R. (2024). *Diseño de pavimento y mejoramiento de subrasante con ceniza de boñiga y biorresiduo en el Jr. Aguas Verdes, Puno-2023*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12692/146709>
- Palacios, N. D., & Villanueva, P. A. (2023). *Mejoramiento de la subrasante arcillosa adicionando caucho granular de neumáticos reciclados, en el km 5 de la carretera Santo Tomás, en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de ciencias aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/668920>
- Cosar, F. E. (2023). *Estabilización de suelos arcillosos usando caucho granular de neumático para fines de carretera no pavimentadas*. [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12802/12098>
- Cuipal, B. K. (2018). *Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas–Huancas, Amazonas, 2018*. [Tesis de Grado, Universidad César Vallejo].
- 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>

- Dobrotă, D., & Dobrotă, G. (2018). An innovative method in the regeneration of waste rubber and the sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3591-3599. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.022>
- Edeh, J. E., Agbede, I. O., & Tyoyila, A. (2014). Evaluation of Sawdust Ash–Stabilized Lateritic Soil as Highway Pavement Material. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(2), 1-10.
- Elhakim, A. F., Mohammed, M. J., & Elkhoully, M. A. (2022). Improvement of expansive soil using granulated scrap tires. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7, 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s41062-021-00687-7>
- Fenner, J., Zeller, A., Liebezeit, S., Knorr, M., Schnell, A., Mettke, L., & Goldmann, D. (2024). Investigation of Industrial Residues and Waste Materials to Expand the Raw Material Base for the Production of Lightweight Aggregates. *Materials Proceedings*, 15(1), 71. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/materproc2023015071>
- Fernández-Irigoín, R., & Tiella-Ríos, T. N. (2020). Análisis de la condición de transitabilidad y nivel de intervención de las carreteras del distrito de Chota. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 3(1), pp. 24-29. <https://doi.org/https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v3n1p24>
- Ferreira, I. C., & da Silva, J. M. (2023). Técnicas para el compostaje doméstico de residuos orgánicos: Una revisión de la literatura. *Revista Latino-americana de Ambiente Construido & Sustentabilidade*, 4(17), 17-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.17271/rlass.v4i17.4555>
- Flores, A. A., & Mamani, W. O. (2022). *Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante incorporando caucho granular de neumáticos en la carretera Cochiraya – Huayrapata Puno, 2022*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12692/104635>
- García, J., Sotomayor, N. J., & Becerra, J. S. (2023). Residuos orgánicos agroindustriales empleados para la remoción de arsénico en soluciones acuosas. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, 1, 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.26507/paper.2978>
- Garzón, G., Montenegro, E., & López, F. (2005). Uso del aserrín y acículas como sustrato de Germinación. *Colombia Forestal*. <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939557008.pdf>

- Godoy, F. A., Rodríguez, J. C., & Diego, C. H. (2023). Las métricas de los residuos sólidos urbanos en el marco de la economía circular. *Teoría Praxis*, 31, 2-9. https://doi.org/https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Cano/publication/371996294_Las_metricas_de_los_residuos_solidos_urbanos_en_el_marco_de_la_economia_circular/links/64a696188de7ed28ba7c328f/Las-metricas-de-los-residuos-solidos-urbanos-en-el-marco-de-la-economi
- Gonzales, L. J. (2024). *Mejoramiento de subrasantes arcillosas incorporando agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín en avenida Venezuela, José Leonardo Ortiz*. [Tesis de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/7247>
- 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>
- Huaman, A. K. (2018). *Diseño geométrico a nivel de afirmado del camino vecinal EMP, PE-08B (HABANA) – sector Cantorcillo (KM 00+000 AL 05+000), distrito de Habana, provincia de Moyobamba, región de San Martín*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto].
- Huaman, L., & Ydrogo, J. L. (2024). *Evaluación de subbase granular tratada con residuos de concreto de demolición, cantera El Suro, comunidad San Juan del Suro, Chota, 2023*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- Hurtado, B. A. (2022). *Efecto de Adicionar Caucho Granular de Neumáticos en las Propiedades de Suelos Arcillosos para Estabilizar Subrasantes*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12848/4952>
- 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).*
- Ishibashi, I., & Hazarika, H. (2015). *Soil mechanics fundamentals.* CRC Press.
- Jasim, O. H., & Cetin, D. (2016). Effect of sawdust usage on the shear strength behavior of clayey silt soil. *Sigma Journal Engineering and Natural Sciences Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 34(1), 31-41.
- Juarez, D., & Balart, R. (2012). Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. *Revista de investigación - Ciencias.* <https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2012/08/2.clasificacion-elastomeros.pdf>
- Karim, H., Al-Recaby, M., & Nsaif, M. (2018). Stabilization of soft clayey soils with sawdust ashes. *MATEC Web of conferences*, 162(1), 1-7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/mateconf/201816201006>
- Liu, H. S., Mead, J. L., & Stacer, R. G. (2000). Environmental effects of recycled rubber in light-fill applications. *Rubber Chemistry and Technology*, 73(3), 551-564. <https://doi.org/https://doi.org/10.5254/1.3547605>
- Llique, R. H. (2003). *Manual de laboratorio de mecánica de suelos.* Editorial Universitaria de la UNC.
- Lozada, E. F. (2018). *Estudio de las características físicas y mecánicas de las canteras Hualango como material de afirmado en carreteras - provincia de Utcubamba.* [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12802/5301>

- Lozada, E. F. (2018). *Estudio de las características físicas y mecánicas de las canteras Hualango como material de afirmado en carreteras – provincia de Utcubamba*. [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán].
- 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>
- Mata, M. T. (2010). *Guía Básica para la conformación de bases y subbases para carreteras en el Salvador*. [Tesis de grado, Universidad del Salvador].
- Medina, G. R. (2020). *Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].
- Medina-Martinez, C. J., Sandoval Herazo, L. C., Zamora-Castro, S. A., Vivar-Ocampo, R., & Reyes-Gonzalez, D. (2023). Use of Sawdust Fibers for Soil Reinforcement: A Review. *Fibers*, 11(7), 1-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/fib11070058>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2012). *Manual de compostaje*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf
- Mohd, N. Z. (2007). *Stabilisation of organic clay using lime-added salt*. Universiti Teknologi Malaysia. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/49910484_Stabilisation_of_organic_clay_using_lime-added_salt/figures?lo=1
- Monroy, S. (2014). *Guía para el reciclaje de desechos orgánicos e inorgánicos y su clasificación en aldea el Quequesque municipio de Agua Blanca, departamento de Jutiapa*. [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/07/07_5118.pd
- Moreno, J., & Azcarate, J. (2021). Revisión y examen crítico de sistemas de clasificación de suelos de grano fino basados en plasticidad. *EL SEVIER*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169131720305202>
- MTC. (2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

- MTC. (2015). *Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción – EG-2013*. 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). *Diseño Geométrico 2018*. MTC.
- MVCS. (2010). Norma CE.010 Pavimentos Urbanos. En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones* (págs. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo2/05_CE/Pavimentos_Urbanos.pdf). Instituto Nacional de Gerencia (ICG).
- Narayanamoorthy, S., Anuja, A., Pragathi, S., Sandra, M., Ferrara, M., Ahmadian, A., & Kang, D. (2024). Assessment of inorganic solid waste management techniques using full consistency and extended MABAC method. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(7), 9981-9991. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-023-29195-0>
- Neomatique. (2024). *¿Cuál es el proceso de reciclaje de los neumáticos?* Neomatique: <https://www.neomatique.es/blog/cual-es-el-proceso-de-reciclaje-de-los-neumaticos>
- Nezami, V., & Kharaghani, S. (2018). Numerical Modeling of Granular Soil Stabilized Using Biological Approach in Road. *Journal of civil enineering*, 30(2), 109-118.
- Nnochiri, E. S., Emeka, H. O., & Tanimola, M. (2017). Geotechnical characteristics of lateritic soil stabilized with sawdust ash-lime mixtures tavebni Obzor. *The civil engineering Journal*, 7(1), 66-76. <https://doi.org/DOI 10.14311/CEJ.2017.01.0007>
- Parayil, A., & Salini, U. (2024). Stabilization of Weak Lateritic Soil with Sawdust Ash and Lime. *Indian Geotechnical Journal*, 1, 1-12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40098-024-00980-z>
- Peláez, G., Velásquez, S., & Giraldo, D. H. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. Ciencia e Ingeniería. *Neogranadina*. <https://www.redalyc.org/journal/911/91150559002/html/>
- 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
- Rico, A., & Del Castillo, H. (2017). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas*. Limusa.
- Rojas, H. (2024). *Incorporación de aserrín de pino en ladrillos de concreto para cobertura de techo, Chota, 2021*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.14142/490>
- Rojas, Z. (2013). *Estudio de cantera*. Universidad Peruana los Andes. <https://es.slideshare.net/zulemarojascartolin/cantera-27927127>
- Roman, B. U., Diaz, K. J., & Torres, R. M. (2019). *Incorporación de Partículas de Caucho de Neumáticos para Mejorar las Propiedades Mecánicas en Suelos Arcillosos*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Jaén].
- Salazar, A. Y. (2023). *Análisis del comportamiento del aserrín para estabilización de trochas carrozables, Cajamarca 2023*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/11537/35935>
- Salcedo Fontalvo, J. E., Vega A, D. L., Castro Cabeza, A., Ramirez Lozano, C., & Lopez Rengifo, S. (2024). Mechanical and Environmental Analysis of Granular Subbase with Fine Crumb Rubber. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 49, 14389–14401. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13369-024-09041-2>
- Sanca, M. D. (2011). Tipos de investigación científica. *Revista de actualización clínica*, 9(1), 621-624.
- Saparudin, N. A., Kasim, N., Taib, K., Azahar, W., Kasim, N., & Ali, M. (2022). Improvement of Problematic Soil Using Crumb Rubber Tyre. *IIUM Engineering Journal*, 23(2), 72-84. <https://doi.org/https://doi.org/10.31436/iiumej.v23i2.2293>
- Serret, N., Giralt, G., & Quintero, M. (2016). Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *Tecnología Química*, 26(3), 1-10.
- Singh, M., Trivedi, A., & Shukla, S. K. (2019). Strength enhancement of the subgrade soil of unpaved road with geosynthetic reinforcement layers. *Transportation Geotechnics*, 19(1), 54-60.
- Suárez, O. (2000). *Manual para el manejo de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos la plaza minorista José María Villa del municipio de Medellín*. CORANTIOQUIA Centro de información ambiental.

- 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>
- Tabasum, S. F., Laharipriya, M., & Saranya, V. (2023). An Experimental Study on Stabilization of Soil by using Shredded Rubber Tyre. *IJFMR-International Journal For Multidisciplinary Research*, 5(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i02.2508>
- Taha, S., Gabr, A., & El-Badawy, S. (2019). Regression and neural network Models for California Bearing Ratio Prediction of Typical Granular Materials in Egypt. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(10), 8690-8705. <https://doi.org/10.1007/s13369-019-03803-z>
- Tasalloti, A., Chiaro, G., Murali, A., & Banasiak, L. (2021). Physical and mechanical properties of granulated rubber mixed with granular soils—a literature review. *Sustainability*, 13(8), 4309. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13084309>
- 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, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- Vanegas, E., & Riascos, L. (2022). Residuos sólidos de origen orgánico, desechos menospreciados y casi despreciados en procesos de reciclaje. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2393
- Wik, A., & Dave, G. (2009). Occurrence and effects of tire wear particles in the environment—A critical review and an initial risk assessment. *Environmental pollution*, 157(1), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.09.028>
- Wu, M., Liu, F., Li, Z., & Bu, G. (2023). Micromechanics of granulated rubber–soil mixtures as a cost-effective substitute for geotechnical fillings. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 30(13), 2701-2717. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15376494.2022.2062628>
- Xavier, E. (2009). *RECICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES - Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora*. Ediciones Díaz de Santos. <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479788353.pdf>
- Yepes, V. (2021). *Procedimientos de construcción para la compactación y mejora del terreno. Colección Manual de Referencia, 1ª ed.* Editorial Universitat Politècnica

de València. <https://doi.org/https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/09/05/curva-compactacion-suelo/>

Zapata, R. (2018). *Geología y Geotecnia*. Universidad Nacional de Rosario.

Zvonarić, M. (2023). Influence of binder and granular rubber amount on mechanical properties of stabilized mixtures. *n AIP Conference Proceedings*, 2887(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0158554>

Zvonarić, M., Barišić, I., & Dokšanović, T. (2024). Effect of rubber granules and rubber threads on mechanical properties of cement-bound base course. *Construction and Building Materials*, 437(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137094>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Tesis: Evaluación de la adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) en material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, Chota

Tesistas: Nurynarda Coronel Verastegui, Edgar Omar Cusma Tarrillo

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>Problema general ¿Cómo influye la adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) en las características del material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, Chota y en qué medida estas mejoras cumplen con los requisitos técnicos de la EG-2013 para su uso en la superficie de la infraestructura vial?</p> <p>Problemas específicos □¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, Chota? □¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, con 1%, 5%, 10% de aserrín? □¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, con 1%, 5% y 10% de caucho granular? □¿En qué se diferencian las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto con la adición de aserrín y caucho granular por separado? □¿Cumple el suelo de la cantera Rejopampa Alto, con la adición de aserrín y caucho granular por separado, los requisitos técnicos establecidos en la EG-2013 para su empleo como material de afirmado, subbase y/o base granular?</p>	<p>General Evaluar la adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) en material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, Chota, para elaborar una base granular que, cumpla con los requisitos técnicos de la EG-2013 (MTC, 2015).</p> <p>Específicos □Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, Chota. □Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, con 1%, 5%, 10% de aserrín. □Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto, con 1%, 5% y 10% de caucho granular. □Comparar las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Granulometría, Humedad, LL, LP, Proctor modificado, CBR, abrasión de los Ángeles) de la cantera Rejopampa Alto con la adición de aserrín y caucho granular por separado. □Verificar el cumplimiento de los requisitos técnicos de la EG-2013 del suelo de la cantera Rejopampa Alto con la adición de aserrín y caucho granular por separado para su uso como material de afirmado, subbase y/o base granular.</p>	<p>Hipótesis general H1: La adición de residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) influye en las características del material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, 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 residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular) no influye en las características del material de afirmado de la cantera Rejopampa Alto, Chota y no cumple con los requisitos técnicos de la EG-2013.</p> <p>Hipótesis específicas □El suelo de la cantera Rejopampa Alto presenta características físicas y mecánicas (granulometría, humedad, LL, LP, densidad máxima seca y contenido óptimo de humedad, CBR y abrasión de Los Ángeles) que no cumplen en su totalidad con los requisitos técnicos de la EG-2013 para afirmado, subbase y/o base granular. □La adición de aserrín en proporciones de 1%, 5% y 10% modifica significativamente las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la cantera Rejopampa Alto, pudiendo mejorar parámetros como el CBR. □La adición de caucho granular en proporciones de 1%, 5% y 10% mejora las propiedades mecánicas del suelo de la cantera Rejopampa Alto, especialmente en términos de resistencia al desgaste y capacidad de soporte (CBR). □El caucho granular genera un mayor incremento en la resistencia al desgaste y capacidad de soporte del suelo, mientras que el aserrín influye principalmente en la reducción de la densidad seca máxima y en el control de la plasticidad. □El suelo de la cantera Rejopampa Alto, con la adición de 5% de caucho granular o 5% de aserrín, cumple los requisitos de granulometría, plasticidad, CBR y desgaste por abrasión establecidos en la EG-2013 para ser empleado como afirmado, subbase o base granular.</p>	<p>VI: Residuos orgánicos (aserrín) e inorgánicos (caucho granular)</p> <p>VD Material de afirmado</p>	<p>Aserrín</p> <p>Caucho granular</p> <p>Propiedades físico-mecánicas del suelo</p> <p>Propiedades del suelo aserrín</p> <p>Propiedades del suelo caucho granular</p>	<p>Porcentaje de adición</p> <p>Porcentaje de adición</p> <p>Granulometría LL LP IP MSD OCH CBR Desgaste</p> <p>Granulometría LL LP IP Desgaste MDS OCH CBR</p> <p>Granulometría LL LP IP Desgaste MDS OCH</p> <p>CBR</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo Tipo: Aplicado Nivel de investigación: Descriptivo correlacional Diseño: Experimental con grupo de control</p> <p>Muestra: Suelo de la cantera Rejopampa Alto estabilizado con 0%, 1%, 5% y 10% de aserrín y caucho granular por separado</p>

Anexo B. Ficha técnica y cotización del caucho granular



CAUCHO GRANULADO

Descripción: Caucho granulado SBR color negro y con granulometría de 2.5 mm, recomendado por FIFA - importado de Bélgica y testado en laboratorio especializado.

El tipo más recomendado y preferido para el óptimo rebote del balón en grass sintético.

Identificación:

Proveedor: GEOMETRIK TARGET.

Producto: Granulado de caucho SBR, EPDM, TPV.

Código: 8.GC.SBR.

Descripción: Caucho granulado de 8mm SBR.

Rendimiento: 4kg / m².



www.tecnograssperu.com





CAUCHO GRANULADO

FICHA TÉCNICA

Uso

Campo deportivo, campos infantiles, paseos públicos, etc.

Color

Negro

Composición Química: Por tratarse de un producto procedente del caucho criogenico, resulta imposible determinar exactamente su composición por lo que los datos especificados son aproximados.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Contenido Caucho	55% +/- 5%
Negros de Carbono	32% +/- 3%
Alquitranes	1 - 3%
Extracto Acetónico	10% +/- 3%
Oxido de Zinc	1 - 3%
Cenizas	0.5 +/- 3%
Catalizadores	0.4 - 0.7%
Protectores - antioxidantes	< 0.5%
Relleno 1	90% del Caucho
Relleno 2	10% del Caucho

Propiedades Físicas:

Dureza	65 +/- 5 Shore A.
Densidad aparente	0.50 +/- 0.02 kg/l.
Peso específico	1,1 + 0,2 kg. / D m ³



tecnograss_peru



@tecnograssperu



COTIZACIÓN

MZ. M LT. E10 - AV RESIDENCIAL LOS SAUCES
PUENTE PIEDRA - LIMA

+51 955 145 461 / +51 928 884 120

VENTAS@TECNOGRASSPERU.COM

WWW.TECNOGRASSPERU.COM



Fecha: 22/07/2024

Cotización: TGPDEP-1-2207241027

1 1707071009192216

Cotizado a:

EDEMER GONZALES IDROGO
CHOTA - CAJAMARCA
2

Cotizado por:

Diego Varas
955 145 461
ventas1@tecnograssperu.com



Ancho	,00 m	Área Total	,00 m2
Largo	,00 m		

Cantidad	Modelo	Descripción	Peso	Prec. Uni	Importe Total
-	Caucho granulado	caucho granulado importado - granulometría 2.5mm - especial para grass sintético.	1 TN	1,5	S/ 1.800,00
-	Forma-Pago	10% para separación.	-	-	-
		90% a la entrega de caucho.	-	-	-



SOLES: **BCP**
CUENTA CORRIENTE (BCP): 191-2516594-0-40
CC (BCP): 002-191-002516594040-51

DOLARES:
CUENTA CORRIENTE (BCP): 191-2516611-1-22
CC (BCP): 002-191-002516611122-56

SOLES: **BBVA**
CUENTA CORRIENTE (BBVA): 0011-0312-0100025414
CC (BBVA): 011-312-000100025414-62
DOLARES:
CUENTA CORRIENTE (BBVA): 0011-0312-0100025422
CC (BBVA): 011-312-000100025422-65

SUB-TOTAL S/ 1.525,42

I.G.V. S/ 274,58

TOTAL S/ 1.800,00

TECNOGRASS_PERU

@TECNOGRASSPERU

Anexo C. Resultado de ensayos de laboratorio

ENSAYOS DEL MATERIAL GRANULAR



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
UN SUEÑO HECHO REALIDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS
(A.S.T.M D 2216 / MTC E 107)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: 0% ASERRIN Y CAUCHO

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

Descripción	Und.	Ensayos			Promedio
		T1	T2		
Tara	Nº				
Peso Material Humedo + Tara (A)	gr.	1574.00	1586.00		
Peso Material Seco + Tara (B)	gr.	1455.00	1466.00		
Peso de Agua (A-B)	gr.	119.00	120.00		
Peso de Tara ©	gr.	120.00	116.00		
Peso Neto de Material Seco (B -C)	gr.	1335.00	1350.00		
Porcentaje de Humedad (A-B)/(B-C)*100	%	8.91%	8.89%		8.90%

OBSERVACIONES :

Porcentaje de Humedad: 8.90%

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +/- 5C°

Técnico de Laboratorio:

Ing. Walter Manuel Vásquez Tapia



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

Firma: Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(A.S.T.M D 422 / A.A.S.H.T.O T 89 / MTC E 107)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS -UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: REJOPAMPA ALTO

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra: 0% ASERIN Y CAUCHO

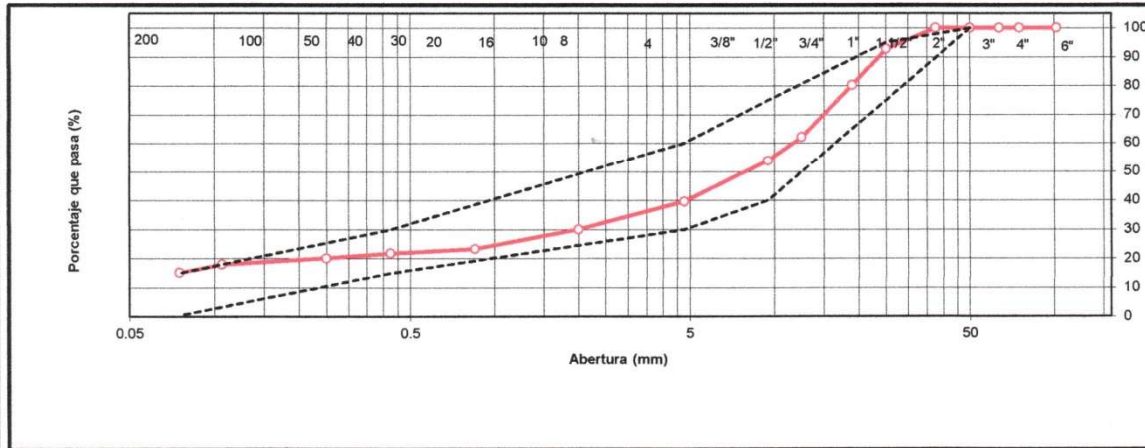
Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

Tamaño Máximo: 1 1/2" **Peso Inicial Seco:** 4400 gr.

TAMIZ A.S.T.M	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION Tipo:	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600	0.00	0.00	0.00	100.00		OBSERVACIONES :
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		Bolonería 4" - 3" : 0.00 %
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Grava 3" - N° 4 : 60.43 %
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100	Arena N°4 - N° 200 : 24.37 %
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Finos < N° 200 : 15.20 %
1"	25.000	320.00	7.27	7.27	92.73	75-95	A. gruesa N° 4 - N° 10 : 9.55 %
3/4"	19.000	550.30	12.51	19.78	80.22		A. media N° 10 - N° 40 : 8.20 %
1/2"	12.500	798.50	18.15	37.93	62.07		A. fina N° 40 - N° 200 : 6.62 %
3/8"	9.500	360.00	8.18	46.11	53.89	40-75	
N° 4	4.750	630.00	14.32	60.43	39.57	30-60	CARACTERÍSTICAS:
N° 8	2.360		0.00				LL (ASTM D4318-17): 30.53 %
N° 10	2.000	420.00	9.55	69.97	30.03	20-45	LP (ASTM D4318-17): 23.09 %
N° 16	1.190						IP (ASTM D4318-17): 7.44 %
N° 20	0.850	298.00	6.77	76.75	23.25		
N° 30	0.600						Clasificación (SUCS) : GC
N° 40	0.425	83.00	1.43	78.18	21.82	15-30	AASTHO A-2-4(0)
N° 60	0.250	77.00	1.75	79.93	20.07		
N° 140	0.106	91.50	2.08	82.01	17.99		
N° 200	0.075	122.90	2.79	84.80	15.20	05-15	
< N° 200	FONDO	668.80	15.20	100.00	0.00		

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Tamaño Máximo de partículas: 1 1/2"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
[Signature]
Manuel Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESPECIALISTA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
(UN SUEÑO HECHO REALIDAD)

LÍMITES DE ATTERBERG (A.S.T.M D 4318) / A.A.S.H.T.O T 89)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: 0% ASERIN Y CAUCHO

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

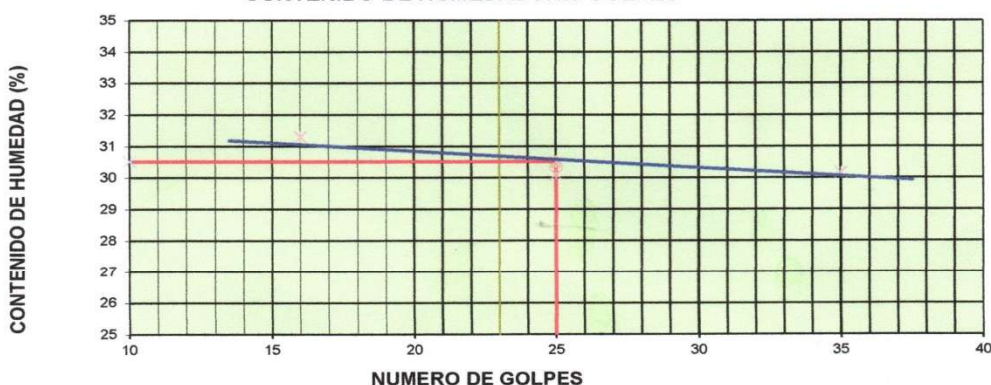
LIMITE LIQUIDO

Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T=17	T=21	T=23	
Nº TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	17.31	19.88	17.56	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	16.38	18.38	16.57	
PESO DE AGUA	(g)	0.93	1.50	0.99	
PESO DEL TARRO	(g)	13.41	13.40	13.29	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	2.97	4.98	3.28	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	31.31	30.12	30.18	
NUMERO DE GOLPES		16	25	35	

LIMITE PLASTICO

Descripción	Und	Ensayos		Observaciones
		T4	T9	
Nº TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	14.84	15.14	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	14.57	14.75	
PESO DE AGUA	(g)	0.27	0.39	
PESO DEL TARRO	(g)	13.38	13.09	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	1.19	1.66	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	22.69	23.49	

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	%	30.53
LIMITE PLASTICO	%	23.09
INDICE DE PLASTICIDAD	%	7.44

OBSERVACIONES:

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +/- 5C°



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Técnico de Laboratorio:

Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Firma:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
| UN SUEÑO HECHO REALIDAD |

PROCTOR MODIFICADO (MTC E-115 / A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: 0% ASERIN Y CAUCHO

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

PROCTOR MODIFICADO

MOLDE N° 1 **N° GOLFES** 56 **METODO**
VOLUMEN 2122.32 cm³ **COMPACTACIÓN** C

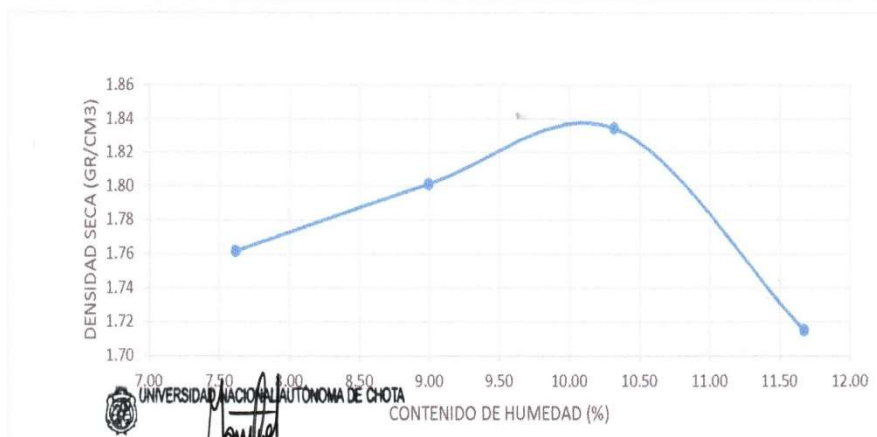
METODO DE COMPACTACION (NTP 339.141)

N° MUESTRA		1	2	3	4
Peso de Suelo Humedo Compactado + Molde	(g)	10713.00	10856.00	10985.00	10755.00
Peso de Molde	(g)	6690.00	6690.00	6690.00	6690.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado	(g)	4023.00	4166.00	4295.00	4065.00
Densidad Húmedo	(g/cm ³)	1.90	1.96	2.02	1.92

CONTENIDO DE HÚMEDAD

N° de Resipiente		1	2	3	4
Peso de la Tara	(g)	37.36	37.52	37.14	13.22
Peso de Suelo Humedo + Tara	(g)	78.92	71.34	98.84	53.12
Pesode Suelo Seco + Tara	(g)	75.98	68.55	93.07	48.95
Peso de Agua	(g)	2.94	2.79	5.77	4.17
Peso del Suelo Seco	(g)	39	31	56	36
Contenido de Agua	%	7.61	8.99	10.32	11.67
Maxima Densidad Seca	(g/cm ³)	1.76	1.80	1.83	1.72


DENSIDAD SECA MAXIMA: 1.83 /g/cm³ **CONTENIDO HUMEDAD OPTIMO:** 10.32 %



Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:

		ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)				CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO RUC : 20604291641 CEL.960234555 950589432		Pag: 6 de 6						
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS														
PROYECTO:		EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA												
UBICACIÓN:		COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA												
RESPONSABLES:		EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI					FECHA DE INF:			26/10/2023				
DATOS DE LA MUESTRA														
Material:		MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA					Muestra/Calicata: 0% ASERIN Y CAUCHO							
Fecha de Muestreo:		28/09/2023					Prof.(m):			-				
C.B.R.														
MOLDE N°		M1			M2			M3						
N° DE GOLPES POR CAPA		56			25			12						
CONDICION DE MUESTRA		SIN MOJAR		MOJADA	SIN MOJAR		MOJADA	SIN MOJAR		MOJADA				
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)		11831.44			11753.75			11603.30						
PESO DEL MOLDE (gr)		7545.00			7532.00			7562.00						
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)		4286.44			4221.75			4041.30						
VOLUMEN DEL SUELO (cm ³)		2122.00			2165.00			2127.00						
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)		2.02			1.95			1.90						
CAPSULA N°		1			2			3						
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)		100.04			80.44			93.05						
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)		95.00			76.98			88.66						
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)		5.04			3.46			4.39						
PESO DE CAPSULA (gr)		46.20			43.50			46.20						
PESO DE SUELO SECO (gr)		48.80			33.48			42.46						
HUMEDAD (%)		10.32%			10.33%			10.33%						
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)		1.83			1.77			1.72						
EXPANSIÓN														
DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION					
			mm	%		mm	%		mm	%				
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00					
1	1	0.60	0.02		0.900	0.02		1.300	0.03					
2	2	1.20	0.03		1.500	0.04		1.600	0.04					
3	3	1.30	0.03		1.650	0.04		2.300	0.06					
4	4	1.50	0.04	0.02	1.800	0.05	0.03	2.500	0.06	0.04				
PENETRACION														
PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION		
		lbs/pulg2	Kg	Lbs	lbs/pulg ²	%	Kg	Lbs	lbs/pulg ²	%	Kg	Lbs	lbs/pulg ²	%
0.000			0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.025			190.25	419.43	139.81		162.00	357.15	119.05		126.00	277.78	92.59	
0.050			450.56	893.31	331.10		347.00	765.00	255.00		223.00	491.63	163.88	
0.075			725.23	1598.86	532.95		506.00	1115.54	371.85		310.00	683.43	227.81	
0.100		1000	950.00	2094.39	698.13	69.81	653.00	1439.62	479.87	47.99	385.00	848.78	282.93	28.29
0.200		1500	1568.00	3456.84	1152.28	76.82	1058.00	2332.49	777.50	51.83	655.00	1444.03	481.34	32.09
0.300			2145.69	4730.43	1576.81		1343.00	2960.80	986.93		884.00	1948.88	649.63	
0.400			2846.00	6274.35	2091.45		1545.00	3406.14	1135.38		1101.00	2427.29	809.10	
0.500			3605.00	7947.66	2649.22		1832.00	4038.86	1346.29		1267.00	2793.25	931.08	


 CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti
 REG. CIP. 348840


 CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Gilmer Yoel Vásquez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -
LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL:960234555
950589432

Pag: 6 de 6

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

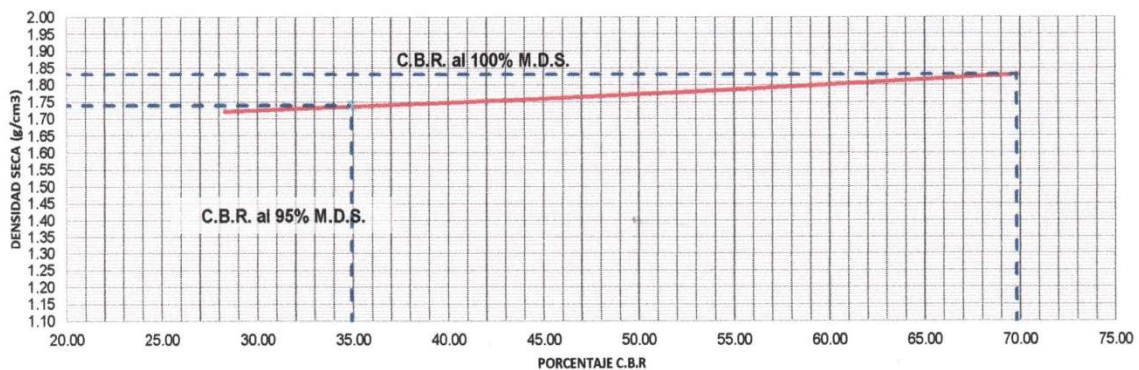
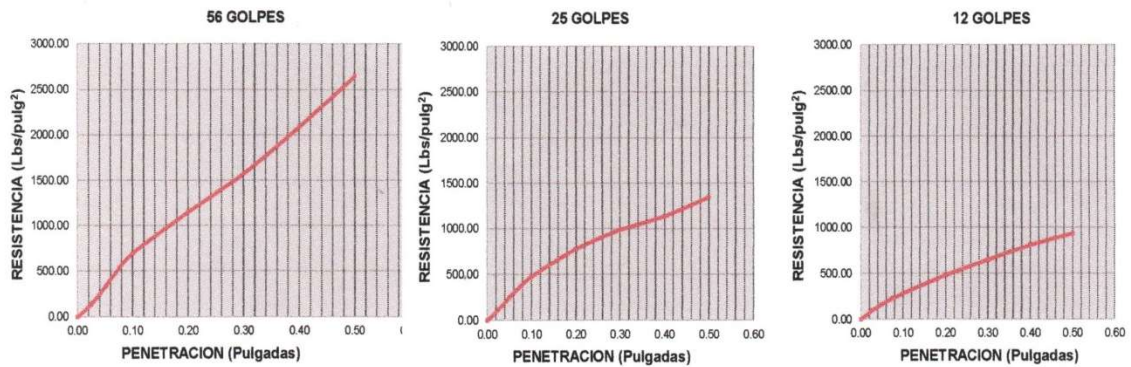
Muestra/Calicata: 0% ASERIN Y CAUCHO

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm ³)	1.83
HUMEDAD OPTIMA (%)	10.32

DATOS DEL C.B.R.

CBR al 100% de M.D.S. (%)	69.81
CBR al 95% de M.D.S. (%)	34.92



Técnico de Laboratorio:

Firma:

CIEXLIAN Y LABORATORIO
CIEXLIAN
Ing. Hermés Rojas Tiravanti
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO
CIEXLIAN
Gilmer Yoel Vásquez Saldaña
TÉCNICO EN LABORATORIO

ENSAYOS DEL MATERIAL GRANULAR DE CANTERA
CON CAUCHO GRANULAR



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
(UN SUEÑO HECHO REALIDAD)

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS
(A.S.T.M D 2216 / MTC E 107)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 1%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

Descripción	Und.	Ensayos				Promedio
		T1	T2			
Tara	Nº					
Peso Material Humedo + Tara (A)	gr.	762.00	689.00			
Peso Material Seco + Tara (B)	gr.	710.25	643.50			
Peso de Agua (A-B)	gr.	51.75	45.50			
Peso de Tara ©	gr.	120.00	116.00			
Peso Neto de Material Seco (B -C)	gr.	590.25	527.50			
Porcentaje de Humedad (A-B)/(B-C)*100	%	8.77%	8.63%			8.70%

OBSERVACIONES :

Porcentaje de Humedad: 8.70%

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +- 5C°



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vasquez Tapia
Walter Manuel Vasquez Tapia

RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
(UN SUERO HECHO REALIDAD)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(A.S.T.M D 422 / A.A.S.H.T.O T 89 / MTC E 107)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: REJOPAMPA ALTO

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra: CAUCHO AL 1%

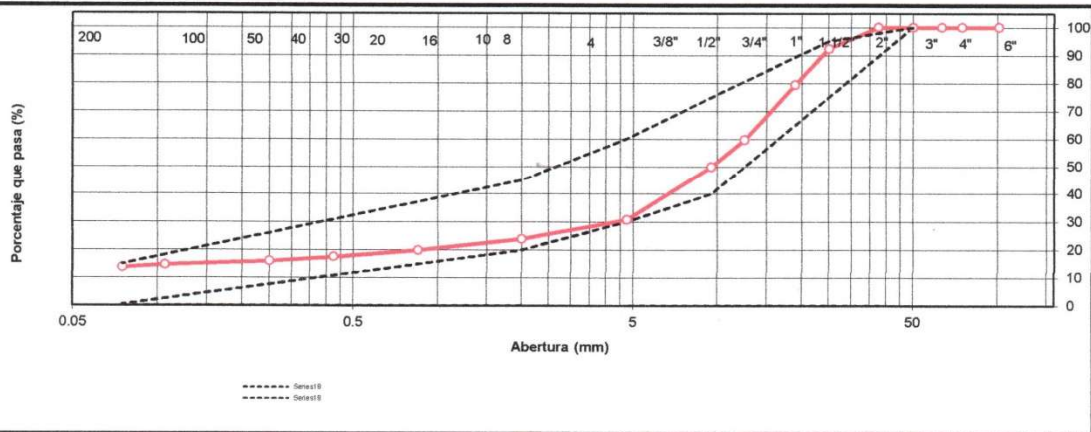
Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

Tamaño Máximo: 1 1/2" **Peso Inicial Seco:** 4040 gr.

TAMIZ A.S.T.M	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION Tipo: BASE USO "B"	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600	0.00	0.00	0.00	100.00		OBSERVACIONES : Bolonería 4" - 3" : 0.00 % Grava 3" - Nº 4 : 69.30 % Arena Nº4 - Nº 200 : 16.96 % Finos < Nº 200 : 13.75 % A. gruesa Nº 4 - Nº 10 : 6.93 % A. media Nº 10 - Nº 40 : 6.31 % A. fina Nº 40 - Nº 200 : 3.71 %
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.000	312.50	7.74	7.74	92.26	75-95	
3/4"	19.000	620.00	12.87	20.61	79.39		
1/2"	12.500	798.10	19.75	40.36	59.64		
3/8"	9.500	394.56	9.77	50.13	49.87	40-75	
Nº 4	4.750	774.50	19.17	69.30	30.70	30-60	
Nº 8	2.360		0.00				CARACTERISTICAS: LL (ASTM D4318-17): 28.69 % LP (ASTM D4318-17): 18.95 % IP (ASTM D4318-17): 9.74 %
Nº 10	2.000	280.00	6.93	76.23	23.77	20-45	
Nº 16	1.190						
Nº 20	0.850	160.00	3.96	80.19	19.81		Clasificación (SUCS) : GC AASHTO A-2-4(0)
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	95.00	2.35	82.54	17.46	15-30	
Nº 60	0.250	60.00	1.49	84.03	15.97		
Nº 140	0.106	55.00	1.36	85.39	14.61		
Nº 200	0.075	35.00	0.87	86.25	13.75	05-15	
< Nº 200	FONDO	555.34	13.75	100.00	0.00		

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Tamaño Máximo de partículas: 1 1/2"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Walter Manuel Vásquez Tapia
Técnico de Laboratorio:
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Firma:



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 1%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

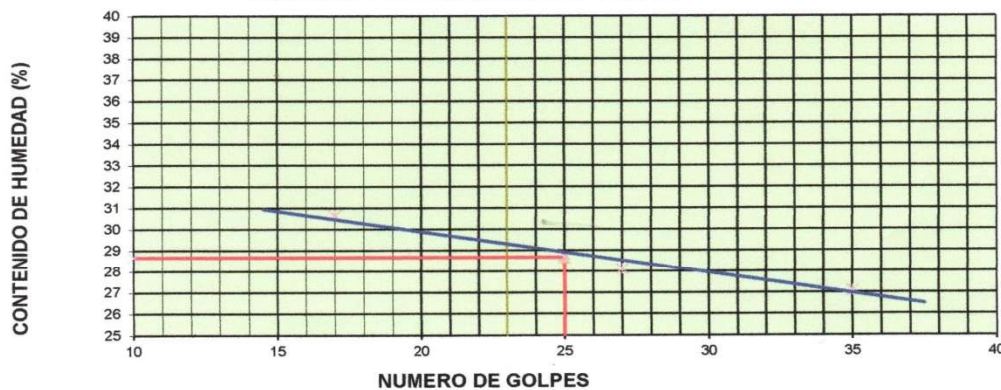
LIMITE LIQUIDO

Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T=10	T=11	T=6	
Nº TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	18.81	18.08	20.77	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	17.21	16.84	18.96	
PESO DE AGUA	(g)	1.49	1.24	1.81	
PESO DEL TARRO	(g)	12.35	12.43	12.28	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	4.86	4.41	6.68	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	30.66	28.12	27.10	
NUMERO DE GOLPES		17	27	35	

LIMITE PLASTICO

Descripción	Und	Ensayos		Observaciones
		T=9	T=14	
Nº TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	8.25	14.42	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	7.97	14.06	
PESO DE AGUA	(g)	0.28	0.36	
PESO DEL TARRO	(g)	6.53	12.11	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	1.44	1.95	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	19.44	18.46	

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	%	28.69
LIMITE PLASTICO	%	18.95
INDICE DE PLASTICIDAD	%	9.74

OBSERVACIONES:

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +/- 5C°

Técnico de Laboratorio:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

Walter Manuel Paizquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Firma:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
UN SUEÑO HECHO REALIDAD

PROCTOR MODIFICADO
/ A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)

(MTC E-115)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 1%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

PROCTOR MODIFICADO

MOLDE N° 1 N° GOLPES 56 METODO COMPACTACIÓN C
VOLUMEN 2122.32 cm³

METODO DE COMPACTACION (NTP 339.141)

N° MUESTRA		1	2	3	4
Peso de Suelo Humedo Compactado + Molde	(g)	11211.00	11372.00	11698.68	11313.00
Peso de Molde	(g)	6690.00	6690.00	6690.00	6690.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado	(g)	4521.00	4682.00	5008.68	4623.00
Densidad Húmedo	(g/cm ³)	2.13	2.21	2.36	2.18

CONTENIDO DE HÚMEDAD

N° de Resipiente		1	2	3	4
Peso de la Tara	(g)	37.36	37.52	37.14	13.22
Peso de Suelo Humedo + Tara	(g)	76.31	85.22	97.04	69.71
Pesode Suelo Seco + Tara	(g)	74.73	82.84	93.35	65.75
Peso de Agua	(g)	1.58	2.38	3.69	3.96
Peso del Suelo Seco	(g)	37	45	56	53
Contenido de Agua	%	4.23	5.25	6.56	7.54
Maxima Densidad Seca	(g/cm ³)	2.04	2.10	2.21	2.03

DENSIDAD SECA MAXIMA: 2.21 /g/cm³ **CONTENIDO HUMEDAD OPTIMO:** 6.56 %




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA


Walter Manuel Vasquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:

		ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO - T 193)				CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO RUC : 20604291641 CEL:960234555 950589432		Pag: 5 de 5							
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA															
PROYECTO:		EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA													
UBICACIÓN:		COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA													
RESPONSABLES:					EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI		FECHA DE INF: 26/10/2023								
DATOS DE LA MUESTRA															
Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA					Muestra/Calicata: CAUCHO AL 1%										
Fecha de Muestreo: 28/09/2023		Prof.(m): -													
C.B.R.															
MOLDE N°		M1		M2		M3									
N° DE GOLPES POR CAPA		56		25		12									
CONDICION DE MUESTRA		SIN MOJAR		MOJADA		SIN MOJAR		MOJADA							
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)		13640.00		13340.00		13150.00									
PESO DEL MOLDE (gr)		8630.00		8500.00		8540.00									
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)		5010.00		4840.00		4610.00									
VOLUMEN DEL SUELO (cm³)		2122.00		2165.00		2127.00									
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm³)		2.36		2.24		2.17									
CAPSULA N°		1		2		3									
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)		91.50		90.48		114.20									
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)		88.15		87.20		109.40									
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)		3.35		3.28		4.80									
PESO DE CAPSULA (gr)		37.10		37.30		37.10									
PESO DE SUELO SECO (gr)		51.05		49.90		72.30									
HUMEDAD (%)		6.56%		6.57%		6.64%									
DENSIDAD SECA (gr/cm³)		2.22		2.10		2.03									
EXPANSIÓN															
DIAS		HORAS		DIAL		EXPANSIÓN		DIAL		EXPANSIÓN					
				mm %		mm %		mm %		mm %					
0		0		0.00		0.00		0.00		0.00					
1		1		5.00		0.13		6.000		0.15					
2		2		9.50		0.24		10.500		0.27					
3		3		11.50		0.29		12.400		0.31					
4		4		10.10		0.26		13.500		0.34					
						0.14		0.19		15.500					
										0.39					
										0.22					
PENETRACION															
PENETRACION		PULG.	CARGA ESTÁNDAR	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
				CARGA		CORECCION		CARGA		CORECCION		CARGA		CORECCION	
			(Lbs/pulg ²)	Kg	Lbs	lbs/pulg2	%	Kg	Lbs	lbs/pulg2	%	Kg	Lbs	lbs/pulg2	%
0.000				0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.025				190.25	419.43	139.81		148.50	327.39	109.13		78.50	173.06	57.69	
0.050				389.10	857.82	285.94		250.50	552.26	184.09		138.20	304.68	101.56	
0.075				719.70	1586.67	528.89		479.78	1057.73	352.58		275.20	606.71	202.24	
0.100			1000	958.50	2113.13	704.38	70.44	609.50	1343.72	447.91	44.79	407.10	897.50	299.17	29.92
0.200			1500	1572.50	3466.76	1155.59	77.04	1208.70	2664.72	888.24	59.22	803.30	1770.97	590.32	39.35
0.300				2082.10	4590.24	1530.08		1565.50	3451.33	1150.44		1059.50	2335.79	778.60	
0.400				2600.00	5732.01	1910.67		1784.70	3934.59	1311.53		1307.50	2882.54	960.85	
0.500				3092.00	6816.69	2272.23		1990.20	4387.63	1462.54		1481.50	3266.14	1088.71	


 CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti
 REG. CIP. 348840


 CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Gilmer Yoel Vásquez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -
LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL: 960234555
950589432

Pag: 5 de 5

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

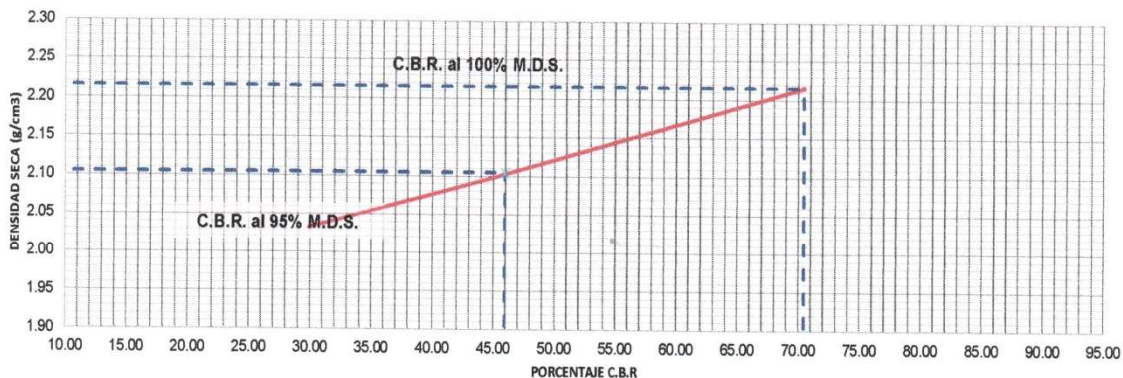
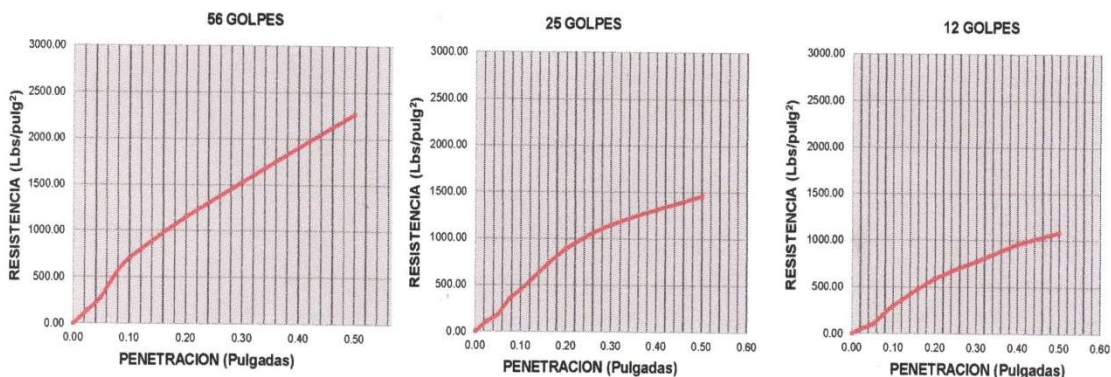
Muestra/Calicata: CAUCHO AL 1%

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm ³)	2.21
HUMEDAD OPTIMA (%)	6.56

DATOS DEL C.B.R.

CBR al 100% de M.D.S. (%)	70.44
CBR al 95% de M.D.S. (%)	45.93



Técnico de Laboratorio:

Firma:

CIEXLIAN Y LABORATORIO
CIEXLIAN
Ing. Hermes Rojas Tiravanti
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO
CIEXLIAN
Gilmer Yoel Vásquez Saldaña
TÉCNICO EN LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS
(A.S.T.M D 2216 / MTC E 107)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 23/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 5%

Fecha de Muestreo: 23/08/2023

Prof.(m): -

Descripcion	Und.	Ensayos				Promedio
		T1	T2			
Tara	Nº					
Peso Material Humedo + Tara (A)	gr.	1373.00	1655.50			
Peso Material Seco + Tara (B)	gr.	1282.60	1545.50			
Peso de Agua (A-B)	gr.	90.40	110.00			
Peso de Tara ©	gr.	120.00	116.00			
Peso Neto de Material Seco (B -C)	gr.	1162.60	1429.50			
Porcentaje de Humedad (A-B)/(B-C)*100	%	7.78%	7.69%			7.74%

OBSERVACIONES :

Porcentaje de Humedad: 7.74%

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +/- 5C°



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Técnico de Laboratorio:

Walter Manuel Vásquez Torres
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Firma:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
(UN SUEÑO HECHO REALIDAD)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

(D 422 / A.A.S.H.T.O T 89 / MTC E 107)

(A.S.T.M)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: REJOPAMPA ALTO

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra: CAUCHO AL 5%

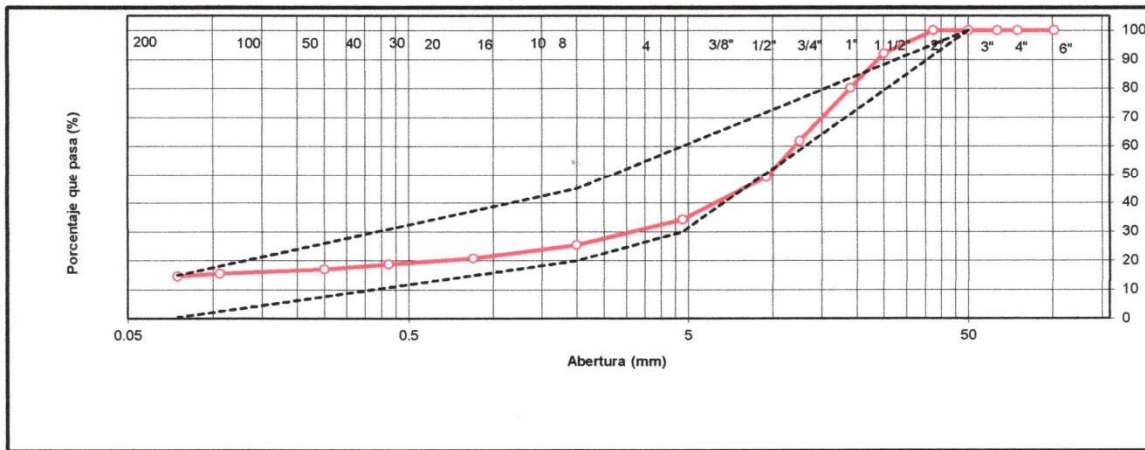
Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

Tamaño Máximo: 1 1/2" **Peso Inicial Seco:** 4200 gr.

TAMIZ	ABERTURA	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
A.S.T.M	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	Tipo:	
4"	101.600	0.00	0.00	0.00	100.00		OBSERVACIONES : Bolonería 4" - 3" : 0.00 % Grava 3" - Nº 4 : 65.82 % Arena Nº4 - Nº 200 : 19.52 % Finos < Nº 200 : 14.65 % A. gruesa Nº 4 - Nº 10 : 8.81 % A. media Nº 10 - Nº 40 : 6.64 % A. fina Nº 40 - Nº 200 : 4.07 %
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.000	335.00	7.98	7.98	92.02	75-95	
3/4"	19.000	500.00	11.90	19.88	80.12		
1/2"	12.500	768.90	18.31	38.19	61.81		
3/8"	9.500	535.00	12.74	50.93	49.07	40-75	
Nº 4	4.750	625.60	14.90	65.82	34.18	30-60	
Nº 8	2.360		0.00				CARACTERÍSTICAS: LL (ASTM D4318-17): 30.60 % LP (ASTM D4318-17): 21.93 % IP (ASTM D4318-17): 8.67 %
Nº 10	2.000	370.00	8.81	74.63	25.37	20-45	
Nº 16	1.190						Clasificación (SUCS) : GC AASHTO A-2-4(0)
Nº 20	0.850	190.00	4.52	79.15	20.85		
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	89.00	2.12	81.27	18.73	15-30	
Nº 60	0.250	68.00	1.62	82.89	17.11		
Nº 140	0.106	63.00	1.50	84.39	15.61		
Nº 200	0.075	40.00	0.95	85.35	14.65	05-15	
< Nº 200	FONDO	615.50	14.65	100.00	0.00		

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Tamaño Máximo de partículas: 1 1/2"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Walter Manuel Vásquez Tapia
Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:



LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLE EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 5%

Fecha de Muestreo: 28/09/2024

Prof.(m): -

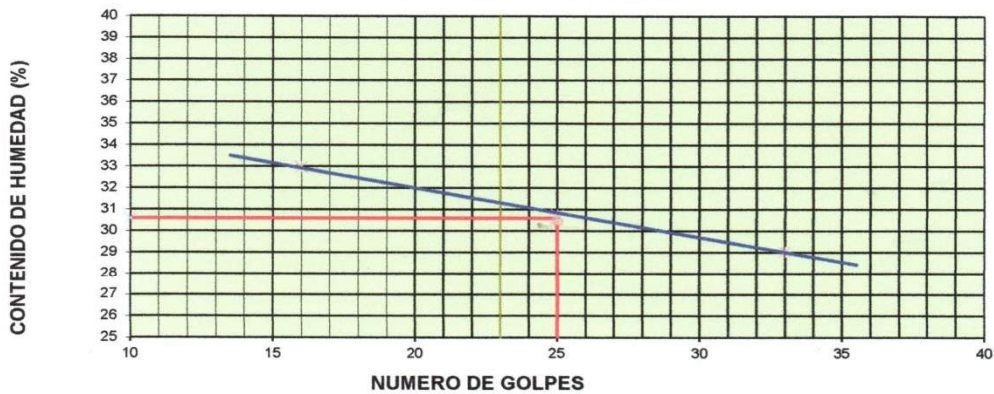
LIMITE LIQUIDO

Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T=3	T=2	T=1	
Nº TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	43.07	43.47	42.39	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	41.51	42.00	41.31	
PESO DE AGUA	(g)	1.56	1.47	1.08	
PESO DEL TARRO	(g)	36.78	37.22	37.59	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	4.73	4.78	3.72	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	32.98	30.75	29.03	
NUMERO DE GOLPES		16	25	33	

LIMITE PLASTICO

Descripción	Und	Ensayos		Observaciones
		T4	T9	
Nº TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	14.71	15.42	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	14.34	15.06	
PESO DE AGUA	(g)	0.37	0.36	
PESO DEL TARRO	(g)	12.64	13.43	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	1.70	1.63	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	21.76	22.09	

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	%	30.60
LIMITE PLASTICO	%	21.93
INDICE DE PLASTICIDAD	%	8.67

OBSERVACIONES:

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +/- 5C°

Técnico de Laboratorio:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Firma:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
¡UN SUEÑO HECHO REALIDAD!

PROCTOR MODIFICADO (MTC E-115 / A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 5%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

PROCTOR MODIFICADO

MOLDE N° 1 **N° GOLPES** 56 **METODO**
VOLUMEN 2122.32 cm³ **COMPACTACIÓN** C

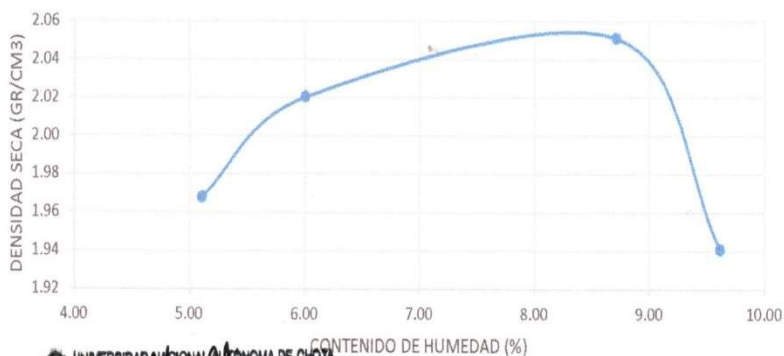
METODO DE COMPACTACION (NTP 339.141)

N° MUESTRA		1	2	3	4
Peso de Suelo Humedo Compactado + Molde	(g)	11080.00	11235.00	11422.77	11205.00
Peso de Molde	(g)	6690.00	6690.00	6690.00	6690.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado	(g)	4390.00	4545.00	4732.77	4515.00
Densidad Húmedo	(g/cm ³)	2.07	2.14	2.23	2.13

CONTENIDO DE HÚMEDAD

N° de Resipiente		1	2	3	4
Peso de la Tara	(g)	37.36	37.52	40.96	13.22
Peso de Suelo Humedo + Tara	(g)	75.21	78.11	91.13	57.68
Pesode Suelo Seco + Tara	(g)	73.37	75.81	87.11	53.78
Peso de Agua	(g)	1.84	2.30	4.02	3.90
Peso del Suelo Seco	(g)	36	38	46	41
Contenido de Agua	%	5.11	6.01	8.71	9.62
Maxima Densidad Seca	(g/cm ³)	1.97	2.02	2.05	1.94

DENSIDAD SECA MAXIMA: 2.05 /g/cm³ **CONTENIDO HUMEDAD OPTIMO:** 8.71 %



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -
LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL:960234555
950589432

Pag: 5 de 5

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2024

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 5%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

C.B.R.


MOLDE N°	M1		M2		M3	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA						
CONDICION DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	13370.00		13090.00		12850.00	
PESO DEL MOLDE (gr)	8630.00		8500.00		8540.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4740.00		4590.00		4310.00	
VOLUMEN DEL SUELO (cm ³)	2122.00		2185.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.23		2.12		2.03	
CAPSULA N°	1		2		3	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	78.30		102.64		136.50	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	75.00		97.40		128.50	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	3.30		5.24		8.00	
PESO DE CAPSULA (gr)	37.10		37.30		37.10	
PESO DE SUELO SECO (gr)	37.90		60.10		91.40	
HUMEDAD (%)	8.71%		8.73%		8.75%	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	2.05		1.95		1.86	


EXPANSIÓN

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	1	3.50	0.09		5.500	0.14		6.500	0.17	
2	2	5.00	0.13		7.000	0.18		8.500	0.22	
3	3	7.50	0.19		9.400	0.24		10.000	0.25	
4	4	9.40	0.24	0.13	11.000	0.28	0.16	12.500	0.32	0.18

PENETRACION

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA		CORECCION		CARGA		CORECCION		CARGA		CORECCION	
			Kg	Lbs	lbs/pulg ²	%	Kg	Lbs	lbs/pulg ²	%	Kg	Lbs	lbs/pulg ²	%
0.000		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		
0.025		206.50	455.25	151.75		99.50	219.36	73.12		69.50	153.22	51.07		
0.050		381.50	841.06	280.35		251.70	554.90	184.97		118.60	261.47	87.16		
0.075		589.90	1300.51	433.50		349.20	769.85	256.62		178.50	393.52	131.17		
0.100		1000	798.50	1760.39	586.80	58.68	548.70	1209.67	403.22	40.32	253.60	559.09	186.36	18.64
0.200		1500	1256.90	2770.99	923.66	61.58	956.50	2108.72	702.91	46.86	502.60	1108.04	369.35	24.62
0.300			1699.00	3745.65	1248.55		1281.90	2826.10	942.03		850.60	1875.25	625.08	
0.400			1991.00	4389.40	1463.13		1539.50	3394.01	1131.34		1196.50	2637.83	879.28	
0.500			2295.50	5060.71	1686.90		1799.50	3967.21	1322.40		1456.80	3211.69	1070.56	


 CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Ing. *Hermes Rojas Tiravanti*
 REG. CIP. 348840


 CIEXLIAN Y LABORATORIO
Gilmer Yoel Vásquez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -
LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL.960234555
950589432

Pag: 5 de 5

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2024

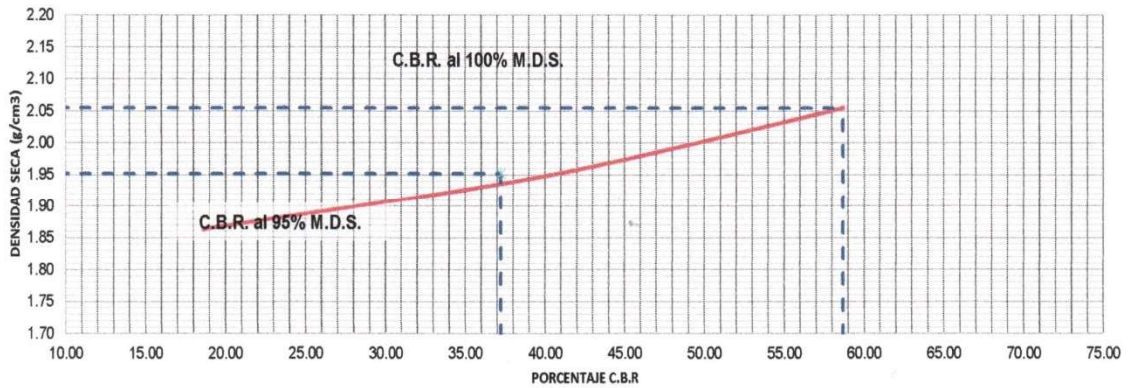
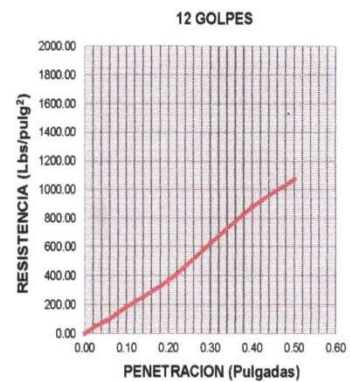
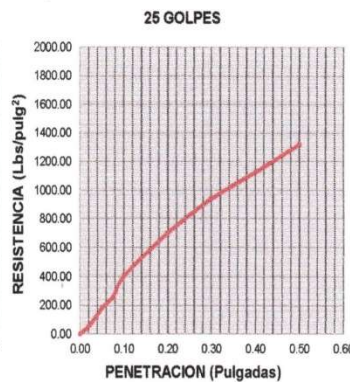
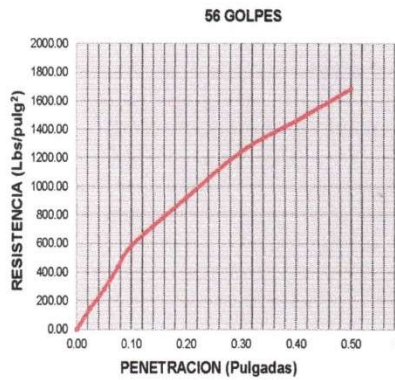
DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 5%

DATOS DEL PROCTOR	
DENSIDAD MAXIMA (gr/cm ³)	2.05
HUMEDAD OPTIMA (%)	8.71

DATOS DEL C.B.R.	
CBR al 100% de M.D.S. (%)	58.68
CBR al 95% de M.D.S. (%)	37.20



Técnico de Laboratorio:

Firma:

CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Gilmer Yoel Vásquez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
UN SUEÑO HECHO REALIDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS
(A.S.T.M D 2216 / MTC E 107)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 10%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

Descripción	Und.	Ensayos			Promedio
		T1	T2		
Tara	Nº				
Peso Material Humedo + Tara (A)	gr.	968.50	789.00		
Peso Material Seco + Tara (B)	gr.	913.50	748.70		
Peso de Agua (A-B)	gr.	55.00	40.30		
Peso de Tara ©	gr.	120.00	116.00		
Peso Neto de Material Seco (B -C)	gr.	793.50	632.70		
Porcentaje de Humedad (A-B)/(B-C)*100	%	6.93%	6.37%		6.65%

OBSERVACIONES :

Porcentaje de Humedad: 6.65%

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +- 5C°

Técnico de Laboratorio:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vasquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Firma: _____



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS -UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: REJOPAMPA ALTO

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra: CAUCHO AL 10%

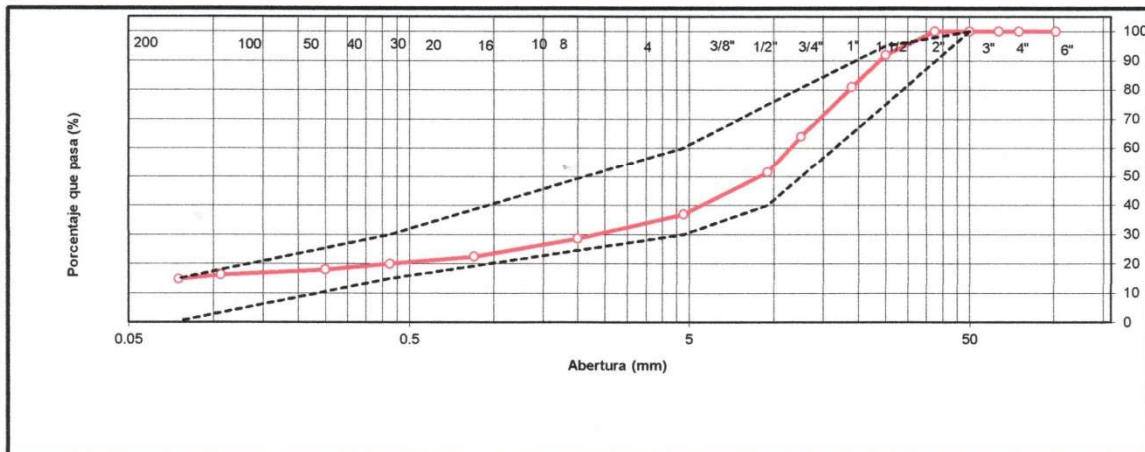
Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

Tamaño Máximo: 1 1/2" Peso Inicial Seco: 4400 gr.

TAMIZ A.S.T.M	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION Tipo:	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600	0.00	0.00	0.00	100.00		OBSERVACIONES :
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		Bolonería 4" - 3" : 0.00 %
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Grava 3" - N° 4 : 63.03 %
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100	Arena N°4 - N° 200 : 22.11 %
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Finos < N° 200 : 14.85 %
1"	25.000	356.50	8.08	8.08	91.92	75-95	A. gruesa N° 4 - N° 10 : 8.41 %
3/4"	19.000	480.00	10.91	18.99	81.01		A. media N° 10 - N° 40 : 8.59 %
1/2"	12.500	750.00	17.05	36.03	63.97		A. fina N° 40 - N° 200 : 5.11 %
3/8"	9.500	553.00	12.57	48.60	51.40	40-75	
N° 4	4.750	635.00	14.43	63.03	36.97	30-60	CARACTERISTICAS:
N° 8	2.360		0.00		36.97		LL (ASTM D4318-17): 30.53 %
N° 10	2.000	370.00	8.41	71.44	28.56	20-45	LP (ASTM D4318-17): 23.09 %
N° 16	1.190				28.56		IP (ASTM D4318-17): 7.44 %
N° 20	0.850	268.00	6.09	77.53	22.47		
N° 30	0.600				22.47		Clasificación (SUCS) : GC
N° 40	0.425	110.00	2.50	80.03	19.97	15-30	AASTHO A-2-4(0)
N° 60	0.250	85.00	1.93	81.97	18.03		
N° 140	0.106	75.00	1.70	83.67	16.33		
N° 200	0.075	65.00	1.48	85.15	14.85	05-15	
< N° 200	FONDO	653.50	14.85	100.00	0.00		

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Tamaño Máximo de partículas: 1 1/2"



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vasquez Torres
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESPECIALISTA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLE: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 10%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

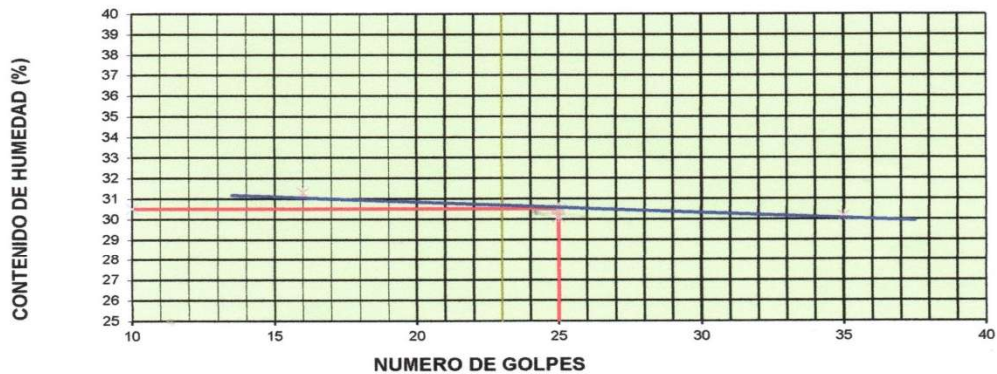
LIMITE LIQUIDO

Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T=17	T=21	T=23	
Nº TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	17.31	19.88	17.56	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	16.38	18.38	16.57	
PESO DE AGUA	(g)	0.93	1.50	0.99	
PESO DEL TARRO	(g)	13.41	13.40	13.29	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	2.97	4.98	3.28	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	31.31	30.12	30.18	
NUMERO DE GOLPES		16	25	35	

LIMITE PLASTICO

Descripción	Und	Ensayos		Observaciones
		T4	T9	
Nº TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	14.84	15.14	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	14.57	14.75	
PESO DE AGUA	(g)	0.27	0.39	
PESO DEL TARRO	(g)	13.38	13.09	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	1.19	1.66	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	22.69	23.49	

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	%	30.53
LIMITE PLASTICO	%	23.09
INDICE DE PLASTICIDAD	%	7.44

OBSERVACIONES:

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +/- 5C°



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

PROCTOR MODIFICADO (MTC E-115 / A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 10%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

PROCTOR MODIFICADO

MOLDE N° 1 N° GOLPES 56 METODO COMPACTACIÓN C
VOLUMEN 2122.32 cm³

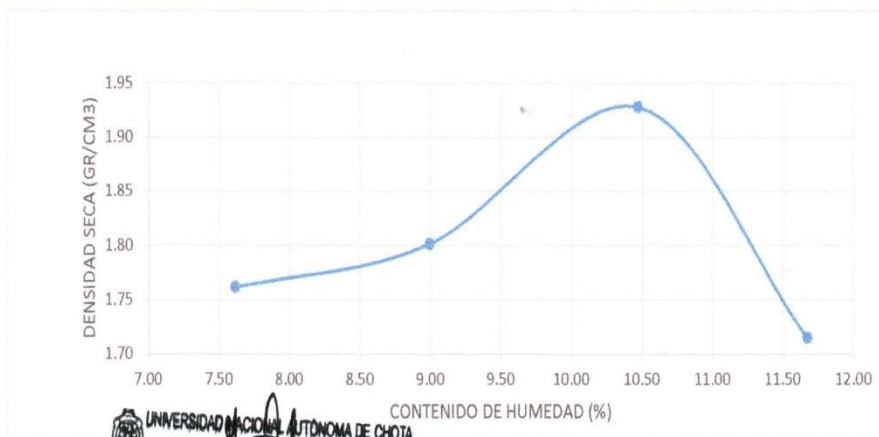
METODO DE COMPACTACION (NTP 339.141)

N° MUESTRA		1	2	3	4
Peso de Suelo Humedo Compactado + Molde	(g)	10713.00	10856.00	11210.54	10755.00
Peso de Molde	(g)	6690.00	6690.00	6690.00	6690.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado	(g)	4023.00	4166.00	4520.54	4065.00
Densidad Húmedo	(g/cm3)	1.90	1.96	2.13	1.92

CONTENIDO DE HÚMEDAD

N° de Resipiente		1	2	3	4
Peso de la Tara	(g)	37.36	37.52	37.14	13.22
Peso de Suelo Humedo + Tara	(g)	78.92	71.34	98.93	53.12
Pesode Suelo Seco + Tara	(g)	75.98	68.55	93.07	48.95
Peso de Agua	(g)	2.94	2.79	5.86	4.17
Peso del Suelo Seco	(g)	39	31	56	36
Contenido de Agua	%	7.61	8.99	10.47	11.67
Maxima Densidad Seca	(g/cm3)	1.76	1.80	1.93	1.72

DENSIDAD SECA MAXIMA: 1.93 /g/cm3 **CONTENIDO HUMEDAD OPTIMO:** 10.47 %



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Walter Manuel
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO - T 193)

CIEXLIAN S.R.L -
LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL:960234555
950589432

Pag: 6 de 6

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: CAUCHO AL 10%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

C.B.R.

MOLDE N°	M1		M2		M3	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
CONDICION DE MUESTRA						
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	13140.00		12786.70		12620.00	
PESO DEL MOLDE (gr)	8630.00		8500.00		8540.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4510.00		4286.70		4080.00	
VOLUMEN DEL SUELO (cm ³)	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.13		1.98		1.92	
CAPSULA N°	1		2		3	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	90.90		97.07		113.01	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	85.80		91.40		105.80	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	5.10		5.67		7.21	
PESO DE CAPSULA (gr)	37.10		37.30		37.10	
PESO DE SUELO SECO (gr)	48.70		54.10		68.70	
HUMEDAD (%)	10.47%		10.48%		10.49%	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.92		1.79		1.74	

EXPANSIÓN

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
			mm	%		mm	%		mm	%
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	1	5.50	0.14		6.500	0.17		7.500	0.19	
2	2	7.00	0.18		9.500	0.24		10.000	0.25	
3	3	8.50	0.22		10.400	0.26		11.500	0.29	
4	4	10.50	0.27	0.15	12.500	0.32	0.18	15.200	0.39	0.22

PENETRACION

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA		CORECCION		CARGA		CORECCION		CARGA		CORECCION	
			lbs/pulg ²	Kg	Lbs	lbs/pulg ²	%	Kg	Lbs	lbs/pulg ²	%	Kg	Lbs	lbs/pulg ²
0.000			0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.025			98.60	217.38	72.46		86.50	190.70	63.57		68.00	149.91	49.97	
0.050			160.00	352.74	117.58		138.50	305.34	101.78		149.20	328.93	109.64	
0.075			271.30	598.11	199.37		208.30	459.22	153.07		191.20	421.52	140.51	
0.100		1000	346.50	763.90	254.63	25.46	281.70	621.04	207.01	20.70	253.50	558.87	186.29	18.63
0.200		1500	625.50	1378.99	459.66	30.64	450.25	992.63	330.88	22.06	396.20	873.47	291.16	19.41
0.300			849.60	1873.05	624.35		630.60	1390.23	463.41		478.60	1055.13	351.71	
0.400			1100.90	2427.07	809.02		852.50	1879.44	626.48		555.80	1225.33	408.44	
0.500			1295.50	2856.09	952.03		1005.50	2216.75	738.92		655.50	1445.13	481.71	

CIEXLIAN Y LABORATORIO
Ing. Hermes Rojas Tiravanti
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO
Gilmer Yoel Vásquez Saldaña
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -
LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL:960234555
950589432

Pag: 6 de 6

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

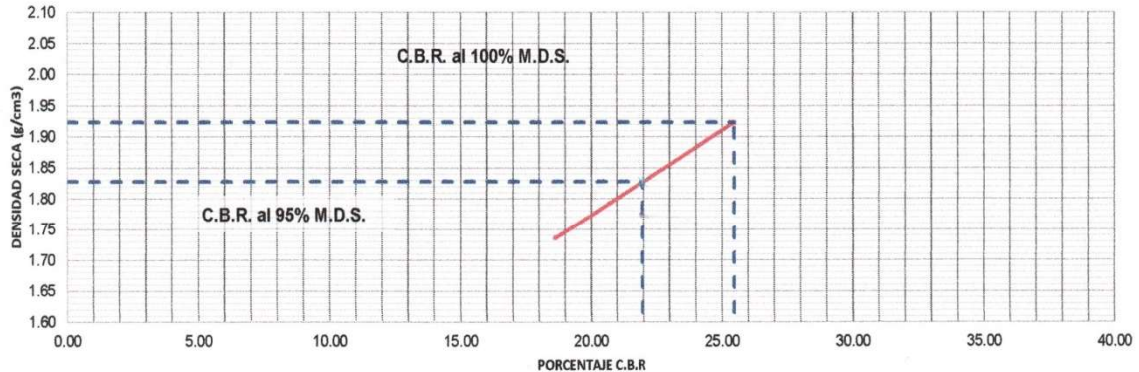
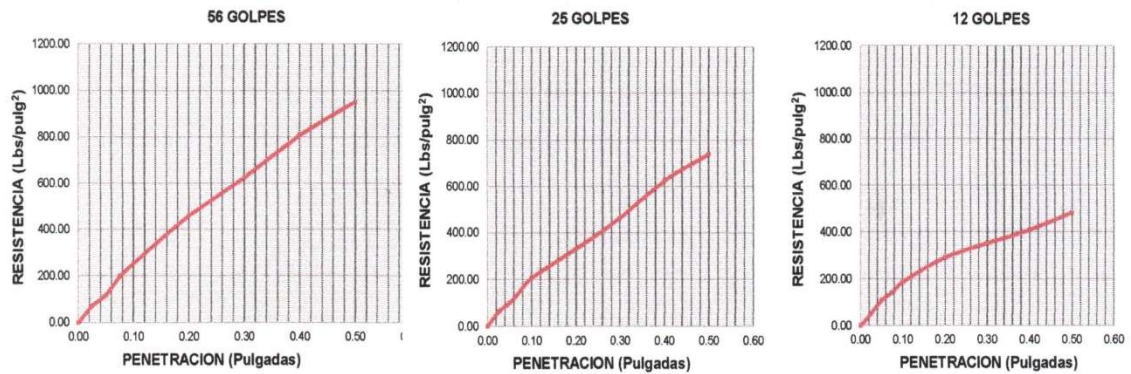
Muestra/Calicata: CAUCHO AL 10%

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm ³)	1.93
HUMEDAD OPTIMA (%)	10.47

DATOS DEL C.B.R.

CBR al 100% de M.D.S. (%)	25.46
CBR al 95% de M.D.S. (%)	21.96



Técnico de Laboratorio:

Firma:


CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Ing. *Hermés Rojas Tiravanti*
 REG. CIP. 348840


CIEXLIAN Y LABORATORIO
Gilmer Joel Vázquez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO

ENSAYOS DEL MATERIAL GRANULAR DE CANTERA
CON ASERRÍN



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS
(A.S.T.M D 2216 / MTC E 107)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS -UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra: ASERRÍN 1%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Fecha de Recepción: 28/09/2023

Prof.(m): -

Descripción	Und.	Ensayos				Promedio
		T1	T2			
Tara	Nº					
Peso Material Humedo + Tara (A)	gr.	1262.50	1196.00			
Peso Material Seco + Tara (B)	gr.	1179.50	1118.00			
Peso de Agua (A-B)	gr.	83.00	78.00			
Peso de Tara ©	gr.	120.00	116.00			
Peso Neto de Material Seco (B -C)	gr.	1059.50	1002.00			
Porcentaje de Humedad (A-B)/(B-C)*100	%	7.83%	7.78%			7.81%

OBSERVACIONES :

Porcentaje de Humedad: 7.81%

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +- 5C°

Técnico de Laboratorio:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Firma: _____



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
(UN SUEÑO HECHO REALIDAD)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(A.S.T.M D 422 / A.A.S.H.T.O T 89 / MTC E 107)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS -UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: REJOPAMPA ALTO

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA **Muestra:** ASERRÍN 1%

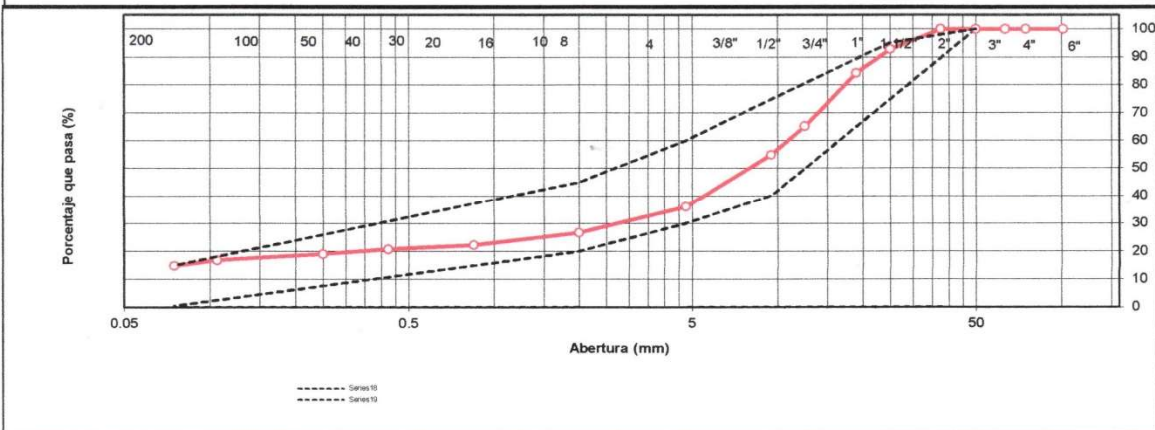
Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

Tamaño Máximo: 1 1/2" **Peso Inicial Seco:** 4040 gr.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION Tipo: BASE USO "B"	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600	0.00	0.00	0.00	100.00		OBSERVACIONES : Bolonería 4" - 3" : 0.00 % Grava 3" - N° 4 : 63.89 % Arena N°4 - N° 200 : 21.23 % Finos < N° 200 : 14.89 % A. gruesa N° 4 - N° 10 : 9.41 % A. media N° 10 - N° 40 : 5.92 % A. fina N° 40 - N° 200 : 5.90 %
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00	75-95	
1"	25.000	288.90	7.15	7.15	92.85	40-75	
3/4"	19.000	345.00	8.54	15.69	84.31	30-60	CARACTERÍSTICAS: LL (ASTM D4318-17): 27.51 % LP (ASTM D4318-17): 18.80 % IP (ASTM D4318-17): 8.71 % Clasificación (SUCS) : GC AASTHO A-2-4(0)
1/2"	12.500	771.10	19.09	34.78	65.22	20-45	
3/8"	9.500	417.40	10.33	45.11	54.89		
N° 4	4.750	758.60	18.78	63.89	36.11		
N° 8	2.360		0.00				
N° 10	2.000	380.00	9.41	73.29	26.71		
N° 16	1.190						
N° 20	0.850	181.10	4.48	77.77	22.23		
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	58.00	1.44	79.21	20.79	15-30	
N° 60	0.250	70.00	1.73	80.94	19.06		
N° 140	0.106	90.00	2.23	83.17	16.83		
N° 200	0.075	78.50	1.94	85.11	14.89	05-15	
< N° 200	FONDO	601.40	14.89	100.00	0.00		

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Tamaño Máximo de partículas: 1 1/2"



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vásquez Tosta
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS -UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: ASERRÍN 1%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

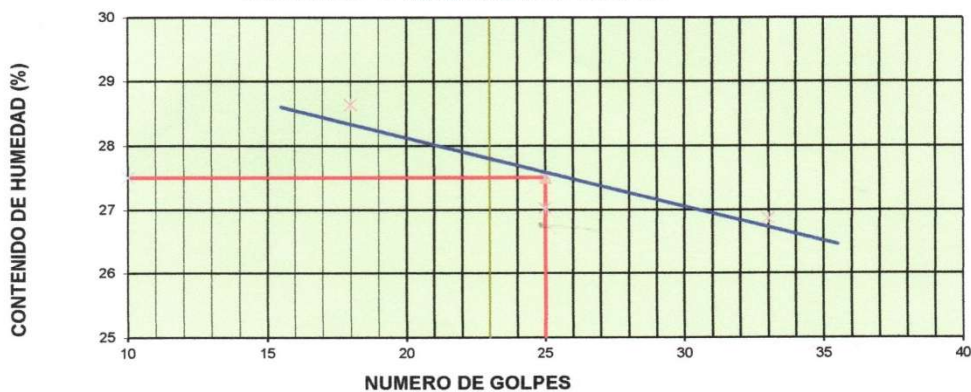
LIMITE LIQUIDO

Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T=12	T=10	T=11	
Nº TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	53.38	52.53	53.12	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	52.21	51.50	51.9	
PESO DE AGUA	(g)	1.17	1.03	1.22	
PESO DEL TARRO	(g)	48.13	47.69	47.36	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	4.09	3.81	4.54	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	28.64	27.03	26.87	
NUMERO DE GOLPES		18	25	33	

LIMITE PLASTICO

Descripción	Und	Ensayos		Observaciones
		T=1	T=2	
Nº TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	13.35	9.65	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	13.06	9.52	
PESO DE AGUA	(g)	0.29	0.14	
PESO DEL TARRO	(g)	11.59	8.76	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	1.47	0.76	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	19.73	17.88	

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	%	27.51
LIMITE PLASTICO	%	18.80
INDICE DE PLASTICIDAD	%	8.71

OBSERVACIONES:

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +/- 5C°

Técnico de Laboratorio:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA
Walter Manuel Vasquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Firma:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
¡UN SUEÑO HECHO REALIDAD!

PROCTOR MODIFICADO (MTC E-115 / A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS -UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: ASERRÍN 1%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

PROCTOR MODIFICADO

MOLDE N° 1 **N° GOLPES** 56 **METODO COMPACTACIÓN** C
VOLUMEN 2122.32 cm³

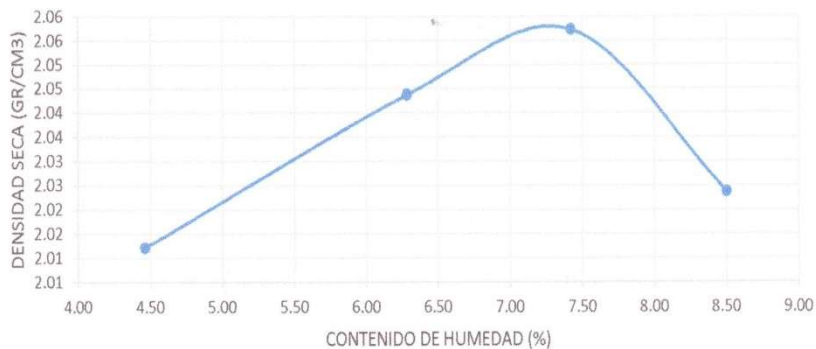
METODO DE COMPACTACION (NTP 339.141)

N° MUESTRA		1	2	3	4
Peso de Suelo Humedo Compactado + Molde	(g)	11151.00	11300.00	11380.33	11351.00
Peso de Molde	(g)	6690.00	6690.00	6690.00	6691.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado	(g)	4461.00	4610.00	4690.33	4660.00
Densidad Húmedo	(g/cm ³)	2.10	2.17	2.21	2.20

CONTENIDO DE HÚMEDAD

N° de Resipiente		1	2	3	4
Peso de la Tara	(g)	37.36	37.52	36.22	7.15
Peso de Suelo Humedo + Tara	(g)	62.88	67.12	72.27	64.46
Pesode Suelo Seco + Tara	(g)	61.79	65.37	69.78	59.97
Peso de Agua	(g)	1.09	1.75	2.49	4.49
Peso del Suelo Seco	(g)	24	28	34	53
Contenido de Agua	%	4.46	6.28	7.42	8.50
Maxima Densidad Seca	(g/cm ³)	2.01	2.04	2.06	2.02


DENSIDAD SECA MAXIMA: 2.06 /g/cm³ **CONTENIDO HUMEDAD OPTIMO:** 7.42 %




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ESQUEMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:

		ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)				CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO RUC : 20604291641 CEL:960234555 950589432		Pag: 5 de 5							
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS -UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA															
PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA															
UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA															
RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI						FECHA DE INF: 26/10/2023									
DATOS DE LA MUESTRA															
Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA						Muestra/Calicata: ASERRÍN 1%									
Fecha de Muestra 28/09/2023		Prof.(m): -													
C.B.R.															
MOLDE N°		M1			M2			M3							
N° DE GOLPES POR CAPA		56			25			12							
CONDICION DE MUESTRA		SIN MOJAR		MOJADA		SIN MOJAR		MOJADA		SIN MOJAR		MOJADA			
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)		13325.00				13110.00				12900.00					
PESO DEL MOLDE (gr)		8630.00				8500.00				8540.00					
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)		4695.00				4610.00				4360.00					
VOLUMEN DEL SUELO (cm ³)		2122.00				2165.00				2127.00					
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)		2.21				2.13				2.05					
CAPSULA N°		1				3				5					
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)		95.90				103.71				119.40					
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)		91.50				98.90				113.50					
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)		4.40				4.81				5.90					
PESO DE CAPSULA (gr)		32.20				34.20				34.30					
PESO DE SUELO SECO (gr)		59.30				64.70				79.20					
HUMEDAD (%)		7.42%				7.43%				7.45%					
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)		2.06				1.98				1.91					
EXPANSIÓN															
DIAS		HORAS	DIAL	EXPANSION			DIAL	EXPANSION			DIAL	EXPANSION			
				mm		%		mm		%		mm		%	
0		0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			
1		1	0.60	0.02			0.90	0.02			1.30	0.03			
2		2	1.20	0.03			1.50	0.04			1.60	0.04			
3		3	1.30	0.03			1.65	0.04			2.30	0.06			
4		4	1.50	0.04		0.02	1.80	0.05		0.03	2.50	0.06		0.04	
PENETRACION															
PENETRACION PULG.		CARGA ESTÁNDAR	MOLDE N° 1					MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA		CORECCION			CARGA		CORECCION		CARGA		CORECCION	
		(Lbs/pulg ²)	Kg	Lbs	lbs/pulg2	%	Kg	Lbs	lbs/pulg2	%	Kg	(Kg/cm2)	lbs/pulg2	%	
0.000			0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		
0.025			168.00	370.38	123.46		145.36	320.46	106.82		97.10	214.07	71.36		
0.050			438.58	966.90	322.30		378.58	834.63	278.21		150.58	331.97	110.66		
0.075			690.80	1522.95	507.65		530.58	1169.73	389.91		271.20	597.89	199.30		
0.100		1000	1009.70	2226.00	742.00	74.20	719.30	1585.78	528.59	52.86	405.30	893.53	297.84	29.78	
0.200		1500	1655.30	3649.31	1216.44	81.10	1342.30	2959.26	986.42	65.76	859.50	1894.87	631.62	42.11	
0.300			2365.20	5214.37	1738.12		1650.30	3638.28	1212.76		1119.30	2467.63	822.54		
0.400			2900.75	6395.05	2131.68		1935.50	4267.04	1422.35		1303.50	2873.72	957.91		
0.500			3200.15	7055.11	2351.70		2096.30	4621.54	1540.51		1389.00	3062.22	1020.74		


 CIEXLIAN Y LABORATORIO
 CIEXLIAN
 Ing. Hermes Rojas Piravanti
 REG. CIP. 348840


 CIEXLIAN Y LABORATORIO
 CIEXLIAN
 Gilmer Joel Yáñez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -
LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL:960234555
950589432

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS -UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

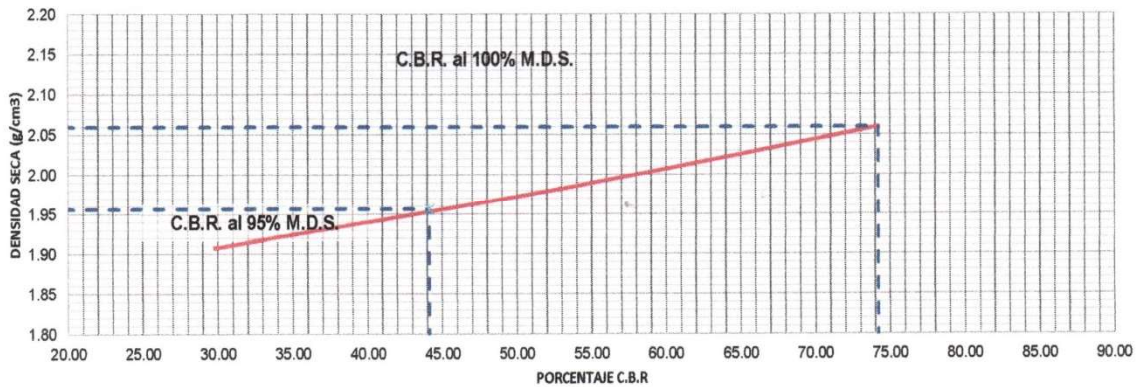
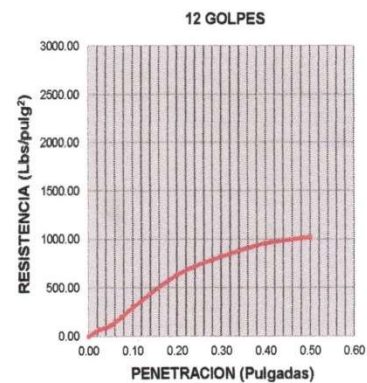
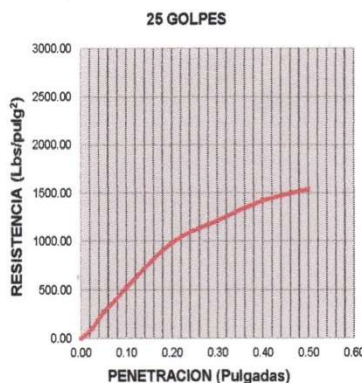
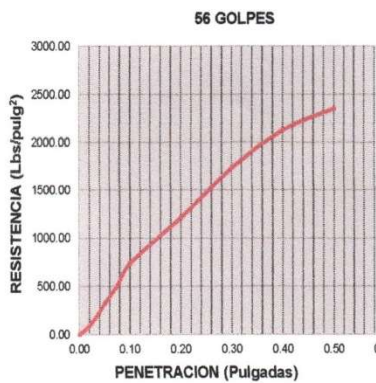
DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: ASERRÍN 1%

DATOS DEL PROCTOR	
DENSIDAD MAXIMA (gr/cm ³)	2.06
HUMEDAD OPTIMA (%)	7.42

DATOS DEL C.B.R.	
CBR al 100% de M.D.S. (%)	74.20
CBR al 95% de M.D.S. (%)	44.11



Técnico de Laboratorio:

Firma:

CIEXLIAN Y LABORATORIO
 CIEXLIAN
 Ing. Hermet Rojas Piravanti
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO
 CIEXLIAN
 Gilmer Joel Yásquez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS
(A.S.T.M D 2216 / MTC E 107)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: ASERRÍN AL 5%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

Descripción	Und.	Ensayos				Promedio
		T1	T2			
Tara	Nº					
Peso Material Humedo + Tara (A)	gr.	1458.50	1759.00			
Peso Material Seco + Tara (B)	gr.	1373.00	1655.00			
Peso de Agua (A-B)	gr.	85.50	104.00			
Peso de Tara ©	gr.	120.00	116.00			
Peso Neto de Material Seco (B -C)	gr.	1253.00	1539.00			
Porcentaje de Humedad (A-B)/(B-C)*100	%	6.82%	6.76%			6.79%

OBSERVACIONES :

Porcentaje de Humedad: 6.79%

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +- 5C°

Técnico de Laboratorio:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vasquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Firma:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
(UN SUEÑO HECHO REALIDAD)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(A.S.T.M D 422 / A.A.S.H.T.O T 89 / MTC E 107)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: REJOPAMPA ALTO

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra: ASERRÍN AL 5%

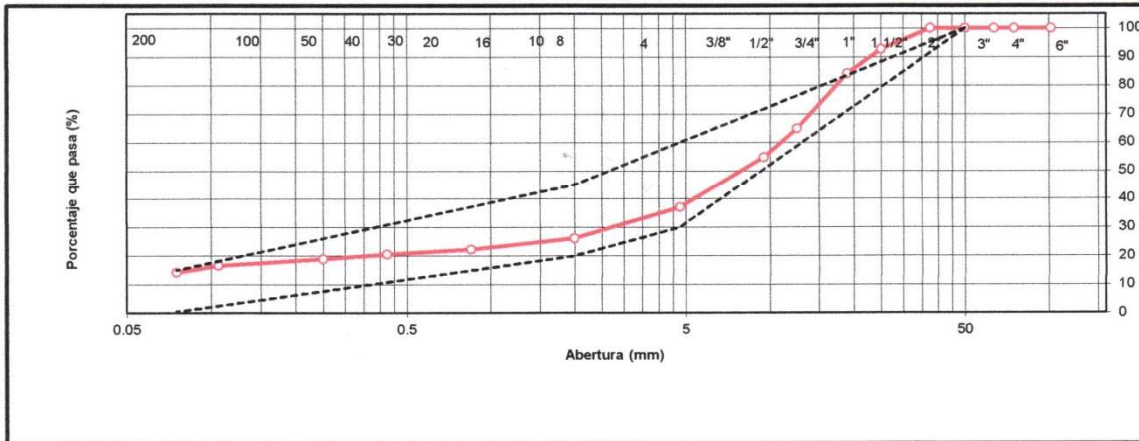
Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

Tamaño Máximo: 1 1/2" **Peso Inicial Seco:** 4100 gr.

TAMIZ A.S.T.M	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION Tipo:	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600	0.00	0.00	0.00	100.00		OBSERVACIONES : Bolonería 4" - 3" : 0.00 % Grava 3" - N° 4 : 62.93 % Arena N°4 - N° 200 : 22.83 % Finos < N° 200 : 14.24 %
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.000	300.80	7.34	7.34	92.66	75-95	A. gruesa N° 4 - N° 10 : 10.98 %
3/4"	19.000	350.00	8.54	15.87	84.13		A. media N° 10 - N° 40 : 5.56 %
1/2"	12.500	787.50	19.21	35.08	64.92		A. fina N° 40 - N° 200 : 6.29 %
3/8"	9.500	417.00	10.17	45.25	54.75	40-75	CARACTERISTICAS: LL (ASTM D4318-17): 33.39 % LP (ASTM D4318-17): 26.52 % IP (ASTM D4318-17): 6.87 % Clasificación (SUCS) : GC AASHTO A-2-4(0)
N° 4	4.750	725.00	17.68	62.93	37.07	30-60	
N° 8	2.360		0.00				
N° 10	2.000	450.00	10.98	73.91	26.09	20-45	
N° 16	1.190						
N° 20	0.850	160.00	3.90	77.81	22.19		
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	68.00	1.66	79.47	20.53	15-30	
N° 60	0.250	68.00	1.66	81.13	18.87		
N° 140	0.106	95.00	2.32	83.45	16.55		
N° 200	0.075	95.00	2.32	85.76	14.24	05-15	
< N° 200	FONDO	583.70	14.24	100.00	0.00		

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Tamaño Máximo de partículas: 1 1/2"

Técnico de Laboratorio:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Walter Manuel Vasquez Tapia
Walter Manuel Vasquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Firma:



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

LÍMITES DE ATTERBERG (A.S.T.M D 4318) / A.A.S.H.T.O T 89)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

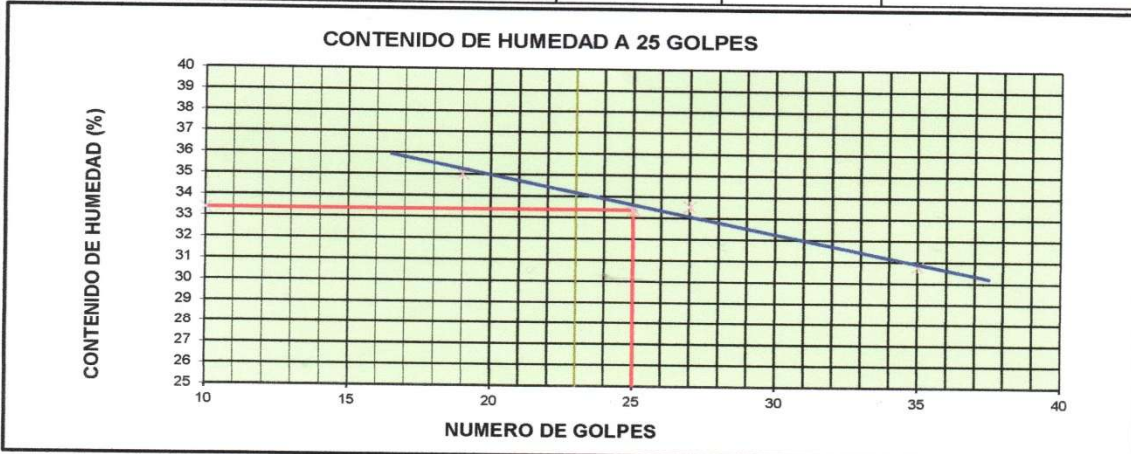
Muestra/Calicata: ASERRÍN AL 5%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

LIMITE LIQUIDO					
Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T30	T8	T2	
Nº TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	44.1	41.72	42.11	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	41.56	40.21	40.01	
PESO DE AGUA	(g)	2.54	1.51	2.10	
PESO DEL TARRO	(g)	34.31	35.71	33.19	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	7.25	4.50	6.82	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	35.03	33.56	30.79	
NUMERO DE GOLPES		19	27	35	

LIMITE PLASTICO					
Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T=4	T=9		
Nº TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	13.44	13.75		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	13.38	13.71		
PESO DE AGUA	(g)	0.06	0.04		
PESO DEL TARRO	(g)	13.22	13.44		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	0.17	0.27		
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	36.36	16.67		



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA		
LIMITE LIQUIDO	%	33.39
LIMITE PLASTICO	%	26.52
INDICE DE PLASTICIDAD	%	6.87

OBSERVACIONES:

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +/- 5C°

Técnico de Laboratorio:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vásquez Tapia

RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Firma:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
¡UN SUEÑO HECHO REALIDAD!

PROCTOR MODIFICADO (MTC E-115 / A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: ASERRÍN AL 5%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

PROCTOR MODIFICADO

MOLDE N° 1 **N° GOLPES** 56 **METODO**
VOLUMEN 2122.32 cm³ **COMPACTACIÓN** C

METODO DE COMPACTACION (NTP 339.141)

N° MUESTRA		1	2	3	4
Peso de Suelo Humedo Compactado + Molde	(g)	10990.00	11178.00	11359.10	11189.32
Peso de Molde	(g)	6690.00	6690.00	6690.00	6690.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado	(g)	4300.00	4488.00	4669.10	4499.32
Densidad Húmedo	(g/cm ³)	2.03	2.11	2.20	2.12

CONTENIDO DE HÚMEDAD

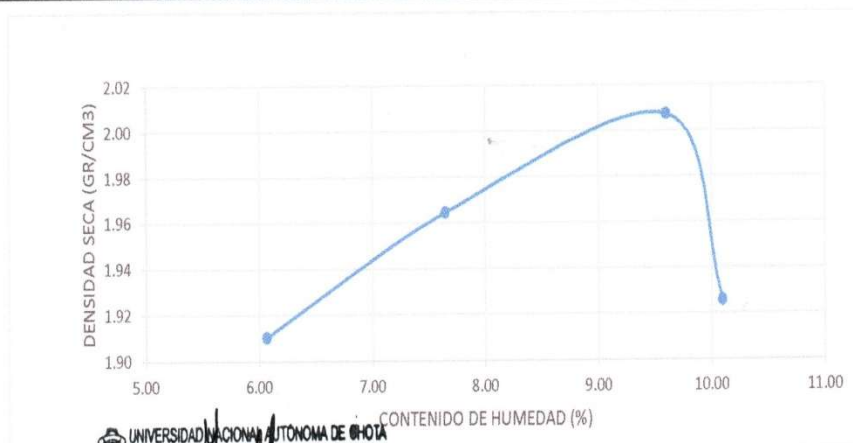
N° de Resipiente		1	2	3	4
Peso de la Tara	(g)	37.52	37.14	13.22	13.43
Peso de Suelo Humedo + Tara	(g)	86.83	71.62	71.45	69.71
Pesode Suelo Seco + Tara	(g)	84.01	69.17	66.35	64.55
Peso de Agua	(g)	2.82	2.45	5.10	5.16
Peso del Suelo Seco	(g)	46	32	53	51
Contenido de Agua	%	6.07	7.65	9.60	10.09
Maxima Densidad Seca	(g/cm ³)	1.91	1.96	2.01	1.93

DENSIDAD SECA MAXIMA: 2.01 /g/cm³

2.01 /g/cm³

CONTENIDO HUMEDAD OPTIMO:

9.60 %



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -
LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL.960234555
950589432

Pag: 5 de 5

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI **FECHA DE INF:** 26/10/2025

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA **Muestra/Calicata:** ASERRÍN AL 5%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023 **Prof.(m):** -

C.B.R.

MOLDE N°	M1		M2		M3	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA	SIN MOJAR		SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
CONDICION DE MUESTRA	SIN MOJAR		SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	13300.00		13046.50		12815.27	
PESO DEL MOLDE (gr)	8630.00		8500.00		8540.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4670.00		4546.50		4275.27	
VOLUMEN DEL SUELO (cm ³)	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.20		2.10		2.01	
CAPSULA N°	1		2		3	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	107.90		116.66		109.75	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	101.70		111.70		105.20	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	6.20		4.96		4.55	
PESO DE CAPSULA (gr)	37.10		37.30		37.10	
PESO DE SUELO SECO (gr)	64.60		74.40		68.10	
HUMEDAD (%)	9.60%		6.67%		6.68%	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	2.01		1.97		1.88	

EXPANSIÓN

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
			mm	%		mm	%		mm	%
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	1	5.00	0.13		6.000	0.15		5.500	0.14	
2	2	9.50	0.24		10.500	0.27		12.000	0.30	
3	3	11.50	0.29		12.400	0.31		13.000	0.33	
4	4	10.10	0.26	0.14	13.500	0.34	0.19	15.500	0.39	0.22

PENETRACION

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR (Lbs/pulg ²)	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA		CORECCION		CARGA		CORECCION		CARGA		CORECCION	
			Kg	Lbs	lbs/pulg2	%	Kg	Lbs	lbs/pulg2	%	Kg	Lbs	lbs/pulg2	%
0.000		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		
0.025		250.20	551.60	183.87		110.30	243.17	81.06		68.00	149.91	49.97		
0.050		405.20	893.31	297.77		339.50	748.47	249.49		245.60	541.45	180.48		
0.075		692.60	1526.92	508.97		530.20	1168.89	389.63		355.70	784.18	261.39		
0.100		1000	876.50	1932.35	64.41	658.10	1450.86	483.62	48.36	474.90	1046.97	348.99	34.90	
0.200		1500	1396.20	3078.09	1026.03	68.40	1080.10	2381.21	793.74	52.92	785.25	1731.18	577.06	38.47
0.300			1721.80	3795.91	1265.30		1350.90	2978.22	992.74		1026.50	2263.04	754.35	
0.400			2029.50	4474.28	1491.43		1649.50	3636.52	1212.17		1304.60	2876.15	958.72	
0.500			2262.50	4987.95	1662.65		1905.58	4201.08	1400.36		1610.50	3550.54	1183.51	

CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Ing. Hermás Rojas Trivanti
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Gilmer Yoel Vásquez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L. -
LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL: 960234555
950589432

Pag: 5 de 5

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2025

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

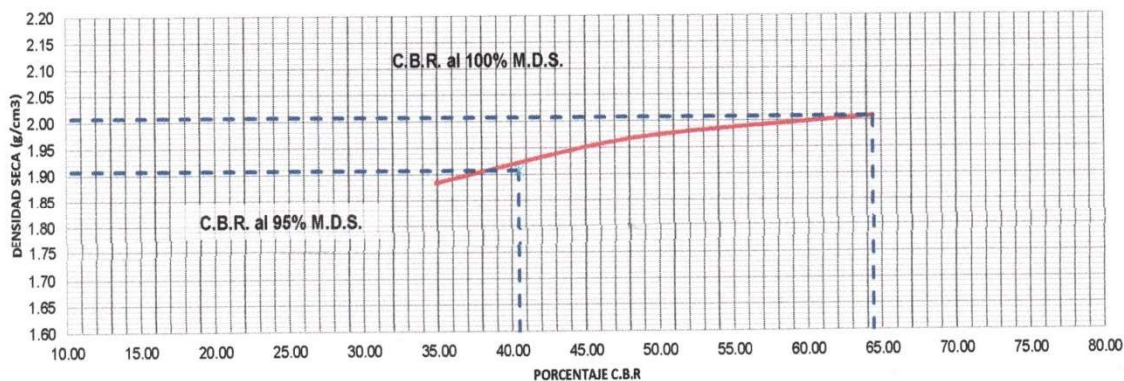
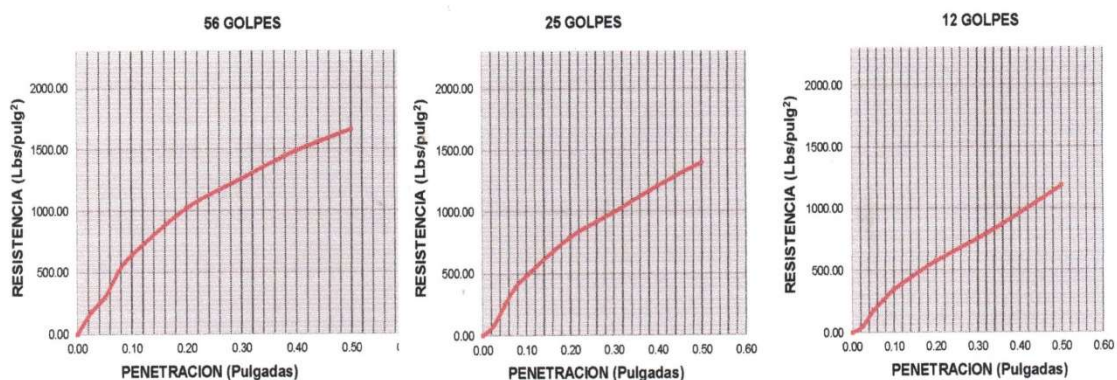
Muestra/Calicata: ASERRÍN AL 5%

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm ³)	2.01
HUMEDAD OPTIMA (%)	9.60

DATOS DEL C.B.R.

CBR al 100% de M.D.S. (%)	64.41
CBR al 95% de M.D.S. (%)	40.50



Técnico de Laboratorio:

Firma:

CIEXLIAN Y LABORATORIO
 CIEXLIAN
 Ing. *Hermes Rojas Tiravanti*
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO
 CIEXLIAN
Gilmer Yoel Vásquez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA
UN SUEÑO HECHO REALIDAD!

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS
(A.S.T.M D 2216 / MTC E 107)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: ASERRÍN AL 10%

Fecha de Muestreo: 28/09/2024

Prof.(m): -

Descripción	Und.	Ensayos				Promedio
		T1	T2			
Tara	Nº					
Peso Material Humedo + Tara (A)	gr.	859.80	459.80			
Peso Material Seco + Tara (B)	gr.	828.30	445.40			
Peso de Agua (A-B)	gr.	31.50	14.40			
Peso de Tara ©	gr.	120.00	116.00			
Peso Neto de Material Seco (B -C)	gr.	708.30	329.40			
Porcentaje de Humedad (A-B)/(B-C)*100	%	4.45%	4.37%			4.41%

OBSERVACIONES :

Porcentaje de Humedad: 4.41%

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +- 5C°

Técnico de Laboratorio:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manjuel Vasquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Firma:



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: REJOPAMPA ALTO

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INFORME: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra: ASERRÍN AL 10%

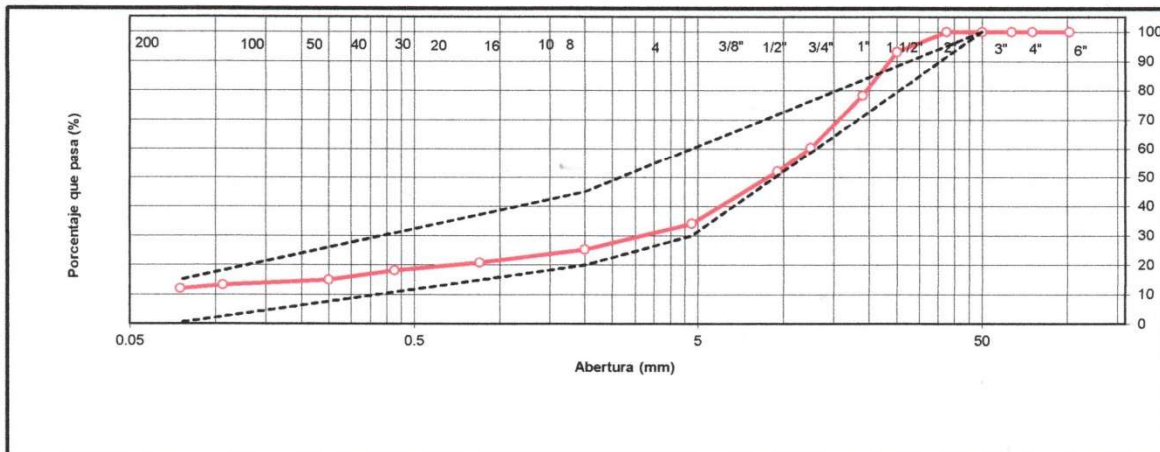
Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

Tamaño Máximo: 1 1/2" Peso Inicial Seco: 4400 gr.

TAMIZ A.S.T.M	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION Tipo:	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600	0.00	0.00	0.00	100.00		OBSERVACIONES : Bolonería 4" - 3" : 0.00 % Grava 3" - Nº 4 : 65.85 % Arena Nº4 - Nº 200 : 22.10 % Finos < Nº 200 : 12.05 % A. gruesa Nº 4 - Nº 10 : 8.92 % A. media Nº 10 - Nº 40 : 7.05 % A. fina Nº 40 - Nº 200 : 6.14 %
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.000	299.90	6.82	6.82	93.18	75-95	
3/4"	19.000	653.80	14.86	21.68	78.33		
1/2"	12.500	789.20	17.94	39.61	60.39		
3/8"	9.500	369.00	8.39	48.00	52.00	40-75	
Nº 4	4.750	785.60	17.85	65.85	34.15	30-60	
Nº 8	2.360		0.00				CARACTERISTICAS: LL (ASTM D4318-17): 40.33 % LP (ASTM D4318-17): 34.49 % IP (ASTM D4318-17): 5.84 % Clasificación (SUCS) : GC AASHTO A-2-4(0)
Nº 10	2.000	392.40	8.92	74.77	25.23	20-45	
Nº 16	1.190						
Nº 20	0.850	190.00	4.32	79.09	20.91		
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	120.00	2.73	81.82	18.18	15-30	
Nº 60	0.250	140.00	3.18	85.00	15.00		
Nº 140	0.106	75.00	1.70	86.70	13.30		
Nº 200	0.075	55.00	1.25	87.95	12.05	05-15	
< Nº 200	FONDO	530.10	12.05	100.00	0.00		

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Tamaño Máximo de partículas: 1 1/2"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
EGG JE - PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: ASERRÍN AL 10%

Fecha de Muestreo:

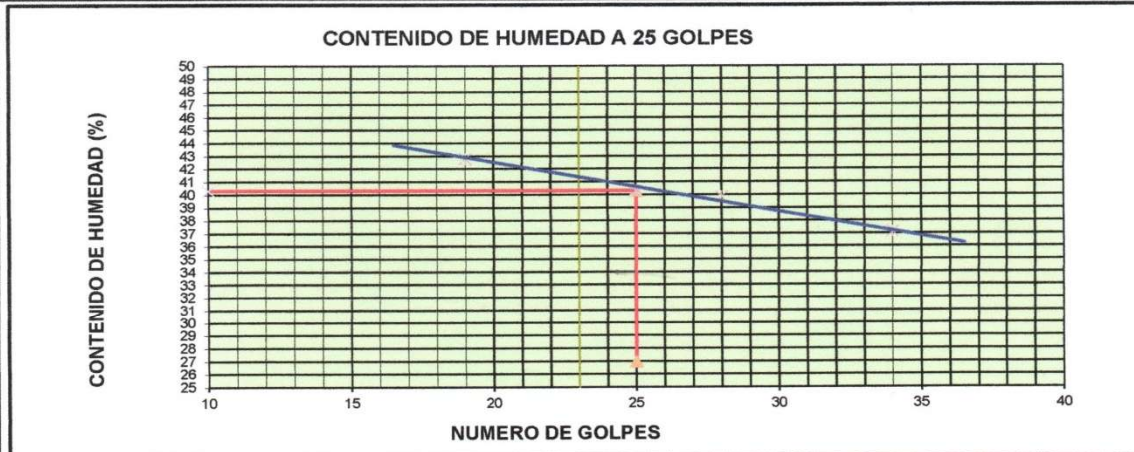
Prof.(m): -

LIMITE LIQUIDO

Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T=6	T=7	T=8	
N° TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	42.43	30.14	29.88	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	40.68	28.42	28.15	
PESO DE AGUA	(g)	1.75	1.72	1.73	
PESO DEL TARRO	(g)	36.59	24.11	23.49	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	4.09	4.32	4.66	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	42.79	39.86	37.12	
NUMERO DE GOLPES		19	28	34	

LIMITE PLASTICO

Descripción	Und	Ensayos		Observaciones
		T=9	T=10	
N° TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	7.81	14.16	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	7.73	13.92	
PESO DE AGUA	(g)	0.08	0.24	
PESO DEL TARRO	(g)	7.50	13.22	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	0.23	0.70	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	34.78	34.19	



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	%	40.33
LIMITE PLASTICO	%	34.49
INDICE DE PLASTICIDAD	%	5.84

OBSERVACIONES:

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +/- 5C°

Técnico de Laboratorio:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Firma:



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: ASERRÍN AL 10%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

PROCTOR MODIFICADO

MOLDE N° 1 N° GOLPES 56 METODO COMPACTACIÓN C
VOLUMEN 2122.32 cm³

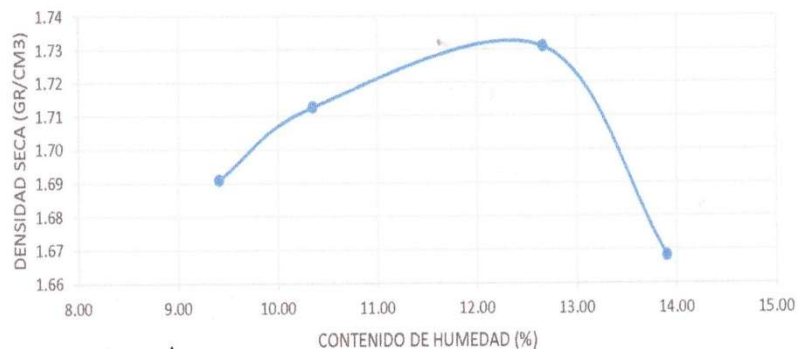
METODO DE COMPACTACION (NTP 339.141)

N° MUESTRA		1	2	3	4
Peso de Suelo Humedo Compactado + Molde	(g)	10616.29	10701.18	10828.52	10722.41
Peso de Molde	(g)	6690.00	6690.00	6690.00	6690.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado	(g)	3926.29	4011.18	4138.52	4032.41
Densidad Húmedo	(g/cm3)	1.85	1.89	1.95	1.90

CONTENIDO DE HÚMEDAD

N° de Resipiente		1	2	3	4
Peso de la Tara	(g)	37.36	37.52	37.14	13.22
Peso de Suelo Humedo + Tara	(g)	110.38	86.77	71.78	52.14
Pesode Suelo Seco + Tara	(g)	104.10	82.15	67.89	47.39
Peso de Agua	(g)	6.28	4.62	3.89	4.75
Peso del Suelo Seco	(g)	67	45	31	34
Contenido de Agua	%	9.41	10.35	12.66	13.90
Maxima Densidad Seca	(g/cm3)	1.69	1.71	1.73	1.67

DENSIDAD SECA MAXIMA: 1.73 /g/cm3 CONTENIDO HUMEDAD OPTIMO: 12.66 %



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vasquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Técnico de Laboratorio:

Firma:



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -
LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL:960234555
950589432

Pag: 5 de 5

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI

FECHA DE INF: 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

Muestra/Calicata: ASERRÍN AL 10%

Fecha de Muestreo: 28/09/2023

Prof.(m): -

C.B.R.

MOLDE N°	M1		M2		M3	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA						
CONDICIÓN DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	12760.00		12480.00		12350.00	
PESO DEL MOLDE (gr)	8630.00		8500.00		8540.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4130.00		3980.00		3810.00	
VOLUMEN DEL SUELO (cm ³)	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	1.95		1.84		1.79	
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	89.60		101.52		117.89	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	83.70		94.30		106.80	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	5.90		7.22		9.09	
PESO DE CAPSULA (gr)	37.10		37.30		37.10	
PESO DE SUELO SECO (gr)	46.60		57.00		71.70	
HUMEDAD (%)	12.66%		12.67%		12.68%	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.73		1.63		1.59	

EXPANSIÓN

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
			mm	%		mm	%		mm	%
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	1	9.00	0.23		14.000	0.36		19.000	0.48	
2	2	12.00	0.30		17.500	0.44		21.000	0.53	
3	3	14.00	0.36		19.600	0.50		22.000	0.56	
4	4	15.00	0.38	0.22	20.000	0.51	0.29	23.000	0.58	0.33

PENETRACION

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR (Lbs/pulg ²)	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA		CORECCION		CARGA		CORECCION		CARGA		CORECCION	
			Kg	Lbs	lbs/pulg2	%	Kg	Lbs	lbs/pulg2	%	Kg	Lbs	lbs/pulg2	%
0.000		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.50	0.00	0.00		
0.025		108.80	239.42	79.81		96.00	211.64	70.55		75.50	166.45	55.48		
0.050		172.50	380.30	126.77		148.20	326.72	108.91		120.10	264.77	88.26		
0.075		255.50	563.28	187.76		198.60	437.84	145.95		168.50	371.48	123.83		
0.100		1000	330.50	728.63	242.88	24.29	268.60	592.16	197.39	19.74	230.90	509.05	169.68	16.97
0.200		1500	635.00	1399.93	466.64	31.11	436.50	962.32	320.77	21.38	394.50	869.72	289.91	19.33
0.300			839.50	1850.78	616.93		649.50	1431.90	477.30		581.50	1281.99	427.33	
0.400			1042.50	2298.32	766.11		868.50	1914.71	638.24		761.50	1678.82	559.61	
0.500			1217.50	2684.12	894.71		1058.60	2333.81	777.94		905.50	1996.28	665.43	

CIEXLIAN Y LABORATORIO
CIEXLIAN
Ing. Hermes Rojas Tiravanti
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO
CIEXLIAN
Gilmer Noel Vásquez Saldaña
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO - T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -
LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL:960234555
950589432

Pag: 5 de 5

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (ASERRÍN) E INORGÁNICOS (CAUCHO GRANULAR) EN MATERIAL DE AFIRMADO DE LA CANTERA REJOPAMPA ALTO, CHOTA

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE REJOMAPAMPA ALTO - CHOTA - CAJAMARCA

RESPONSABLES: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO / NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI **FECHA DE INF:** 26/10/2023

DATOS DE LA MUESTRA

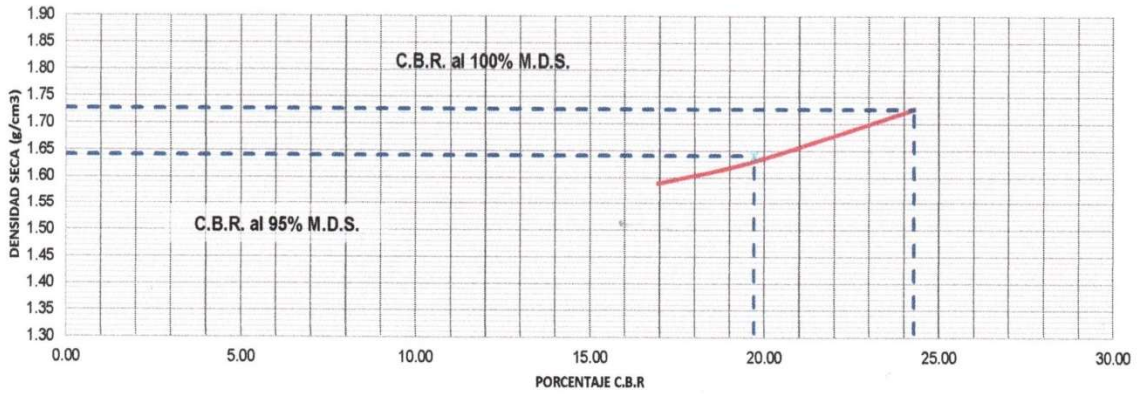
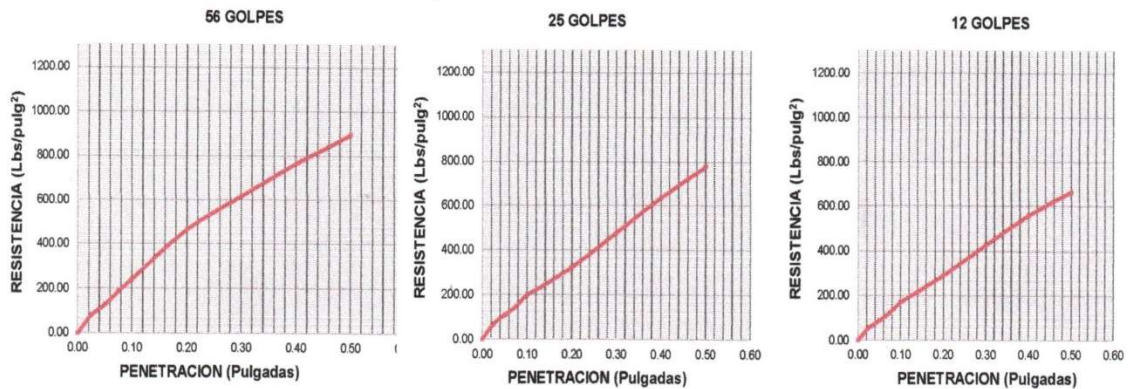
Material: MATERIAL DE AFIRMADO CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA **Muestra/Calicata:** ASERRÍN AL 10%

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm ³)	1.73
HUMEDAD OPTIMA (%)	12.66

DATOS DEL C.B.R.

CBR al 100% de M.D.S. (%)	24.29
CBR al 95% de M.D.S. (%)	19.70



Técnico de Laboratorio:

Firma:

CIEXLIAN LABORATORIO
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Gilmer Yoel Vásquez Saldana
 TÉCNICO EN LABORATORIO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN EN EL
MATERIAL GRANULAR DE CANTERA CON ASERRÍN
Y CAUCHO GRANULAR



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

GESTIÓN TÉCNICA

**ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MAQUINA DE LOS
ANGELES
NTP 400.019**

PROYECTO: TESIS "EVALUACIÓN LA ADICIÓN DE MATERIAL ORGANICO (ASERRÍN) E INORGANICO (CAUCHO)
RESPONSABLE: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO/ NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI
DESCRIPCIÓN: ENSAYOS ABRASION PARA CANTERAS
LOCALIZACIÓN: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

MUESTRA: M-1
ADICIÓN: 0% DE ASERRÍN Y CAUCHO
UBICACIÓN: CHOTA
FECHA ENSAYO: 05-Oct-23

ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (NTP 400.019)

MUESTRA #	1
Procedencia	Cantera
Tipo de muestra	Grava
Gradación usada	A
No. de esferas	12
No. de revoluciones	500
Peso muestra inicial (g)	4978.00
Peso muestra final (g)	3640.89
Pérdida (g)	1337.11
Desgaste %	26.86

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑOS				MASA Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA						
PASA		RETENIDO		A	B	C	D	E	F	G
mm	in	mm	in							
76,1	3	64,0	2 1/2					2500		
64,0	2 1/2	50,8	2					2500		
50,8	2	38,1	1 1/2					5000	5000	
38,1	1 1/2	25,4	1	1250					5000	5000
25,4	1	19,0	3/4	1250						5000
19,0	3/4	12,7	1/2	1250	2500					
12,7	1/2	9,5	3/8	1250	2500					
9,5	3/8	6,3	No 3			2500				
6,3	No 3	4,8	No 4			2500				
4,8	No 4	2,4	No 8				5000			
NÚMERO DE ESFERAS				12	11	8	6	12	12	12
NÚMERO DE REVOLUCIONES				500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES: Estos resultados corresponden a muestras traídas a laboratorio
ESPECIFICACIÓN: Para Gradación A, en seco, 500 revoluciones:
BG: MAX. 35%
SBG: MAX. 50%



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EJECUTÓ

R-CALCULO



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

GESTIÓN TÉCNICA

ABRACION DE AGREGADO GRUESO MAQUINA DE LOS
ANGELES
NTP 400.019

PROYECTO: TESIS "EVALUACIÓN LA ADICIÓN DE MATERIAL ORGANICO (ASERRÍN) E INORGANICO (CAUCHO GRANULAR)" **MUESTRA:** M-1
RESPONSABLE: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO/ NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI **ADICIÓN:** 1% CAUCHO G.
DESCRIPCIÓN: ENSAYOS ABRACION PARA CANTERAS **UBICACIÓN:** CHOTA
LOCALIZACIÓN: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA **FECHA ENSAYO:** 07-Nov-23

ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (NTP 400.019)

MUESTRA #	1
Procedencia	Cantera
Tipo de muestra	Grava
Gradación usada	A
No. de esferas	12
No. de revoluciones	500
Peso muestra inicial (g)	5027.78
Peso muestra final (g)	3637.89
Pérdida (g)	1389.89
Desgaste %	27.64

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑOS				MASA Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA						
PASA		RETENIDO		A	B	C	D	E	F	G
mm	in	mm	in							
76,1	3	64,0	2 1/2					2500		
64,0	2 1/2	50,8	2					2500		
50,8	2	38,1	1 1/2					5000	5000	
38,1	1 1/2	25,4	1	1250					5000	5000
25,4	1	19,0	3/4	1250						5000
19,0	3/4	12,7	1/2	1250	2500					
12,7	1/2	9,5	3/8	1250	2500					
9,5	3/8	6,3	No 3			2500				
6,3	No 3	4,8	No 4			2500				
4,8	No 4	2,4	No 8				5000			
NÚMERO DE ESFERAS				12	11	8	6	12	12	12
NÚMERO DE REVOLUCIONES				500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES: Estos resultados corresponden a muestras traídas a laboratorio
ESPECIFICACIÓN: Para Gradación A, en seco, 500 revoluciones:
BG: MAX. 35%
SBG: MAX. 50%

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Walter Manuel Vasquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EJECUTÓ

R-CALCULO



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

GESTIÓN TÉCNICA

ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MAQUINA DE LOS
ANGELES
NTP 400.019

PROYECTO: TESIS "EVALUACIÓN LA ADICIÓN DE MATERIAL ORGANICO (ASERRÍN) E INORGANICO (CAUCHO GRANULAR)"
RESPONSABLE: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO/ NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI
DESCRIPCIÓN: ENSAYOS ABRASION PARA CANTERAS
LOCALIZACIÓN: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA

MUESTRA: M-2
ADICIÓN: 5% CAUCHO G.
UBICACIÓN: CHOTA
FECHA ENSAYO: 07-Nov-23

ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (NTP 400.019)

MUESTRA #	2
Procedencia	Cantera
Tipo de muestra	Grava
Gradación usada	A
No. de esferas	12
No. de revoluciones	500
Peso muestra inicial (g)	5251.32
Peso muestra final (g)	3864.25
Pérdida (g)	1387.07
Desgaste %	26.41

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑOS				MASA Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA						
PASA		RETENIDO		A	B	C	D	E	F	G
mm	in	mm	in							
76,1	3	64,0	2 1/2					2500		
64,0	2 1/2	50,8	2					2500		
50,8	2	38,1	1 1/2					5000	5000	
38,1	1 1/2	25,4	1	1250					5000	5000
25,4	1	19,0	3/4	1250						5000
19,0	3/4	12,7	1/2	1250	2500					
12,7	1/2	9,5	3/8	1250	2500					
9,5	3/8	6,3	No 3			2500				
6,3	No 3	4,8	No 4			2500				
4,8	No 4	2,4	No 8				5000			
NÚMERO DE ESFERAS				12	11	8	6	12	12	12
NÚMERO DE REVOLUCIONES				500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES: Estos resultados corresponden a muestras traídas a laboratorio
ESPECIFICACIÓN: Para Gradación A, en seco, 500 revoluciones:
BG: MAX. 35%
SBG: MAX. 50%



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
REVISÓ:

EJECUTÓ

R-CALCULO



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

GESTIÓN TÉCNICA

ABRASION DE AGREGADO GRUESO MAQUINA DE LOS
ANGELES
NTP 400.019

PROYECTO: TESIS "EVALUACIÓN LA ADICIÓN DE MATERIAL ORGANICO (ASERRÍN) E INORGANICO (CAUCHO GRANULAR)" **MUESTRA:** M-3
RESPONSABLE: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO/ NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI **ADICIÓN:** 10% CAUCHO G.
DESCRIPCIÓN: ENSAYOS ABRASION PARA CANTERAS **UBICACIÓN:** CHOTA
LOCALIZACIÓN: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA **FECHA ENSAYO:** 07-Nov-23

ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (NTP 400.019)

MUESTRA #	3
Procedencia	Cantera
Tipo de muestra	Grava
Gradación usada	A
No. de esferas	12
No. de revoluciones	500
Peso muestra inicial (g)	5513.75
Peso muestra final (g)	4105.36
Pérdida (g)	1408.39
Desgaste %	25.54

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑOS				MASA Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA						
PASA		RETENIDO		A	B	C	D	E	F	G
mm	in	mm	in							
76,1	3	64,0	2 1/2					2500		
64,0	2 1/2	50,8	2					2500		
50,8	2	38,1	1 1/2					5000	5000	
38,1	1 1/2	25,4	1	1250					5000	5000
25,4	1	19,0	3/4	1250						5000
19,0	3/4	12,7	1/2	1250	2500					
12,7	1/2	9,5	3/8	1250	2500					
9,5	3/8	6,3	No 3			2500				
6,3	No 3	4,8	No 4			2500				
4,8	No 4	2,4	No 8				5000			
NÚMERO DE ESFERAS				12	11	8	6	12	12	12
NÚMERO DE REVOLUCIONES				500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES: Estos resultados corresponden a muestras traídas a laboratorio
ESPECIFICACIÓN: Para Gradación A, en seco, 500 revoluciones:
BG: MAX. 35%
SBG: MAX. 50%

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Walter Manuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EJECUTÓ

R-CALCULO



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

GESTIÓN TÉCNICA

**ABRASION DE AGREGADO GRUESO MAQUINA DE LOS
ANGELES
NTP 400.019**

PROYECTO: TESIS "EVALUACIÓN LA ADICIÓN DE MATERIAL ORGANICO (ASERRÍN) E INORGANICO (CAUCHO)
RESPONSABLE: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO/ NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI
MUESTRA: M-1
ADICIÓN: 1% ASERRÍN
DESCRIPCIÓN: ENSAYOS ABRASION PARA CANTERAS
UBICACIÓN: CHOTA
LOCALIZACIÓN: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA
FECHA ENSAYO: 26-Oct-23

ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (NTP 400.019)

MUESTRA #	1
Procedencia	Cantera
Tipo de muestra	Grava
Gradación usada	A
No. de esferas	12
No. de revoluciones	500
Peso muestra inicial (g)	5075.25
Peso muestra final (g)	3701.35
Pérdida (g)	1373.9
Desgaste %	27.07

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑOS				MASA Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA						
PASA		RETENIDO		A	B	C	D	E	F	G
mm	in	mm	in							
76,1	3	64,0	2 1/2					2500		
64,0	2 1/2	50,8	2					2500		
50,8	2	38,1	1 1/2					5000	5000	
38,1	1 1/2	25,4	1	1250					5000	5000
25,4	1	19,0	3/4	1250						5000
19,0	3/4	12,7	1/2	1250	2500					
12,7	1/2	9,5	3/8	1250	2500					
9,5	3/8	6,3	No 3			2500				
6,3	No 3	4,8	No 4			2500				
4,8	No 4	2,4	No 8				5000			
NÚMERO DE ESFERAS				12	11	8	6	12	12	12
NÚMERO DE REVOLUCIONES				500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES: Estos resultados corresponden a muestras traídas a laboratorio
ESPECIFICACIÓN: Para Gradación A, en seco, 500 revoluciones:
BG: MAX. 35%
SBG: MAX. 50%



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Walter Mannel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE PAVIMENTOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EJECUTÓ

R-CALCULO



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

GESTIÓN TÉCNICA

ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MAQUINA DE LOS
ANGELES
NTP 400.019

PROYECTO: TESIS "EVALUACIÓN LA ADICIÓN DE MATERIAL ORGANICO (ASERRÍN) E INORGANICO (CAUCHO GRANULAR)" **MUESTRA:** M-2
RESPONSABLE: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO/ NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI **ADICIÓN:** 5% ASERRÍN
DESCRIPCIÓN: ENSAYOS ABRASION PARA CANTERAS **UBICACIÓN:** CHOTA
LOCALIZACIÓN: CANTERA REJOPAMPA ALTO - CHOTA **FECHA ENSAYO:** 26-Oct-23

ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (NTP 400.019)

MUESTRA #	2
Procedencia	Cantera
Tipo de muestra	Grava
Gradación usada	A
No. de esferas	12
No. de revoluciones	500
Peso muestra inicial (g)	5243.70
Peso muestra final (g)	3801.35
Pérdida (g)	1442.35
Desgaste %	27.51

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑOS				MASA Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA						
PASA		RETENIDO		A	B	C	D	E	F	G
mm	in	mm	in							
76,1	3	64,0	2 1/2					2500		
64,0	2 1/2	50,8	2					2500		
50,8	2	38,1	1 1/2					5000	5000	
38,1	1 1/2	25,4	1	1250					5000	5000
25,4	1	19,0	3/4	1250						5000
19,0	3/4	12,7	1/2	1250	2500					
12,7	1/2	9,5	3/8	1250	2500					
9,5	3/8	6,3	No 3			2500				
6,3	No 3	4,8	No 4			2500				
4,8	No 4	2,4	No 8				5000			
NÚMERO DE ESFERAS				12	11	8	6	12	12	12
NÚMERO DE REVOLUCIONES				500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES: Estos resultados corresponden a muestras traídas a laboratorio
ESPECIFICACIÓN: Para Gradación A, en seco, 500 revoluciones:
BG: MAX. 35%
SBG: MAX. 50%

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Walter Manuel Vasquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
REVISÓ:

EJECUTÓ

R-CALCULO



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

GESTIÓN TÉCNICA

ABRACION DE AGREGADO GRUESO MAQUINA DE LOS
ANGELES
NTP 400.019

PROYECTO: TESIS "EVALUACIÓN LA ADICIÓN DE MATERIAL ORGANICO (ASERRÍN) E INORGANICO (CAUCHO GRANULAR)" **MUESTRA:** M-3
RESPONSABLE: EDGAR OMAR CUSMA TARRILLO/ NURYNARDA CORONEL VERASTEGUI **ADICIÓN:** 10% ASERRÍN
DESCRIPCIÓN: ENSAYOS ABRACION PARA CANTERAS **UBICACIÓN:** CHOTA
LOCALIZACIÓN: CANTERA ROJAS PAMPA ALTO - CHOTA **FECHA ENSAYO:** 26-Oct-23

ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (NTP 400.019)

MUESTRA #	3
Procedencia	Cantera
Tipo de muestra	Grava
Gradación usada	A
No. de esferas	12
No. de revoluciones	500
Peso muestra inicial (g)	5495.40
Peso muestra final (g)	3745.78
Pérdida (g)	1749.62
Desgaste %	31.84

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑOS				MASA Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA						
PASA		RETENIDO		A	B	C	D	E	F	G
mm	in	mm	in							
76,1	3	64,0	2 1/2					2500		
64,0	2 1/2	50,8	2					2500		
50,8	2	38,1	1 1/2					5000	5000	
38,1	1 1/2	25,4	1	1250					5000	5000
25,4	1	19,0	3/4	1250						5000
19,0	3/4	12,7	1/2	1250	2500					
12,7	1/2	9,5	3/8	1250	2500					
9,5	3/8	6,3	No 3			2500				
6,3	No 3	4,8	No 4			2500				
4,8	No 4	2,4	No 8				5000			
NÚMERO DE ESFERAS				12	11	8	6	12	12	12
NÚMERO DE REVOLUCIONES				500	500	500	500	1000	1000	1000

OBSERVACIONES: Estos resultados corresponden a muestras traídas a laboratorio
ESPECIFICACIÓN: Para Gradación A, en seco, 500 revoluciones:
BG: MAX. 35%
SBG: MAX. 50%



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Walter Manjuel Vásquez Tapia
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EJECUTÓ

R-CALCULO

CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN



PERÚ

Presidencia
del Consejo de Ministros

INDECOPI



Firmado digitalmente por:
CHUET SALAZAR Sergio Jean Pierre
20133340533 Ina3
Fecha: 20/05/2023 12:35:45-0500

Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

CERTIFICADO N° 00147604

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 012890-2023/DSD - INDECOPI de fecha 26 de mayo de 2023, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo : La denominación CIEXLIAN CONSTRUYENDO SUEÑOS y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo

Clase : 42 de la clasificación Internacional.

Solicitud : 0000770-2023

Titular : CIEXLIAN S.R.L.

País : Perú

Vigencia : 26 de mayo de 2023

Distingue : Servicios científicos y tecnológicos, así como servicios de investigación y diseño en estos ámbitos; servicios de análisis e investigación industriales; diseño y desarrollo de equipos informáticos y de software



CIEXLIAN
Construyendo sueños

CIEXLIAN Y LABORATORIO

 Ing. Hermes Rojas Pizarro
 REG. CIP: 308266

Pág. 1 de 1



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por Indecopi, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web.

<https://enlinea.indecopi.gob.pe/verificador>

Id Documento: qjgww2y00y

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA DE LA COMPETENCIA Y DE LA PROTECCIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL
Calle De la Prosa 104, San Borja, Lima 41 - Perú, Telf: 224-7800, Web: www.indecopi.gob.pe



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LFP-111-2024

F

Arsou Group
Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión 2024/09/27

Solicitante **CIEXLIAN S.R.L.**

Dirección JR. SAN MARTIN NRO. 860 CENTRO CHOTA
CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA -
CAJAMARCA , Chota , Chota

Instrumento de medición PRENSA CBR CON CELDA DE CARGA

Identificación NO INDICA

Marca Prensa ARSOU

Modelo NO INDICA

Serie 500040

Celda de Carga TIPO S

Modelo NO INDICA

Indicador DIGITAL

Modelo NO INDICA

Procedencia PERÚ

Ubicación Laboratorio de suelos

Lugar de calibración Instalaciones del cliente

Fecha de calibración 2024/09/27

Método/Procedimiento de calibración

El procedimiento toma como referencia a la norma ISO 7500-1 "Metallic materials - Verification of static uniaxial testing machines". Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



CIEXLIAN X LABORATORIO

CIEXLIAN

Ing. Hermes Rojas Tirumani

REG. CIP. 94894

ARSOU GROUP S.A.C.

Joshep Andrés Arevalo Flores

Joshep Andrés Arevalo Flores
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. de viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú.
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LFP-111-2024

P

Arsou Group
Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia de PUCP	FORCE TRANSDUCER	INF-LE N° 039-23

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 21 °C Final: 21 °C
 Humedad Relativa Inicial: 57 %hr Final: 57 %hr

Resultados

TABLA N° 01
CALIBRACION DE CELDA DE CARGA

SISTEMA DIGITAL "A" Kg	SERIES DE VERIFICACIÓN PATRON (Kg)				PROMEDIO "B" Kg	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE (1) Kg	SERIE (2) Kg	ERROR %	ERROR (2) %			
500	503	502	0.60	0.4	502.5	0.5	0.14
1000	1006	1003	0.60	0.3	1004.5	0.45	0.21
1500	1506	1501	0.4	0.07	1503.5	0.23	0.24
2000	2001	2003	0.05	0.15	2002.0	0.10	0.07
2500	2503	2502	0.12	0.08	2502.5	0.10	0.03
3000	3005	3002	0.17	0.07	3003.5	0.12	0.07
3500	3506	3507	0.17	0.2	3506.5	0.19	0.02
4000	4004	4002	0.1	0.05	4003.0	0.08	0.04

NOTAS SOBRE CALIBRACION

1. - La Calibración se hizo según el Método C de la norma ISO 7500-1
2. - Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:
 $Ep = ((A-B) / B) * 100$ $Rp = Error(2) - Error(1)$
3. - La norma exige que Ep y Rp no excedan el +/- 1.0 %



ARSOU GROUP S.A.C.

.....
 Joseph Andres Arevalo Flores
 METROLOGIA

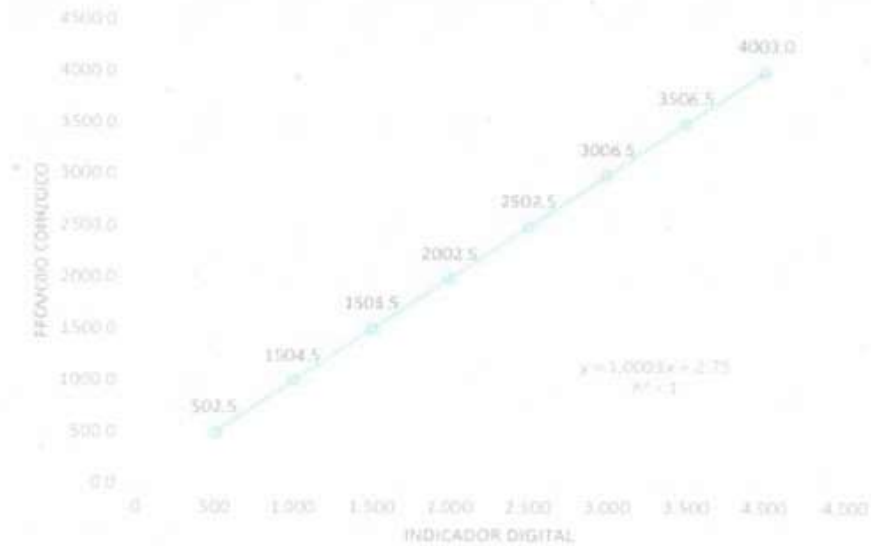
CIEXLIAN Y LABORATORIO
 CIEXLIAN
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti
 REG. CIP. 348840

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. de viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martin de Porres, Lima, Perú
 Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
 ventas@arsougroup.com
 www.arsougroup.com

Gráfica (Coeficiente de correlación y Ecuación de Ajuste)

GRAFICO N° 01



Ecuación de ajuste:

Donde: $y = 1,0003x + 2,75$

Coeficiente Correlación $R^2 = 1$

X : Lectura de la pantalla (kg)

Y : Fuerza promedio (kg)



Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura $k=2$.
3. (*) Código indicará en una etiqueta adherida al instrumento.
4. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

Fin de documento

ARSOU GROUP S.A.C.
Jesús P. Vargas Acosta Flores
METROLOGIA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. de via: Las Flores de San Diego Mc C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú.
Teli: +51 301-1680 / Cel: +51 925 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com