

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Comportamiento físico mecánico de la subrasante del
camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave
minero, Recuay - 2023**

**Tesis para obtener el Título Profesional de
Ingeniero Civil**

Autores:

**Bach. Puma Montoya, Luis Fernando
Código ORCID: 0009-0006-5180-0659
Bach. Quispe Lara, Heydi Milagritos
Código ORCID: 0009-0003-3609-2920**

Asesor:

**Ms. Villavicencio González, Felipe Eleuterio
DNI N° 26673663
Código, ORCID: 0000-0002-3500-2378**

**Nuevo Chimbote - Perú
2024**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Comportamiento físico mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco al
adicionar relave minero, Recuay – 2023”**

Tesis para obtener el Título profesional de Ingeniero Civil.

Revisado y aprobado por:


Ms. Ing. Villavicencio González, Felipe Eleuterio

ASESOR

DNI. N°. 26673663

Código ORCID: 0000-0002-3500-2378

Nuevo Chimbote - Perú

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco
al adicionar relave minero, Recuay – 2023”**

Tesis para obtener el Título profesional de Ingeniero Civil.

Revisado y aprobado por los siguientes jurados:

Ms. Ing. Julio Cesar, RIVASPLATA DÍAZ

Presidente

DNI N° 32770844

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-4180-9362

Dra. Jenisse del Rocio,
FERNÁNDEZ MANTILLA
Secretaria

DNI N° 333264434

CÓDIGO ORCID: 0000-0003-3336-4786

Ms. Felipe Eleuterio,
VILLAVICENCIO GONZÁLEZ
Integrante

DNI. N°. 26673663

Código ORCID: 0000-0002-3500-2378



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
- EPIC -

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 15 días del mes de noviembre del año dos mil veinticuatro, siendo las 11: 00 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 695-2024-UNS-CFI, con fecha 29.10.2024, integrado por los siguientes docentes: Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria), Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González (Integrante), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° 743-2024-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "COMPORTAMIENTO FÍSICO MECÁNICO DE LA SUBRASANTE DEL CAMINO VECINAL DE COTAPARACO AL ADICIONAR RELAVE MINERO, RECUAY - 2023", presentado por los Bachilleres: PUMA MONTOYA LUIS FERNANDO con cód. N° 0201513057 y QUISPE LARA HEYDI MILAGRITOS con cód. N° 0201513043, quienes fueron asesorados por el docente Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González según lo establece la T. Resolución Decanal N° 752 -2022-UNS-FI, de fecha 25.11.2022.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
PUMA MONTOYA LUIS FERNANDO	17	BUENO

Siendo las 12.00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 15 de noviembre de 2024.


Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente


Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla
Secretaria


Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González
Integrante



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
- EPIC -

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 15 días del mes de noviembre del año dos mil veinticuatro, siendo las 11: 00 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 695-2024-UNS-CFI, con fecha 29.10.2024, integrado por los siguientes docentes: Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria), Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González (Integrante), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° 743-2024-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "COMPORTAMIENTO FÍSICO MECÁNICO DE LA SUBRASANTE DEL CAMINO VECINAL DE COTAPARACO AL ADICIONAR RELAVE MINERO, RECUAY - 2023", presentado por los Bachilleres: PUMA MONTOYA LUIS FERNANDO con cód. N° 0201513057 y QUISPE LARA HEYDI MILAGRITOS con cód. N° 0201513043, quienes fueron asesorados por el docente Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González según lo establece la T. Resolución Decanal N° 752 -2022-UNS-FI, de fecha 25.11.2022.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
QUISPE LARA HEYDI MILAGRITOS	17	BUENO

Siendo las 12.00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 15 de noviembre de 2024.

Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente

Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla
Secretaria

Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González
Integrante

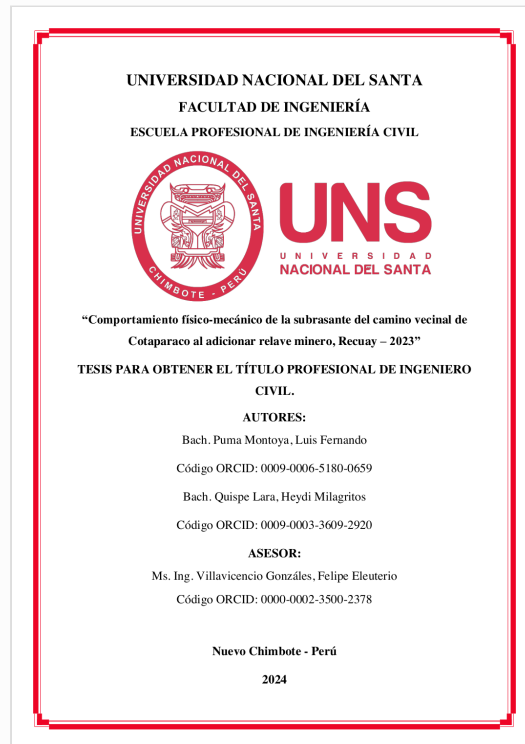


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Heydi Milagritos Quispe Lara
Título del ejercicio: Comportamiento físico-mecánico de la subrasante del cami...
Título de la entrega: Comportamiento físico-mecánico de la subrasante del cami...
Nombre del archivo: INFORME_FINAL5_.docx
Tamaño del archivo: 61.56M
Total páginas: 293
Total de palabras: 26,671
Total de caracteres: 139,539
Fecha de entrega: 08-oct.-2024 12:59p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2479285567



Comportamiento físico-mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay-2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	9%
2	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	<1%
5	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1%
6	www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1%

DEDICATORIAS

A Dios, por darme la sabiduría, la fortaleza y la guía necesaria para alcanzar mis metas. Sin Tu bendición y apoyo divino, este logro no habría sido posible.

A mi madre, cuyo amor incondicional, apoyo y sacrificio han sido la base de todos mis logros. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por ser mi mayor fuente de inspiración.

A mi hermana, por su cariño, comprensión y por ser mi compañera de vida. Tu apoyo constante y tus palabras de aliento me han dado la fuerza para seguir adelante en los momentos difíciles.

A mis profesores y mentores, por su paciencia, sabiduría y guía constante a lo largo de mi formación académica. Su dedicación y esfuerzo han sido una inspiración.

A todos aquellos que, de una manera u otra, han contribuido a mi crecimiento personal y profesional.

Puma, Luis.

A Dios por guiarme en cada momento,
brindarme salud y fortaleza para seguir
adelante.

A mis padres por su esfuerzo perseverante,
siendo ejemplo para salir adelante afrontando
cada reto que nos da la vida.

A mi hermano por acompañarme en el camino
de la vida y ser ejemplo de fortaleza.

A mis amistades por acompañarme y
brindarme su apoyo incondicional.

Quispe, Heydi.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, cuya guía y fortaleza han sido fundamentales en cada paso de este camino. Sin Su bendición y apoyo divino, este logro no habría sido posible.

A nuestras familias, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios, que nos han permitido alcanzar nuestras metas. Gracias por creer en nosotros y por ser nuestra fuente de inspiración y motivación.

A la ingeniera Luz Esther Álvarez Asto, por su invaluable guía y orientación a lo largo de este proyecto. Su paciencia, conocimientos y dedicación han sido esenciales para el desarrollo y culminación de esta tesis.

Al Ms. Ing. Felipe Eleuterio Villavicencio González, nuestro asesor, por su continuo apoyo, consejos y compromiso con nuestra formación académica. Sus conocimientos y experiencia han sido de gran ayuda para superar los desafíos que encontramos en el camino.

Puma y Quispe.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAS	vi
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
I. Introducción	22
1.1. Descripción del Problema	22
1.2. Formulación del problema.	24
1.2.1. Problema Principal.....	24
1.2.2. Problemas Específicas.	24
1.3. Objetivos	24
1.3.1. Objetivo General.....	24
1.3.2. Objetivos Específicos.....	25
1.4. Formulación de la hipótesis	25
1.5. Justificación e importancia.....	25
1.5.1. Social.....	25
1.5.2. Económica.....	26
1.5.3. Técnica.....	26
1.6. Limitaciones del trabajo	27
II. Marco Teórico	29
2.1. Antecedentes de la investigación.	29
2.1.1. Internacionales	29
2.1.2. Nacionales.....	33
2.2. Marco conceptual	35
2.2.1. Relave Minero.....	35
2.2.1.1. Definición del Relave Minero	35
2.2.1.2. Origen y Formación del Relave Minero.	35
2.2.1.3. Propiedades del Relave Minero	36
2.2.1.4. Depósito del Relave Minero	36
a) Tranque de Relave.....	36
b) Embalse de relave	37

c) Relave Espesado.....	37
d) Relave Filtrado.....	37
e) Relave en pasta.....	37
2.2.2. Subrasante	38
2.2.2.1. Definición de la Subrasante.....	38
2.2.2.2. Caracterización de la Subrasante	38
2.2.2.3. Registro de las muestras de excavación.	41
2.2.2.4. Propiedades Físicas de la Subrasante	44
2.2.2.4.1. Clasificación de los suelos.....	44
2.2.2.4.2. Descripción del perfil estratigráfico.	52
2.2.2.4.3. Granulometría.....	53
2.2.2.4.4. La Plasticidad.	53
2.2.2.4.5. Equivalente de Arena.....	55
2.2.2.4.6. Humedad Natural.....	56
2.2.2.5. Propiedades Mecánicas de la Subrasante	56
2.2.2.5.1. Compactación de Suelos.....	56
2.2.2.5.2. Ensayos CBR.....	57
2.3. Definición de Términos.....	59
2.3.1. Mineralogía.....	59
2.3.2. Suelos.....	59
2.3.3. Calicata	59
2.3.4. Grava.....	59
2.3.5. Arena.....	59
2.3.6. Limo.....	60
2.3.7. Arcilla	60
2.3.8. Estabilización.....	60
2.3.9. Carretera.....	60
2.4. Marco Normativo.	61
III. Materiales y Métodos.....	63
3.1. Enfoque de investigación	63
3.2. Método De Investigación	63
3.2.1. Tipo de Investigación.....	63
3.2.2. Niveles de investigación.	63
3.2.3. Diseño de Investigación.....	63
3.3. Población y Muestra.....	64

3.3.1.	Población	64
3.3.2.	Muestra	64
3.4.	Unidad de Análisis	64
3.4.1.	Ubicación de la Sub rasante	64
3.4.2.	Ubicación del Relave minero	65
3.5.	Variables.....	65
3.5.1.	Variables Independientes	65
3.5.2.	Variables Dependientes	65
3.5.3.	Matriz de consistencia.....	66
3.5.4.	Operacionalización de variables.	68
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	70
3.6.3.	Analizar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal al adicionar 10%, 20% y 30% en peso de relave minero en comparación al estado inicial de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023	71
3.6.4.	Calcular el óptimo porcentaje de adición de relave minero a la subrasante y evaluar su comportamiento físico-mecánico en el camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.	72
3.7.	Procedimientos	73
3.7.1.1.	Investigación en campo	73
3.7.1.2.	Ensayos de laboratorio.....	73
3.7.1.2.1.	Contenido de humedad natural (ASTM D2216; MTC E 108).	74
3.7.1.2.2.	Análisis granulométrico (ASTM D422; MTC E107).....	74
3.7.1.2.3.	Límites de Atterberg (ASTM D4318; MTC E110/111).....	75
3.7.1.2.4.	Clasificación de suelos (ASTM D2487).....	75
3.7.1.2.5.	Análisis Químico del Relave Minero.	75
3.7.2.1.	Investigación en campo	76
3.7.2.2.	Ensayos en laboratorio.....	76
3.7.2.2.1.	Contenido de humedad natural (ASTM D2216; MTC E 108).	77
3.7.2.2.2.	Análisis granulométrico (ASTM D422; MTC E107).....	78
3.7.2.2.3.	Límites de Atterberg (ASTM D4318; MTC E110/111).....	78

3.7.2.2.4.	Clasificación de suelos (ASTM D2487).....	80
3.7.2.2.5.	Peso específico (MTC E 206).....	81
3.7.2.2.6.	Proctor modificado (ASTM D1557; MTC E115).	83
3.7.2.2.7.	California Bearnig Ratio, CBR. (ASTM D1883; MTC E132).....	84
3.7.3.1.	Ensayos en laboratorio.....	86
3.7.3.1.1.	Contenido de humedad natural (ASTM D2216; MTC E 108).	86
3.7.3.1.2.	Análisis granulométrico (ASTM D422; MTC E107).....	86
3.7.3.1.3.	Límites de Atterberg (ASTM D4318; MTC E110/111).....	87
3.7.3.1.4.	Clasificación de suelos (ASTM D2487).....	87
3.7.3.1.5.	Peso específico (MTC E 206).....	87
3.7.3.1.6.	Proctor modificado (ASTM D1557; MTC E115).	87
3.7.3.1.7.	California Bearnig Ratio, CBR. (ASTM D1883; MTC E132).....	87
IV.	Resultados y Discusiones	91
4.1.	Análisis e Interpretación de Resultados.	91
4.1.1.	Identificar las características físico-mecánicas y químicas del relave minero como agente estabilizante, de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.	91
4.1.1.1.	Investigación en campo.	91
4.1.1.2.	Ensayos de laboratorio.....	91
4.1.2.	Identificar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.	95
4.1.2.1.	Investigación en campo.	95
4.1.2.2.	Ensayos de laboratorio.....	96
4.1.3.	Analizar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal al adicionar 10%, 20% y 30% en peso de relave minero en comparación al estado inicial de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.	100
4.1.3.1.	Subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco más 10% en peso de Relave Minero. 100	

4.1.3.2.	Subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco más 20% en peso de Relave Minero.	103
4.1.3.3.	Subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco más 30% en peso de Relave Minero.	107
4.1.4.	Calcular el óptimo porcentaje de adición de relave minero a la subrasante y evaluar su comportamiento físico-mecánico en el camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.	115
4.1.4.1.	Cálculo del porcentaje óptimo de adición de Relave Minero.....	115
4.1.4.2.	Comportamiento de la Subrasante en un tramo de prueba del Camino Vecinal, al adicionar el porcentaje óptimo de Relave Minero.....	118
4.2.	Contrastación de la Hipótesis.....	119
4.3.	Discusiones.....	120
V.	Conclusiones y Recomendaciones.....	124
5.1.	Conclusiones.....	124
5.2.	Recomendaciones.....	127
VI.	Referencias Bibliográficas y Virtuales.....	129
VII.	Anexos.....	133
7.1.	Anexo 01.- Ensayos del laboratorio.....	133
7.1.1.	Calicata N° - 01.....	133
7.1.2.	Calicata N° - 02.....	159
7.1.3.	Calicata N° - 03.....	185
7.1.4.	Calicata N° - 04.....	211
7.1.5.	Calicata N° - 05.....	237
7.1.6.	Relave minero, Ticapampa.....	263
7.1.7.	Informe de análisis químico.....	266
7.1.8.	Resultados, tramo de prueba.....	268
7.2.	Panel Fotográfico.....	269
7.2.1.	Excavación y recolección de muestras.....	269

7.2.2.	Contenido de Humedad Natural.....	274
7.2.3.	Análisis Granulométrico.	276
7.2.4.	Límites de Atterberg.	278
7.2.5.	Peso Específico.	281
7.2.6.	Proctor Modificado.	283
7.2.7.	CBR (California Bearing Ratio).	284
7.2.8.	Densidad de Campo en un tramo de prueba.	286
7.3.	Anexo 03. - Plano de ubicación del relave Minero.	293
7.4.	Anexo 02. - Plano de ubicación de las calicatas.	294

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Parámetros para llevar acabo la exploración de suelos en campo.	39
Tabla 2.	Cantidad de Ensayos M_R y CBR.....	43
Tabla 3.	Sistema de clasificación de suelos de la AASTHO.	45
Tabla 4.	Clasificación de suelos según su IG.	46
Tabla 5.	Símbolos para fines de identificación según SUCS.	47
Tabla 6.	Práctica estándar para la clasificación de suelos (SUCS).....	48
Tabla 7.	Clasificación de suelos según Tamaño de partículas.....	53
Tabla 8.	Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad.....	55
Tabla 9.	Clasificación de Suelos según el Equivalente de Arena.....	55
Tabla 10.	Categorías de Sub rasante	58
Tabla 11.	Marco Normativo.....	61
Tabla 12.	Matriz de consistencia.....	66
Tabla 13.	Operacionalización de Variables.	68
Tabla 14.	Ubicación de la investigación en campo del Relave Minero.	91
Tabla 15.	Propiedades físicas del Relave Minero de Ticapampa.	91
Tabla 16.	Análisis Físico-químico del Relave Minero	92
Tabla 17.	Análisis de Metales Pesados del Relave Minero	93
Tabla 18.	Ubicación de la investigación en campo de la subrasante del camino vecinal Cotaparaco. 95	
Tabla 19.	Propiedades Físicas de la Subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco.	96
Tabla 20.	Propiedades Mecánicas de la Subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco.	98
Tabla 21.	Propiedades físicas de la Subrasante al adicionar 10% en peso de Relave Minero. 100	
Tabla 22.	Propiedades Mecánicas de la Subrasante al adicionar 10% en peso de Relave Minero. 102	
Tabla 23.	Propiedades físicas de la Subrasante al adicionar 20% en peso de Relave Minero. 103	
Tabla 24.	Propiedades Mecánicas de la Subrasante al adicionar 20% en peso de Relave Minero. 105	
Tabla 25.	Propiedades físicas de la Subrasante al adicionar 30% en peso de Relave Minero. 107	
Tabla 26.	Propiedades Mecánicas de la Subrasante al adicionar 30% en peso de Relave Minero. 109	
Tabla 27.	Comparación de la Máxima Densidad Seca con la Adición del 10%,20% y 30% en peso de Relave Minero.....	110

Tabla 28.	Comparación del Óptimo Contenido de Humedad con la Adición del 10%,20% y 30% en peso de Relave Minero.	112
Tabla 29.	Comparación del CBR con la Adición del 10%,20% y 30% en peso de Relave Minero.	113
Tabla 30.	Datos de entrada para el análisis de Regresión Cuadrática.....	115
Tabla 31.	Estadísticas de la regresión	116
Tabla 32.	Análisis de Varianza	116
Tabla 33.	Coefficientes de la ecuación de la curva de regresión ajustada.	117
Tabla 34.	Ubicación y material usado en el tramo de prueba.	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Gráfica de plasticidad.	47
Figura 2.	Diagrama de flujo para clasificar suelos de grano grueso (más de 50% retenido en la malla número N° 200)	49
Figura 3.	Diagrama de flujo para clasificar suelos de grano fino (50% o más pasa la malla número N°200)	50
Figura 4.	Diagrama de flujo para clasificar suelos orgánicos de grano fino (50% o más pasa la malla núm. 200)	51
Figura 5.	Signos convencionales para perfiles de calicatas según la clasificación AASHTO.	52
Figura 6.	Signos convencionales para perfiles de calicatas según la Clasificación SUCS52	
Figura 7.	Representación gráfica de límites de consistencia.	54
Figura 8.	Ubicación del camino vecinal de Cotaparaco	64
Figura 9.	Ubicación del relave minero	65
Figura 10.	Humedad natural.	97
Figura 11.	Máxima densidad seca	111
Figura 12.	CBR adicionados los % de relave minero.....	113
Figura 13.	Curva de regresión ajustada, %CBR vs % Relave minero	118

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Índice de grupo.	46
Ecuación 2.	Fórmula simplificada del Índice de grupo.	46
Ecuación 3.	Índice de plasticidad.	54
Ecuación 4.	Cálculo del contenido de humedad (w%)	77
Ecuación 5.	Peso Específico de masa (P_{em}).	82
Ecuación 6.	Peso específico de masa saturada con superficie seca (P_{eSSS}).	82
Ecuación 7.	Peso específico aparente (P_{ea}).	82
Ecuación 8.	Absorción (A_b).	82

RESUMEN

En esta investigación se analizó el comportamiento tanto físico como mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, ubicado en la provincia de Recuay, al adicionar relave minero en diferentes proporciones. El estudio se enfoca en evaluar la influencia de incorporar relave minero en porcentajes del 10%, 20% y 30% a la capa de la subrasante.

Para realizar este análisis, se llevó a cabo las auscultaciones a cielo abierto mediante calicatas y posteriormente, las muestras extraídas se llevaron al laboratorio y siguiendo las normas NTP y MTC se determinaron y analizaron los parámetros físicos y mecánicos de las muestras de suelo con diferentes proporciones de relave minero. Los resultados mostraron una tendencia a mejorar la capacidad de soporte de la capa de la subrasante, la que se obtuvo mediante el CBR, a medida que se incrementa la proporción de relave minero hasta un 29.55%.

Palabras Clave: Subrasante, Relave Minero, Índice CBR, Contenido Óptimo de Humedad, Camino Vecinal de Cotaparaco.

ABSTRACT

In this research, both the physical and mechanical behavior of the subgrade of the Cotaparaco local road, located in the province of Recuay, was analyzed by adding mining tailings in different proportions. The study focuses on evaluating the influence of incorporating mining tailings in percentages of 10%, 20% and 30% to the subgrade layer.

To carry out this analysis, open-air auscultations were carried out using pits and subsequently, the extracted samples were taken to the laboratory and following the NTP and MTC standards, the physical and mechanical parameters of the soil samples with different proportions of mining tailings. The results showed a tendency to improve the support capacity of the subgrade layer, which was obtained through CBR, as the proportion of mine tailings increases up to 29.55%.

Keywords: Subgrade, Mine Tailings, CBR Index, Optimal Moisture Content, Cotaparaco Local Road.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

I. Introducción

1.1. Descripción del Problema

Las vías de transporte de una nación son necesarias para complacer las necesidades de los pobladores; por ende, para mejorar y mantener una adecuada transitabilidad es primordial conservar el buen estado de las vías, el cual permitirá menor tiempo de traslado, disminución en los desperfectos automovilísticos, reducción del riesgo de sufrir accidentes, bajo costo de traslado, etc.

En el Perú, según el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), hasta diciembre de 2021 existen 173 057.80 km de infraestructura vial existente, de los cuales 142 988.70 km son carreteras no pavimentadas; es decir el 82.62% del total, y de ellos 115 262 km corresponden a carreteras vecinales o rurales, como consecuencia dichas carreteras están sujetas a una rehabilitación y mantenimiento periódico ya que están expuestas a deteriorarse a causa de diferentes factores, principalmente el clima debido a que en los periodos de invierno de cada año la carpeta de rodadura sufre deterioros tanto en la superficie como en su estructura.

En la actualidad, uno de los inconvenientes que persiste

por la acción de las empresas minero-metalúrgicas en nuestra nación es la gestión y almacenamiento de los relaves resultantes del procesamiento de los minerales extraídos. Asimismo, los depósitos de relaves mineros vienen causando preocupación en la población al no encontrarle un uso adecuado y que a través del tiempo continúa generando mayor contaminación ambiental. Tal como afirma el Banco Mundial (2019):

La incorrecta gestión de estos residuos y desmontes mineros, junto con las formas inadecuadas para su procesamiento, ha provocado serios problemas de filtraciones,

drenaje ácido y contaminación de fuentes de agua, además de otros impactos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas. (p. 5-6)

Además, según Carvalho, F. (2017) afirma que:

Se espera que los proyectos mineros nuevos y actuales incorporen las lecciones de las actividades mineras del pasado (...), el EIA de los proyectos mineros debe abarcar todo el ciclo de vida de la mina, incorporar la evaluación de impactos negativos y beneficios sociales también (...), además se deben mejorar las leyes mineras en muchos países para incluir nuevas buenas prácticas mineras”. (p. 9)

En la región Áncash existen depósitos mineros abandonados como lo es en la provincia de Recuay, distrito de Ticapampa ubicado al margen del río Santa, siendo el relave más grande en el Callejón de Huaylas, generando un gran impacto en la salud humana y ecosistemas en la cuenca del río.

La carretera rural de Cotaparaco brinda acceso a los distritos de Cochapeti, Malvas y el mismo distrito de Cotaparaco con la carretera provincial, siendo beneficiados 1,894 habitantes; por ello es una vía de transporte de gran importancia ya que permite la conexión a distritos con capitales de provincia y de región.

Actualmente, la carretera sufre deterioro por lluvias y huaycos, causando erosión, ahuellamiento, baches y deformaciones. Es por ello que en este estudio se utilizó relave minero para evaluar los parámetros físicos y mecánicos de la subrasante del camino rural de Cotaparaco, en Recuay. Se desarrollaron pruebas para conocer los parámetros físicos y mecánicos, de la misma manera se evaluó el comportamiento del suelo.

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema Principal.

¿Cuál será el comportamiento físico-mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay – 2023?

1.2.2. Problemas Específicas.

- ¿Cuáles son las propiedades físico y químicas del relave minero, quien actúa como agente estabilizante de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023?
- ¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023?
- ¿Cuáles serán las propiedades físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal al adicionar el 10%, 20% y 30% en peso de relave minero, en comparación al estado inicial de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023?
- ¿Cuál es el comportamiento físico-mecánico al adicionar un óptimo porcentaje de relave minero en un tramo de prueba en la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Conocer y evaluar el comportamiento físico mecánico de la subrasante al adicionar relave minero en el camino vecinal del distrito de Cotaparaco, provincia de Recuay, Áncash 2023.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Identificar las características físico y químicas del relave minero como agente estabilizante, de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.
- Identificar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.
- Analizar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal al adicionar 10%, 20% y 30% en peso de relave minero en comparación al estado inicial de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.
- Calcular el óptimo porcentaje de adición de relave minero a la subrasante y evaluar su comportamiento físico-mecánico en el camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.

1.4. *Formulación de la hipótesis*

Si se adiciona relave minero en la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, entonces mejorará el comportamiento físico-mecánico, en el Distrito de Cotaparaco-Recuay-Ancash 2023.

1.5. *Justificación e importancia*

1.5.1. *Social.*

Para generar un desarrollo social, es necesario mantener la red vial en condiciones adecuadas, esto permite reducir los riesgos de accidentes, optimizando los costos de transporte y el tiempo de viaje.

En el caso de estudio, el camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023, se encuentra en condiciones de deterioro, afectada por las condiciones climáticas y falta de

mantenimiento de la vía, esto afecta negativamente a la usuaria de este camino, esto limita el acceder adecuadamente a servicios esenciales y oportunidades sociales. Es por ello que el uso de residuos mineros para el mejoramiento de los parámetros físicos y mecánicos en la capa de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco en la provincia de Recuay-2023, beneficiará a la población usuaria y traerá desarrollo y bienestar a la región.

1.5.2. Económica.

Una red vial en condiciones óptimas trae consigo un impacto positivo en los usuarios, ya que ayuda a facilitar el transporte de carga y la población, estimulando el crecimiento económico de la población.

En el caso del camino vecinal de Cotaparaco, con una vía en buenas condiciones, permitirá a los lugareños a transportar y comercializar sus productos a mercados locales y regionales, transportarse a otros lugares con mejores oportunidades educativas y/o laborales para la población.

Por otro lado, el uso de relave minero del distrito de Ticapamapa, como estabilizante de la subrasante del camino rural de Cotaparaco, presenta una alternativa amigable con el medio ambiente, económicamente positiva, sostenible, además produciría un ahorro significativo, evitando la compra de otros materiales estabilizantes de suelos que ofrece el mercado.

1.5.3. Técnica.

En lugares donde los recursos son escasos, la utilización de materiales alternativos para estabilizar un suelo, sería una buena opción técnica, por lo que, en el caso de estudio, el uso de relave minero del Distrito de Ticapampa, como agente estabilizante para mejorar los parámetros físicos y mecánicos de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, es una buena alternativa técnica y sostenible. En consecuencia, la realización de ensayos a

dicho material ayudará a conocer sus propiedades físicas, mecánicas y químicas con lo que se podrá conocer el porcentaje óptimo de adición para estabilizar la subrasante y obtener una infraestructura vial en mejores condiciones con estándares de calidad aceptables, con el fin de garantizar la mejora de la transitabilidad de la vía.

1.6. Limitaciones del trabajo

- Nos limitamos al estudio de 5km de vía, desde el kilómetro 40+000 hasta 45+000 del camino vecinal Cotaparaco.
- Los recursos económicos disponibles para la recolección de datos se vieron limitadas, ya que la zona de estudio se encuentra muy alejada de los laboratorios de la Universidad Nacional Del Santa.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación.

2.1.1. Internacionales

En la investigación de (Manjarrez & Zhang, 2018), Trataron sobre el **“Uso de los relaves mineros de residuos de Cobre, como material alternativo para la construcción de la base de carreteras mediante la geopolimerización”**, El propósito del estudio fue emplear los desechos de minas de cobre (MT) como material alternativo para construir bases de carreteras mediante el proceso de geopolimerización. Para lograr este objetivo, se mezcló MT con distintas proporciones de solución de hidróxido de sodio (NaOH) a diferentes proporciones que van desde 0 hasta 11 M, luego la muestra fue compactada y curada a 35°C. Luego que pasó el tiempo de curado de 7 días, se llevaron a cabo los ensayos de compresión no confinada y se evaluó su resistencia (UCS). Además, se hicieron los análisis de difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido con espectroscopía de radiografía dispersiva de energía (SEM/EDS), para estudiar la estructura microscópica y los componentes químicos de las muestras bajo diferentes condiciones. El estudio investigó de manera sistemática el impacto de 2 factores: por un lado el contenido de humedad y por el otro la concentración de NaOH y cómo influye en la forma de comportarse la MT geopolimerizada. Los resultados indican que el peso máximo de la unidad seca de la MT compactada está influenciado por la concentración de NaOH, observándose un aumento del peso máximo de la unidad seca con concentraciones más altas de NaOH. La resistencia y el comportamiento final de la MT geopolimerizada están fuertemente vinculados al contenido de humedad de la muestra y a la concentración de NaOH de la MT compactada inicial. Si el contenido de humedad de la muestra se mantiene constante, el UCS de MT

geopolimerizado aumenta con una mayor concentración de NaOH hasta un cierto nivel y luego disminuye. Este comportamiento está simplemente relacionado con el efecto del contenido de NaOH o el UCS de MT geopolimerizado aumenta con una mayor concentración de NaOH hasta un cierto nivel y luego disminuye. Este comportamiento está simplemente relacionado con el efecto del contenido de NaOH o el UCS de MT geopolimerizado aumenta con una mayor concentración de NaOH hasta un cierto nivel y luego disminuye. Este comportamiento está simplemente relacionado con el efecto del contenido de NaOH o $\text{Na}:\text{Al}$ relación sobre la geopolimerización. Para los especímenes preparados a la misma concentración de NaOH, el UCS más alto no ocurre necesariamente con el óptimo contenido de humedad o el peso máximo de la unidad seca, enfatizando la contribución de la geopolimerización al UCS. Además, en esta investigación se enfatiza que si se selecciona cuidadosamente la concentración adecuada de NaOH y por otro lado el contenido de humedad, el MT geopolimerizado podría cumplir con los estándares de resistencia requeridos para las bases de carreteras tal como varios Departamentos de Transporte estatales y la Administración Federal de Carreteras (FHWA) en los Estados Unidos. Pero se debe tener en cuenta que antes de implementar el uso de MT en la construcción de bases de carreteras, se debe realizar una investigación detallada de lixiviados conforme al nuevo estándar establecido por la EPA para garantizar la seguridad ambiental del MT.

Por otro lado, en un artículo sobre el **“Uso de los relaves del mineral de fierro, como material para carretas”**, realizado por D. Castro, Cordeiro, Castro y Fiorotti, (2016), tiene como propósito conocer el comportamiento de los relaves de fierro como un componente opcional para la estructura de las vías. Los relaves mineros de fierro se caracterizaron de acuerdo con sus comportamientos físicos, ambientales,

químicas y mineralógicas. Seguidamente, estos relaves se estabilizaron químicamente utilizando como aglutinante el cemento, cal o escoria de fabricación de acero. Las dosificaciones consistieron en un contenido de aglutinante del 1, 2, 5 y 10%, cada una. La metodología de caracterización incluyó análisis químicos y mineralógicos a través de fluorescencia y difracción de radiografías, análisis ambiental con pruebas de lixiviación y disolución, evaluación de curvas de compactación, pruebas de (CBR), evaluación de expansión, ensayo de compresión en condiciones de curado a cielo abierto o también en cámaras de humedad, capacidad de absorber de agua y finalmente evaluar la durabilidad de las mezclas.

En general se concluye que los relaves de mineral de hierro son una solución factible para su uso como capas para pavimentación de carreteras, una vez estabilizados químicamente, por otro lado, cemento es el estabilizador más eficiente entre los aglutinantes estudiados, finalmente la muestra de cola de escoria no soportó los ciclos de durabilidad, por lo que se requiere más investigación para garantizar su viabilidad técnica.

En la investigación **“Estudio de permeabilidad en el adobe implementando agregados naturales”** del investigador García, (2017) cuyo objetivo fue analizar agregados naturales y la composición con el suelo, mejoren sus propiedades tanto como permeabilidad y mecánicas del adobe a la vez determinar el material adecuado para adicionar y su dosificación apropiada. El proyecto fue de forma experimental y tanto así la población que se consideró fueron 99 ejemplares con distintos tipos de dosificaciones con 45 adobes de muestra inicial ,36 adobes don resina de pino, 18 adobes con estiércol de burro y suelo natural de estos se consideró 9 con 15% de resina de pino y 9 sin resina de pino, se empleó como instrumento la norma N-CMT2-01-001. El resultado que arrojó con la dosificación de 10% de resina de pino

alcanzo la resistencia a la compresión de 4.35 MPa más alta a las demás dosificaciones y los adobes con suelo, más excremento de burro, mas 15% resina de pino se obtuvo una resistencia a la flexión de 1.003 MPa, finalmente se concluyó que los adobes con resina tienen una resistencia a la compresión de un 194% que a los demás adobes y vale recalcar que los adobes tienen mayor resistencia tanto en compresión y flexión con la resina de pino.

Asimismo, en esta investigación en idioma inglés(traducido) de Canadell et Al. (2017) titulada “**Comprehensive design method for earthbag and superadobe structures**)” cuyo objetivo de este estudio es determinar un procedimiento de diseño sencillo, integro y justo para sacos de polipropileno con tierra que permite el uso de los recursos y la materia prima disponibles a nuestro alcance o en el medio ambiente, que el cual garantiza construcciones seguras, el método utilizado es experimental. Según esta investigación el superadobe tiene fallas mecánicas como el colapso global, pandeo, vuelco, deslizamiento local, falla del adobe desgarró de la bolsa y falla de la bolsa. Los resultados arrojados que si se aumenta la altura aumenta la compresión de la columna, ya que la compresión estabiliza la pared y reduce el riesgo de fallo debido al vuelco. Se define como otro resultado que la curva falla al pandeo es una línea recta que el cual define una fuerza axial máxima de 30 KN/m. El modelo constituido empleando para un saco de tierra se indica que tiene un comportamiento elastoplástico en la compresión. En la conclusión que se consideró que es muy factible utilizar la técnica de sacos de polipropileno con tierra ya que son de bajo costo, el mecanismo de fallo en las paredes de superadobe son el vuelco global y el pandeo, otra conclusión es que si se aumenta la rigidez se extenderá la resistencia de la pared y renovar el modo de falla que se registró por el desgarró de la bolsa.

2.1.2. Nacionales

Esta investigación corresponde a (Arias, 2022), quien presenta su estudio sobre la **“Adición de Relave Minero en la capa de subbase del Pavimento Flexible de la Carretera Ananea – Rinconada, Putina, Puno**. El objetivo fue si la adición del relave minero tenía una influencia en la capa de subbase de dicha carretera. Llegó a la siguiente conclusión:

La adición de los residuos de mineral a la capa de subbase del pavimento flexible de la carretera Ananea-Rinconada, influye positivamente en lo económico y técnico, ya que mejora la calidad del agregado. La dosificación adecuada se presenta con el agregado de la cantera Chuquine con una adición del 70 % y de relave minero con un 30% en peso, haciendo un total del 100%, cumpliendo así con los parámetros básicos para subbase requeridos por las normativas peruanas.

(Perez & Rodriguez, 2021), realizaron un estudio sobre **“La Dosificación de relave minero al afirmado de la carretera Carata Montil y su influencia sobre la compactación del material granular para dicho afirmado”** con la finalidad de conocer cómo influye la dosificación en la capacidad de soporte y la compactación del suelo granular para afirmado de la carretera Carata-Motil y llegaron a la conclusión siguiente:

Luego de realizar los ensayos del Proctor Modificado y el CBR, se realizó una comparativa con lo indicado en el EG-2013, por consiguiente, la adición óptima de relave minero al suelo granular de la cantera es de 20%, esto mejoró las características del suelo, obteniendo un material más ligero, con las siguientes características: MDS de 2.112g/cm³ y un valor de soporte (CBR) de 69%.

En el estudio sobre el **“Mejoramiento de la capa del suelo de subrasante haciendo uso de los desechos mineros de Ticapampa en la carretera Catac-Túnel Kahuish- Chavin De Huantar- San Marcos”**, Romero J. (2020) planteó el siguiente objetivo: Realizar la estabilización de suelos de la capa de subrasante haciendo el uso del relave minero de Ticapampa en la vía Catac-Túnel Kahuish.

A partir de la investigación, llegó a la conclusión que el desecho de mineral de Ticapampa tiene una naturaleza polimetálica sulfurado, con elevada composición de arsénico, cadmio, hierro, zinc, plomo, cobre. Por otro lado, por su contenido de arena y limos, no tiene límites de consistencia por lo que se define como un suelo limoso no plástico. La mineralogía del desecho minero está comprendido por silicio (superior al 80%) el cual de una u otra manera ayuda a la encapsulación de los metales pesados, sin embargo, no deja de ser potencialmente causante de aguas ácidas.

Por otro lado, sobre la dosificación del relave minero de Ticapampa a la subrasante, se concluye que, en general ayudó a la estabilización de la capa de subrasante de la carretera Catac - tunel Kahuish). Es decir, influyó en incrementar la capacidad de soporte (CBR).

En tanto, Chipana (2018), en su investigación sobre el **“Uso de los desechos mineros con fines de mejorar las propiedades mecánicas de la carretera Ananea-Suches”**, y con la finalidad de conocer los parámetros físicos y mecánicos del material de la cantera, adicionando relave minero en la carretera Ananea – Suches en la capa de afirmado, llegó a las siguientes conclusiones:

La dosificación óptima del desecho de mineral y el afirmado de la cantera es de 30% y 70% respectivamente, cabe señalar además que la muestra ensayada fue

de la cantera Jachatira, con esta adición se obtuvieron los siguiente datos : OCH 8.97%, MDS 2.116 gr/cm³ y un CBR al 100% de la MDS de 44.10%.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. *Relave Minero*

2.2.1.1. Definición del Relave Minero

“El relave es un material sólido de grano fino, que se elimina en actividades mineras, luego de procesar y recuperar el material de interés” (Servicio Nacional de Geología y Minería [SERNAGEOMIN], s.f.).

Vilela, Espinosa y Bravo (2020), afirman que “son desechos producidos después de la extracción del metal seleccionado del mineral mediante trituración y molienda para obtener partículas que consisten en un mineral y separar los minerales por sus características físicas o de superficie”.

2.2.1.2. Origen y Formación del Relave Minero.

Cárdenas (2019) describe que para entender cómo se originan los relaves mineros, es necesario examinar el proceso de tratamiento de las rocas extraídas de la tierra. En primer lugar, las rocas grandes se someten a un tratamiento de trituración, conocido como trituración primaria, que las reduce las rocas a fragmentos más pequeños, estos fragmentos pasan luego por un segundo proceso de trituración, o chancado secundario, donde se reducen a fragmentos mucho más pequeños.

Seguidamente, los fragmentos triturados se llevan a una molienda, donde se pulverizan hasta convertirse en partículas muy finas para ser introducidas en un tanque de flotación, en esta etapa se recupera el mineral deseado a extraerse. Estos

productos químicos hacen que el mineral flote debido a la gravimetría, mientras que el material que se asienta en el fondo se denomina relave.

Estos relaves contienen una mezcla de minerales no deseados y restos de los productos químicos utilizados.

2.2.1.3. Propiedades del Relave Minero

El relave minero inicialmente no se presenta como un desecho tóxico; ya que su elemento principal es la roca molida y agua. La toxicidad podría surgir en etapas posteriores, es decir, debido a que algunos desechos mineros, reaccionan al contacto con el agua y disuelven sustancias tóxicas que podrían ser transportadas por las corrientes de agua. Para los desechos mineros que contengan elementos potencialmente tóxicos para las personas, como plomo, arsénico, cromo, cianuro, cobre, zinc, entre otros, las empresas mineras deben garantizar, conforme a la ley, que estas solubilizaciones de los tóxicos no ocurran, protegiendo así la integridad de los habitantes y el medio que nos rodea, SERNAGEOMIN (s.f.).

2.2.1.4. Depósito del Relave Minero

SERNAGEOMIN (s.f.) lo conceptualiza como una estructura de ingeniería diseñada para cumplir con las normativas legales nacionales, asegurando que el relave quede completamente aislado del ecosistema circundante. En seguida se detallan los tipos de depósitos.

a) Tranque de Relave

Es un depósito donde el muro se edifica con la parte más gruesa del relave, que se compacta después de separar el material más grueso de los finos con la ayuda de un flujo de agua. Los sólidos más finos, conocidos generalmente como lama, se almacenan en la cubeta de dicho tanque.

b) Embalse de relave

Es un depósito en el que el muro de soporte, se construye con materiales de préstamo, y se impermeabiliza en la parte superior y en el interior del talud. Por otro lado, los depósitos que no necesitan de construcción de un muro de contención y se ubican en alguna depresión de terreno también son llamados embalses de relave.

c) Relave Espesado

Es un depósito donde la superficie es inicialmente expuesta a una fase de separación sólido- fluido con un equipo llamado Espesador, por consiguiente, beneficia la sedimentación de los sólidos parecido a la acción de limpiar las aguas de ríos y obtener agua potable, este proceso de sedimentación se lleva a cabo con el propósito de extraer una cantidad significativa del agua contenida, permitiendo su reutilización y disminuyendo así el consumo de fuentes de agua limpia.

d) Relave Filtrado

Es parecido al proceso de espesado. Se refiere a un almacén donde el suelo tiene un contenido de agua reducido mediante filtración, se debe asegurar que el contenido de humedad sea inferior al 20%. Este procedimiento de filtración se puede comparar con lo realizado en el tratamiento de agua potable.

e) Relave en pasta

Se refiere a la combinación de agua y sólidos, abarcando mucho material fino y tienen bajo volumen de agua, lo que resulta una forma espesada, parecido a un compuesto de alta densidad.

2.2.2. Subrasante

2.2.2.1. Definición de la Subrasante

Según Valle (1968) lo conceptualiza como “el espacio del suelo donde se planea contruir un pavimento”.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC,2014) se conceptualiza como la superficie final preparada durante el movimiento de tierras, ya sea por corte o si requiere por relleno. En esta superficie es donde se instalará el afirmado o pavimento. En esencia, la capa de subrasante es la cimentacipo del pavimento o afirmado. Esta capa de terreno natural está compuesta por suelos adecuadamente compactados y con características que cumplen con los estándares requeridos para soportar la carga del pavimento.

2.2.2.2. Caracterización de la Subrasante

El MTC (2014), en su Manual de Carreteras, sección donde se trata sobre los Suelos, Geología y Pavimentos; muestra parámetros con las que se deben evaluar las propiedades físico-mecánias de los elementos de la capa de subrasante del terreno natura, según los datos presentados en la tabla 1.

Tabla 1.*Parámetros para llevar a cabo la exploración de suelos en campo.*

Clases de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas. Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) mayor de 6000 vehículos por día, que cuentan con calzadas separadas, cada una con un mínimo de 2 carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	. Calzada de 2 carriles por sentido: 4 calicatas por km por sentido . Calzada de 3 carriles por sentido: 4 calicatas por km por sentido . Calzada de 4 carriles por sentido: 6 calicatas por km por sentido	Las calicatas deben estar ubicadas longitudinalmente y en forma alternada.
Carreteras Duales o Multicarril: Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) entre 6000 y 4001 vehículos por día, caracterizadas por tener calzadas separadas, cada una equipada con mínimo 2 carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	. Calzada de 2 carriles por sentido: 4 calicatas por km por sentido . Calzada de 3 carriles por sentido: 4 calicatas por km por sentido . Calzada de 4 carriles por sentido: 6 calicatas por km por sentido	
Carreteras de Primera Clase: Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) entre 4000 y 2001 vehículos por día, que consisten en una sola calzada con dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	4 calicatas por km	
Carreteras de Segunda Clase: Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) entre 2000 y 401 vehículos por día, que constan de 2 carriles en una sola calzada.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	3 calicatas por km	Las calicatas deben estar ubicadas longitudinalmente y de modo alternado.
Carreteras de Tercera Clase: Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) entre 400 y 201 veh./día, que constan de 2 carriles en una sola calzada.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	2 calicatas por km	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) igual o inferior a 200 Veh./día, que constan de 1 sola calzada	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	1 calicata por km	

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

La cantidad de calicatas mostrado en la tabla 1 es aplicable a la construcción de nuevos pavimentos, así como a la mejora y reconstrucción. Para estudios de factibilidad, se debe realizar la cantidad de calicatas señalado en la tabla 1, sin embargo, deben estar separadas cada 2 km en lugar de un kilómetro. Por otro lado, para desarrollar estudios a nivel de perfil, se debe utilizar datos secundarios disponibles en el tramo del proyecto. Si no hay datos secundarios, se realizarán calicatas separadas cada 4 km en lugar de cada km. Para el mejoramiento o reconstrucción de pavimentos, se considerarán los datos de las medidas deflectométricas y de la sectorización homogénea del comportamiento, realizando al menos cuatro calicatas por sector homogéneo. Estas calicatas se ubicarán en los puntos de máxima deflexión, deflexión característica, deflexión promedio y mínima deflexión.

Los ensayos y las calicatas realizados en los estudios de pre inversión, como la prefactibilidad o factibilidad, el perfil, deberán formar parte de la observación final, en tal sentido, en la etapa definitiva solo será necesario realizar calicatas y ensayos complementarios. Si el tramo tiene una longitud entre 500 m y 1 km, se realizarán las calicatas correspondientes a un kilómetro, según lo indicado en la tabla 1. Si se presentara el caso donde el tramo es menor a 500 metros, se realizará solamente la mitad de las calicatas señaladas. Si durante el avance del estacado se observan cambios significativos en el perfil de corte, en las formas del suelo, o la presencia de suelos irregulares, se ejecutarán más calicatas cada kilómetro, pero en puntos específicos para verificar estos cambios. También se evaluará la existencia de suelos expansivos, suelos orgánicos, el nivel freático y la ubicación de rellenos sanitarios en la zona, entre otros. En estos casos, las calicatas deberán ser excavadas con más profundidad para delimitar los sectores con subrasante insuficiente o inadecuada y

evaluar los materiales de estabilización o si requiere mejoramiento necesario, lo que requieren estudios geotécnicos sobre los asentamientos y estabilidad. El encargado deberá sustentar en su estudio, que la propuesta realizada Asegura permeabilidad, resistencia suficiente, estabilidad volumétrica, compresibilidad y durabilidad óptima.

Estos procedimientos también se deben realizar en terraplenes con alturas mayores a 5 m, donde los datos representativos obtenidos serán válidos solo para el sector correspondiente. Si se encontrara roca dura en el lugar del estudio, se aplicará según lo establece la norma en el manual de MTC E 101.

2.2.2.3. Registro de las muestras de excavación.

El MTC (2014), en su Manual de Carreteras, sección donde se detallan sobre los Suelos, Geología y Pavimentos sugiere sobre las muestras exploradas de cada calicata de la siguiente manera. En cada una de las auscultaciones a cielo abierto de las calicatas, se recogerán muestras las que representarán a los diferentes estratos. Estas muestras se rotularán con una tarjeta que indique la profundidad a la que se excavó, detallar el número de muestra, el número de y la ubicación en coordenadas UTM. Posteriormente, se colocarán en bolsas herméticas y se trasladarán al laboratorio de suelos. En las investigaciones de campo, se tiene que registrar detalladamente el espesor de todos los estratos del subsuelo, la distribución granular y el grado de compactación en el que se encuentran los materiales. Seguidamente se tienen que extraer material de la subrasante para ejecutar los ensayos de Módulo Resiliente (MR) o de CBR, correlacionándolos con ecuaciones de MR, según el tipo de carretera (ver tabla 2).

Para pavimentos nuevos, mejoramiento y rehabilitación, se seguirán los ensayos indicados en la tabla 2. En estudios de factibilidad, se duplicará la distancia entre ensayos, por ejemplo, para carreteras de tercera clase, en vez de realizar un CBR cada 2km, se debe realizar cada 4km. En estudios de perfil, se utilizará información secundaria disponible; si no existe, se triplicará la distancia entre ensayos, por ejemplo, para carreteras de segunda clase, en vez de realizar cada 1.5km, se debe realizar un CBR por cada 4.5 km. En proyectos donde se realizará el reforzamiento o la rehabilitación, se tendrán bastante énfasis en las medidas deflectométricas, realizando al menos dos CBR por sector homogéneo en puntos de máxima deflexión.

Los ensayos de MR o CBR realizados para llevar a cabo el desarrollo de estudios de preinversión serán parte del estudio definitivo, requiriéndose solo ensayos complementarios. Si el tramo es más corto que lo indicado en la tabla 2, la cantidad de ensayos señalada será la mínima.

Además, se pueden hacer ensayos in situ como el CBR tal como lo indica la norma MTC E 133-2000 y PDC, (Penetrómetro Dinámico de Cono), especialmente útiles en suelos finos o blandos. El número mínimo de estos ensayos debe ser igual a la cantidad de calicatas que se da a conocer en la tabla 1. Los ensayos de LWD (deflectómetro de impacto liviano) o ensayo SPT, (penetración estándar) se llevarán a cabo siguiendo los parámetros del Manual de Ensayos de Materiales del MTC y las normativas vigentes internacionales como el ASTM o AASHTO.

Tabla 2.*Cantidad de Ensayos MR y CBR*

Clase de Carretera	N° MR y CBR
Autopistas: Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) > 6000 vehículos por día y tienen calzadas separadas, cada mínimo 2 carriles	<ul style="list-style-type: none">) Para calzadas de 2 carriles por sentido: MR cada 3 km por sentido, CBR cada 1 km por sentido.) Para calzada de 3 carriles por sentido: MR cada 2 km por sentido, CBR cada 1 km por sentido.) Para calzada de 4 carriles por sentido: MR cada 1 km, CBR cada 1 km por sentido.
Carreteras Duales o Multicarril: Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) entre 6000 y 4001 vehículos por día, tiene calzadas separadas, cada una con un mínimo de 2 carriles.	<ul style="list-style-type: none">) Para calzadas de 2 carriles por sentido: MR cada 3 km y CBR cada 1 km por sentido.) Para calzadas de 3 carriles por sentido: MR cada 2 km y CBR cada 1 km por sentido.) Para calzadas de 4 carriles por sentido: MR cada 1 km y CBR cada 1 km por sentido.
Carreteras de Primera Clase: Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) entre 4000 y 2001 vehículos por día, tienen una sola calzada con 2 carriles.	<ul style="list-style-type: none">) Se realiza un MR cada 3 km y un CBR cada un km.
Carreteras de Segunda Clase: Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) entre 2000 y 401 vehículos por día, tienen una sola calzada con 2 carriles.	<ul style="list-style-type: none">) Se tiene que realizar un ensayo de CBR cada 1.5 km.) La necesidad de conocer los ensayos de MR, se debe basar en los términos de referencia, tras evaluar la zona donde se llevará acabo el estudio y la importancia de la obra.
Carreteras de Tercera Clase: Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) entre 400 y 201 vehículos por día, que tienen una sola calzada con dos carriles	<ul style="list-style-type: none">) Se debe realizar un ensayo de CBR cada 2 km.) La decisión de realizar ensayos de módulos de resiliencia se basará en los términos de referencia, evaluando la zona donde se llevará acabo el estudio y la importancia de la obra.
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: Con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) igual o inferior a 200 vehículos por día, presentan una sola calzada	<ul style="list-style-type: none">) Se debe realizar un CBR cada 3km.

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

2.2.2.4. Propiedades Físicas de la Subrasante

A continuación, se describen las pruebas a realizar a los suelos de la capa de subrasante para conocer sus parámetros físicos y mecánicos.

2.2.2.4.1. Clasificación de los suelos.

El MTC (2014) dice que las muestras recolectadas, tienen que ser caracterizados y clasificados según la metodología usada para la construcción de carreteras, la clasificación se debe realizar obligatoriamente por AASTHO y SUCS.

Braja M. (2012) sostiene que “Las formas de clasificar a los suelos, se realizan agrupandolos en diferentes categorías y subcategorías según características como la asignacion por tamaños de partículas y los límites de Atterberg”.

Para realizar la calificación del suelo por el sistema AASTHO, se hace uso de la tabla 3:

Tabla 3.

Sistema de clasificación de suelos de la AASTHO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra total pasa la malla núm. 200)						
	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Clasificación de grupo							
Análisis por mallas (% que pasa)							
Malla núm. 10	50 máx						
Malla núm. 40	30 máx	50 máx	51 mín				
Malla núm. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Para la fracción que pasa Malla núm. 40							
Límite líquido (LL)				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad (IP)	6 máx		No plástico	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipo usual de material	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Clasificación de la capa	Excelente a buena						
Clasificación general	Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)						
	A-4	A-5	A-6	A-7			
Clasificación de grupo				A-7-5 ^a A-7-6 ^b			
Análisis por mallas (% que pasa)							
Malla núm. 10							
Malla núm. 40							
Malla núm. 200	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín			
Para la fracción que pasa Malla núm. 40							
Límite líquido (LL)	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín			
Índice de plasticidad (IP)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín			
Tipo usual de material	Principalmente suelos limosos		Principalmente suelos arcillosos				
Clasificación subrasante	Regular a malo						

^aSi $IP \leq LL - 30$, la clasificación es A-7-5.
^bSi $IP > LL - 30$, la clasificación es A-7-6.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja M. (2012).

Según Braja M. (2012) dice que para evaluar cualitativamente si un suelo es conveniente como material de subrasante se debe tener presente lo siguiente:

El índice de grupo (IG) se emplea para conocer si una determinada muestra de suelo es adecuada o no como material para la estructura de la subrasante para caminos. Un valor más alto de IG indica un desempeño menos favorable del suelo como capa subrasante. Un IG que se encuentra en un rango a 20, da a conocer que la muestra es deficiente para este propósito.

Para calcular el IG se usa la ecuación siguiente:

Ecuación 1.

Índice de grupo.

$$IG=(F_{200}-35) [0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F_{200}-15) (IP-10)$$

Donde:

F_{200} = Es % pasa la malla N° 200, expresado en número entero.

LL = Es el límite líquido del suelo.

IP= Es el índice de plasticidad del suelo.

En el caso de los suelos clasificados en los grupos A-2-6 o A-2-7, la fórmula simplificada del IG es:

Ecuación 2.

Fórmula simplificada del Índice de grupo.

$$IG=0.01(F_{200}-15) (IP-10)$$

El valor del IG se tiene que redondear al número entero que se encuentre más cercano y se indica junto al grupo de suelo, denotado entre paréntesis. Por ejemplo, para A-4(5), A-4 es el grupo del suelo y (5) es el IG.

Para siguientes grupos A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4 y A-2-5, el IG siempre es cero.

Tabla 4.

Clasificación de suelos según su IG.

Índice de Grupo	Suelo de Sub rasante
IG > 9	Inadecuado
4 < IG 9	Insuficiente
2 < IG 4	Regular
1 < IG 2	Bueno
0 < IG 1	Muy Bueno

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

Por otro lado, para clasificar los suelos con SUCS, se utilizan símbolos y poder ser identificados:

Tabla 5.

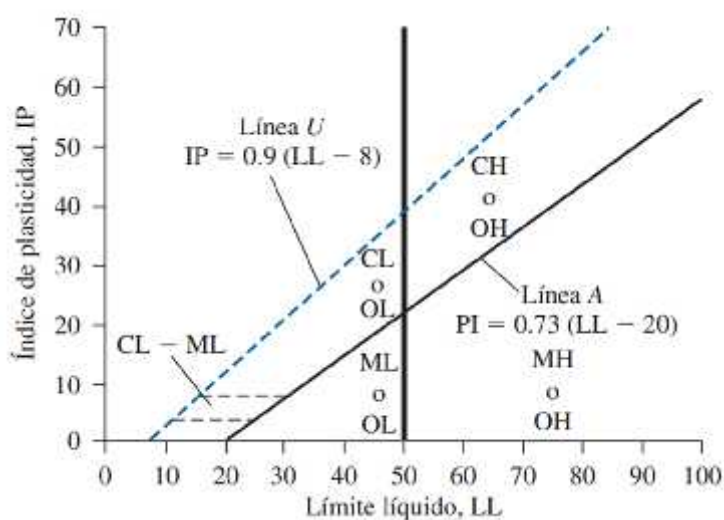
Símbolos para fines de identificación según SUCS.

Símbolo	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos orgánicos y arcilla	Turba y suelos altamente orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduado	Mal graduado

Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja M. (2012).

Figura 1.

Gráfica de plasticidad.



Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja M. (2012).

En la tabla 5 y figura 1, se puede observar el método para identificar los símbolos de grupo para diferentes clases de suelos. Si se evalúa un tipo de suelo, se proporcionará el nombre del grupo que detalla el suelo junto con su símbolo correspondiente. Los diagramas de flujo en las figuras 2,3 y 4 ilustran cómo generar la clasificación de los grupos para las muestras que contienen granos gruesos, suelos inorgánicos que contienen granos finos y suelos orgánicos de grano fino, respectivamente.

Tabla 6.

Práctica estándar para la clasificación de suelos (SUCS).

	Criterios para asignar símbolos y nombres de grupo utilizando pruebas de laboratorio ^a			Clasificación del suelo		
				Símbolo de grupo	Nombre de grupo ^b	
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en la malla núm. 200	Gravas Más de 50% de la fracción gruesa retenida en la malla núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	Grava bien graduada ^f	
		Menos de 5% finos ^d	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP	Grava mal graduada ^f	
		Gravas con finos Más de 12% finos ^d	Los finos se clasifican como ML o MH Los finos se clasifican como CL o CH	GM GC	Grava limosa ^{g,h,i} Grava arcillosa ^{g,h,i}	
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla núm. 4	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW	Arena bien graduada ^f	
		Menos de 5% finos ^d	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP	Arena mal graduada ^f	
		Arena con finos Más de 12% finos ^d	Los finos se clasifican como ML o MH Los finos se clasifican como CL o CH	SM SC	Arena limosa ^{g,h,i} Arena arcillosa ^{g,h,i}	
Suelos de grano fino 50% o más pasa la malla núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se encuentra en o arriba de la línea "A" ^j	CL	Arcilla de baja compresibilidad ^{k,l,m}	
			$IP < 4$ o se encuentra debajo de la línea "A" ^j	ML	Limo de baja compresibilidad ^{k,l,m}	
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o mayor	Orgánicos	Inorgánicos	$\frac{\text{Límite líquido—secado en horno}}{\text{Límite líquido—no secado}} < 0.75$	OL	Arcilla orgánica ^{k,l,m,n} Limo orgánico ^{k,l,m,n}
				IP se encuentra en o arriba de la línea "A" ^j	CH	Arcilla de alta compresibilidad ^{k,l,m,n}
		Orgánicos	Inorgánicos	IP se encuentra debajo de la línea "A" ^j	MH	Limo de alta compresibilidad ^{k,l,m,n}
				$\frac{\text{Límite líquido—secado en horno}}{\text{Límite líquido—no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla orgánica ^{k,l,m,p} Limo orgánico ^{k,l,m,q}
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica, de color oscuro y olor orgánico			PT	Turba	

^aCon base en el material que pasa la malla de 75 mm (3 in).

^bSi la muestra de campo contenía cantos rodados o piedra bola, o ambos, agregue "con cantos rodados o piedra bola, o ambos" al nombre de grupo.

^cGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: grava bien graduada con limo, GW-GM; grava bien graduada con arcilla, GW-GC; grava mal graduada con limo, GP-GM; grava mal graduada con arcilla, GP-GC.

^dArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: arena bien graduada con limo SW-SM; arena bien graduada con arcilla SW-SC; arena mal graduada con limo SP-SM; arena mal graduada con arcilla SP-SC.

$$C_u = D_{60}/D_{10} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

^eSi el suelo contiene $\geq 15\%$ de arena, agregue "con arena" al nombre de grupo.

^fSi los finos se clasifican como CL-ML, utilice el símbolo doble GC-GM o SC-SM.

^gSi los finos son orgánicos, agregue "con finos orgánicos" al nombre de grupo.

^hSi el suelo contiene $\geq 15\%$ de grava, agregue "con grava" al nombre de grupo.

ⁱSi los límites de Atterberg se encuentran en el área sombreada, el suelo es una arcilla limosa, CL-ML.

^jSi el suelo contiene 15 a 29% más la malla núm. 200, agregue "con arena" o "con grava," lo que predomine.

^kSi el suelo contiene $\geq 30\%$ más la malla núm. 200, predominantemente arena, agregue "arenoso" al nombre de grupo.

^lSi el suelo contiene $\geq 30\%$ más la malla núm. 200, predominantemente grava, agregue "gravoso" al nombre de grupo.

^mSi $IP \geq 4$ y se encuentra en o arriba de la línea "A."

ⁿSi $IP < 4$ o se encuentra debajo de la línea "A."

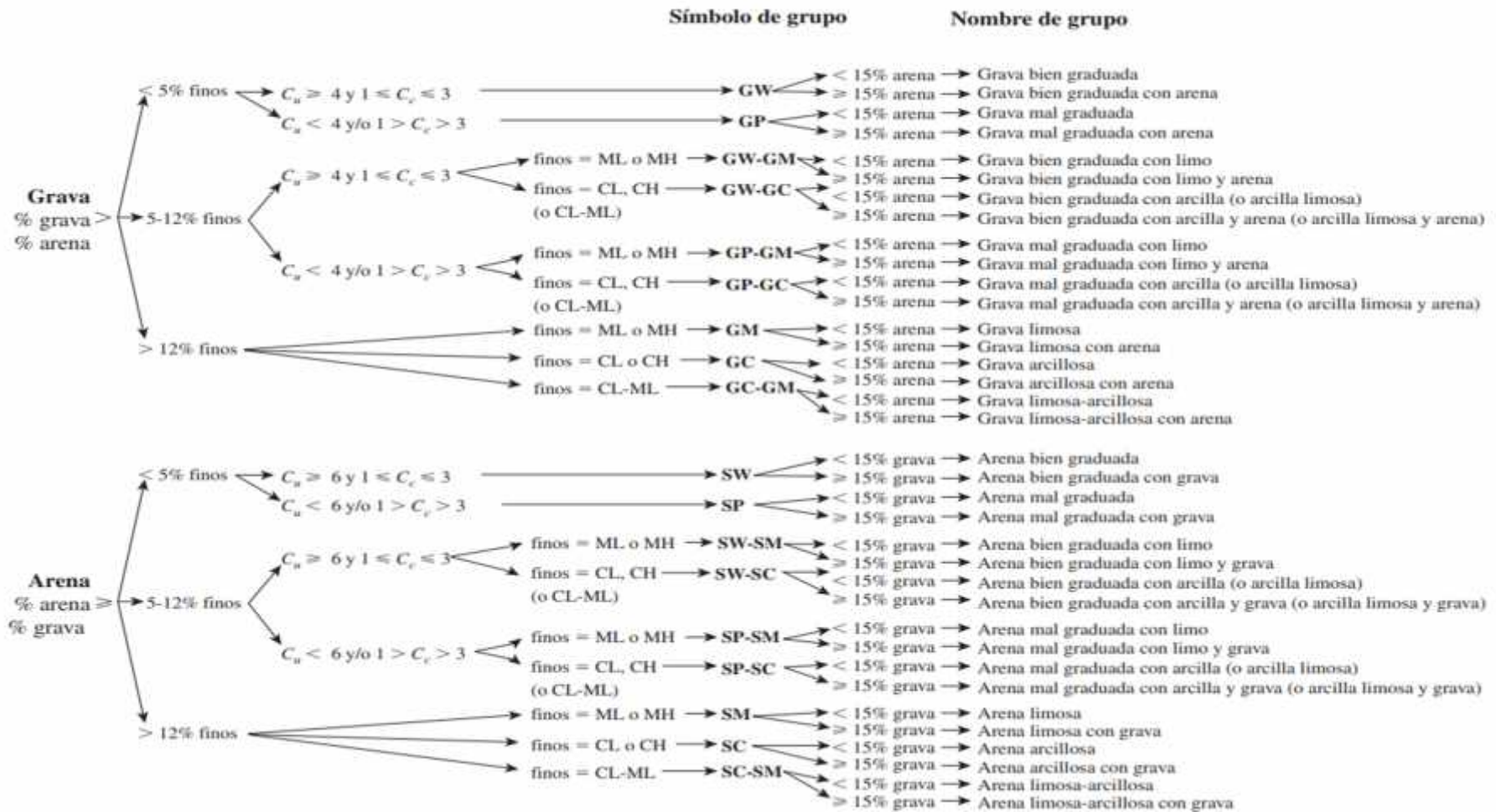
^oSi IP se encuentra en o arriba de la línea "A."

^pSi IP se encuentra debajo de la línea "A."

Fuente: ASTM, 2009 y ASTM D2487-98

Figura 2.

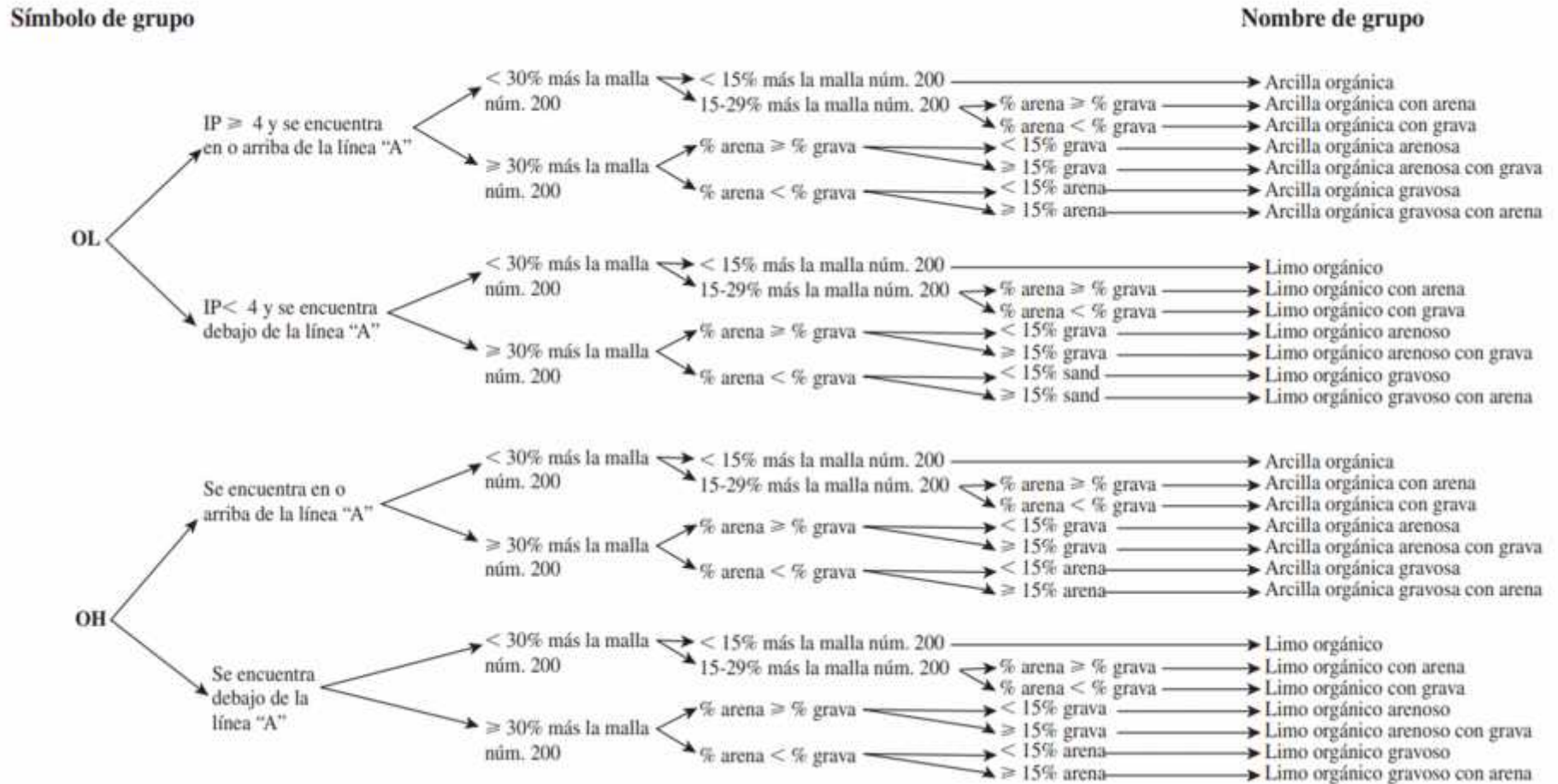
Diagrama de flujo para clasificar suelos de grano grueso (más de 50% retenido en la malla número N° 200)



Fuente: ASTM, 2009 y ASTM D2487-98

Figura 4.

Diagrama de flujo para clasificar suelos orgánicos de grano fino (50% o más pasa la malla núm. 200)



Fuente: ASTM, 2009 y ASTM D2487-9

2.2.2.4.2. Descripción del perfil estratigráfico.

En el MTC (2014) se encuentran signos convencionales tanto AASHTO como SUCS, para describir y clasificar los perfiles de las calicatas. A continuación se detallan figuras con los signos y sus características según la clase de la capa del suelo.

Figura 5.

Signos convencionales para perfiles de calicatas según la clasificación AASHTO.

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		Materia Orgánica
	A-2-6		Roca Sana
	A-2-7		Roca Desintegrada
	A-4		

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

Figura 6.

Signos convencionales para perfiles de calicatas según la Clasificación SUCS

	Grava bien graduada, mezcla de grava con poco o nada de materia fina, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal graduada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo orgánico de plasticidad baja o mediana, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico
	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa		
	Arcilla orgánica de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico		
	Turba, suelo considerablemente orgánico		

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

2.2.2.4.3. Granulometría.

Valle (1968) indica que el análisis granulométrico, también conocido como análisis mecánico de suelos, se utiliza para determinar las porciones de arcilla, limo, arena, grava y piedra de un espécimen de suelo de manera porcentual. Para materiales granulares, las porciones de piedra, grava y arena se determinan de manera sencilla con tamices. Sin embargo, si en el suelo se observa una presencia significativa de fracciones finas (limo y arcilla), es necesario emplear métodos basados en el principio de sedimentación.

El MTC (2014) define los tipos de suelos de acuerdo a la dimension de sus partículas.

Tabla 7.

Clasificación de suelos según Tamaño de partículas.

Clases de suelos		Tamaño de las Partículas
	Grava	Entre 75 mm a 4.75 mm
	Arena	gruesa: entre 4.75 mm – 2.00 mm media: entre 2.00 mm – 0.425mm fina: entre 0.425 mm – 0.075 mm
Material	Limo	Entre 0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

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

2.2.2.4.4. La Plasticidad.

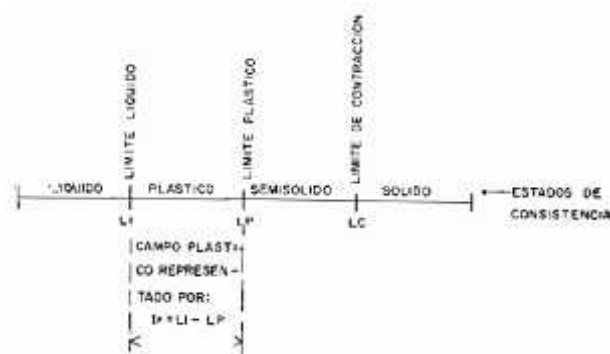
MTC (2014), Es la característica de consistencia que presenta un suelo hasta llegar a un determinado contenido de humedad que sería el límite donde no presente disgregación y esto se debe a su granulometría finos, mas no a los granos gruesos. Por ello, el análisis granulométrico no puede determinar esta propiedad, siendo necesario utilizar los Límites de Atterberg. Esta propiedad muestra cómo varían las

características del suelo con el porcentaje de humedad, diferenciando tres estados de consistencia que son:

- Límite Líquido (LL): transición de su estado semilíquido hasta alcanzar un estado plástico, el suelo se vuelve moldeable.
- Límite Plástico (LP): paso de su estado plástico hasta alcanzar un estado semisólido, el suelo se rompe.
- Límite de Contracción (LC): paso de su estado semisólido hasta llegar a un estado sólido, el suelo al reducir la humedad, deja de contraerse.

Figura 7.

Representación gráfica de límites de consistencia.



Fuente: Principios Generales de la Mecánica de Suelos aplicados a la Pavimentación (Valle, 1968).

El índice de plasticidad está definido como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico (LL -LP), esto nos muestra el rango de humedades en el que la muestra es o no plástica. Un índice de plasticidad alto señala que la muestra de suelo es muy arcilloso, por otro lado si el índice de plasticidad es bajo, indica una muestra de suelo de poca arcilla.

Ecuación 3.

Índice de plasticidad.

$$IP = LL - LP$$

Según el rango del IP, un suelo se clasifica como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 8.*Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad*

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
IP mayor a 20	Alta	La muestra es muy arcillosa
IP menor o igual 20	Media	La muestra es arcillosa
IP mayor a 7		
IP menor a 7	Baja	La muestra es poco arcillosa
		plasticidad
IP igual a 0	No Plástico (NP)	La muestra no contiene arcilla

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

La cantidad elevada de arcilla en una muestra de suelo puede ser riesgosa para su estabilidad y el desempeño de estructuras de pavimento, es porque presenta una alta sensibilidad al agua.

2.2.2.4.5. Equivalente de Arena.

Este ensayo, se utiliza para medir la proporción de limo fino o suelo arcilloso presente en agregados finos, de acuerdo con el método MTC E114. Aunque este ensayo es menos preciso que el cálculo de los Límites de Consistencia ofrece resultados comparables y se caracteriza por la rapidez y sencillez al realizarlo. El dato obtenido de EA proporciona una indicación de la plasticidad de la muestra, MTC (2014).

Tabla 9.*Clasificación de Suelos según el Equivalente de Arena.*

Equivalente de Arena (EA)	Característica
EA > 40	Se trata de un suelo arenoso, no plástico.
40 > EA > 20	Se trata de un suelo con poca plasticidad y no heladizo.
EA < 20	Se trata de un suelo arcilloso y plástico.

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

2.2.2.4.6. *Humedad Natural.*

Es una de las propiedades de los suelos, especialmente para los suelos de subrasante, ya que su resistencia está relacionada de forma directa con los niveles de densidad y humedad. Con la guía del ensayo MTC E 108, se puede conocer el porcentaje de humedad natural del suelo y compararla con la humedad óptima la cual se obtiene en los ensayos Proctor modificado o estándar según sea el caso, este resultado servirá para calcular el CBR (ensayo MTC E 132). Si se diera el caso que el porcentaje de humedad natural es menor o igual al contenido óptimo de humedad, se sugiere una compactación tradicional del suelo y la adición de la porción adecuada del agua. Por otro lado, si el porcentaje de humedad natural es mayor a la humedad óptima calculada, dependiendo del estado de saturación del suelo, se podría subir la energía con la que se compacta, otra técnica sería remover el suelo para secar al aire o también reemplazar el material saturado por otro con mejor característica MTC (2014).

2.2.2.5. Propiedades Mecánicas de la Subrasante

2.2.2.5.1. *Compactación de Suelos.*

Un suelo está compuesto por partículas de diversos tamaños y formas, con espacios intergranulares llamados vacíos, que pueden llenarse de aire, agua, o ambos. Cuando el suelo está en un estado suelto, ocupa más volumen debido a la mayor cantidad de vacíos. Sin embargo, al comprimir o compactar el suelo, se reduce el volumen total debido a la disminución de los vacíos. Este proceso de compresión se conoce como compactación, Valle (1968).

La compactación del suelo proporciona varias ventajas:

- a) Se crea un contacto mucho más resistente entre las partículas.

- b) Los granos más pequeños se llenan a los espacios entre las partículas más grandes.
- c) Un suelo compacto tiene un mayor valor de soporte, por ende, dicho suelo es mucho más estable.
- d) Los granos quedan firmemente compactadas, aumentando la densidad del suelo y reduciendo al mínimo el volumen de vacíos, lo que disminuye de manera significativa la capacidad del suelo para absorber agua.

Para llegar a una adecuada lubricación y reducir la resistencia a la fricción entre partículas durante la compactación, es crucial controlar la cantidad de agua.

Por lo tanto, es esencial calcular correctamente la proporción de agua, conocida como contenido óptimo de agua, en consecuencia, se podrá alcanzar la máxima densidad posible del suelo al compactarlo.

Para conocer los datos humedad óptima y la máxima densidad seca, se realizará como se muestra en el ensayo del Proctor modificado o estándar según sea el caso y de acuerdo a las normas (ASTM D1557; MTC E115).

2.2.2.5.2. Ensayos CBR.

A partir de la clasificación de los suelos por AASHTO y SUCS, el MTC (2014) sugiere desarrollar un perfil estratigráfico los tramos de estudio o sectores homogéneos. Dada este perfil, se establecerá la cantidad de pruebas para determinar el CBR (California Bearing Ratio), lo cual indica la medida que refleja la capacidad de soporte o resistencia de la muestra del suelo ensayado. Este valor será presentado como el 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de 2.54mm con el pistón de carga.

Si se quiere conocer el valor de diseño del CBR de la capa de subrasante, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

En tramos donde se realizaron un mínimo de seis ensayos de CBR por cada tipo de muestra representativa o por sección de propiedades homogéneas, se calculará el valor de CBR de diseño, promediando todos los valores analizados en el sector correspondiente.

En los sectores donde se realizaron menor a seis ensayos de CBR desarrollados por tipo de muestra representativa o por sección de propiedades homogéneas, se calculará el valor de CBR de diseño según los criterios a continuación:

Se deberá tomar el promedio de los valores siempre y cuando estos sean similares y si no, se debe tomar el valor crítico. En caso necesario, se subdividirá el tramo para agrupar en subtramos con valores de CBR parecidos y poder definir un promedio que representará el CBR de diseño. La longitud o tramo mínimo de los subsectores tendrá que ser de 100 m.

Luego de obtener el valor del CBR de diseño, en cada tramo de propiedades similares, se tiene que clasificar según categorías como muestra la tabla 10:

Tabla 10.

Categorías de Sub rasante

Categorías de Subrasante	CBR
S0: Inadecuada	CBR < 3%
S1: insuficiente	3% CBR < 6%
S2: Regular	6% CBR < 10%
S3: Buena	10% CBR < 20%
S4: Muy Buena	20% CBR < 30%
S5: Excelente	CBR 30%

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

2.3. Definición de Términos

2.3.1. Mineralogía

Es una disciplina de la geología que se dedica a analizar los parámetros físicos y químicos de los minerales presentes en toda la tierra, es decir se encargan de analizar en sus distintos estados de agregación.

2.3.2. Suelos

Crespo (2004) define a los suelos como un “Conjunto de partículas de origen mineral, que son resultado de la descomposición química o la desintegración mecánica de rocas existentes”

2.3.3. Calicata

Son excavaciones realizadas mediante métodos convencionales o mecánicos, la cual da lugar a la observación directa de un suelo, a una determinada profundidad, también permite la colección de un suelo representativas y el desarrollo de ensayos en campo (Obanto, 2009).

2.3.4. Grava

Según Crespo (2024), afirma que “las gravas son fragmentos de rocas las cuales están acumuladas de forma suelta y tienen más de 2 mm de diámetro”.

2.3.5. Arena

Crespo (2004) dice que “ La arena está referida a los suelos de granos finos derivados de la descomposición de rocas o de la molienda artificial de estas, el grano de estos materiales tienen un diámetro que varía entre 2 mm y 0.05 mm ”.

2.3.6. Limo

Son materiales de granulometría finos que presentan poca o nada de plasticidad, estas pueden ser limos inorgánicos producto de las canteras, o limo orgánico degradados o producido de manera natural que se encuentran en los ríos, cabe señalar que los limos encontrados en los ríos muestran propiedades plásticas. La medida del diámetro de estos suelos está comprendida entre 0.05mm y 0.005mm (Crespo, 2004).

2.3.7. Arcilla

Recibe la denominación de arcilla a los suelos con granos de dimensiones menores a 0.005 mm, y al ser mezclada con agua tiende a volverse plástica. Químicamente es considerado como un silicato de alúmina hidratado, por otro lado también pueden contener magnesios hidratados y/o silicatos de hierro (Crespo, 2004).

2.3.8. Estabilización

El MTC (2014) conceptualiza a “la estabilización de suelos como la mejora de las características tanto físicas y mecánicas de una capa de suelo mediante procesos mecánicos y adición de productos sintéticos, naturales o químicos, que actúan como ligantes”.

2.3.9. Carretera

Es una vía destinada al uso de vehículos que presentan un mínimo de 2 ejes, cuenta con características geométricas que están de acuerdo a las normativas vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, las características referidas son: la pendiente longitudinal, transversal, sección transversal, superficie de rodadura, etc, (DG-2018).

2.4. Marco Normativo.

Tabla 11.

Marco Normativo

TÍTULO	NORMATIVA	DESCRIPCIÓN
Manual de Carreteras: sección Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos	Resolución Directorial N°10-2014-MTC/14	Establece las directrices que regulan las normas técnicas de diseño, de construcción y de mantenimiento de caminos, carreteras y vías en zonas urbanas.
Manual de Ensayo de Materiales	Resolución Directorial N°18-2016-MTC/14	El propósito es establecer un estándar para los métodos y procedimientos utilizados en los ensayos de laboratorio y campo de los materiales empleados en proyectos de infraestructura vial.
Ensayo para el Muestreo de Suelos y Rocas	ASTM D 420	Definir los métodos correctos para tomar muestras de suelos y rocas, facilitando así la correlación de estos datos con las propiedades del suelo.
Ensayo Para Determinar El Contenido De Humedad Natural De Un Suelo	NTP 339.127	Define los pasos para calcular el contenido de humedad en una muestra de suelo o roca mediante métodos gravimétricos.
Ensayo Para Análisis Granulométrico	NTP 339.128	Define los métodos para categorizar el tamaño de las partículas que componen un suelo.
Ensayo para conocer los Límites de Atterberg	NTP 339.129	Establece los métodos para calcular los límites de consistencia de una muestra de suelo.
Ensayo para la Clasificación de Suelos	NTP 339.134	Establece las directrices para clasificar un suelo según uso, conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
Ensayo para Establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio (Proctor Modificado)	NTP 339.141	Muestra el proceso de compactación de suelos en Laboratorio, con la finalidad de conocer el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca e identificarlo en la curva de compactación.
Ensayo para conocer el CBR (California Bearing Ratio)	NTP 339.145	Define el método de ensayo para conocer el índice de resistencia de los suelos, también conocido como valor de la relación de soporte.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

III. Materiales y Métodos

3.1. Enfoque de investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo porque se estudió a sus variables e indicadores de forma objetiva, registrando sus valores mediante el uso de herramientas para la recopilación de datos.

3.2. Método De Investigación

3.2.1. *Tipo de Investigación.*

Es de carácter **aplicada** ya que con los conocimientos adquiridos se identificó los comportamientos físicos y mecánicas de la muestra de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco según el porcentaje de adición del relave minero.

3.2.2. *Niveles de investigación.*

Es **descriptivo**, es decir, describe las propiedades iniciales de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco y; así como también las características finales del resultado luego de ser adicionado el relave minero.

3.2.3. *Diseño de Investigación*

La investigación es experimental, de tipo **cuasi experimental**, es decir se llevó a cabo la manipulación directa de los porcentajes del relave minero (variable independiente) para identificar los parámetros físicos y mecánicos de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco.

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

La población es finita, es decir, está delimitada por la zona de estudio; el camino vecinal de Cotaparaco.

3.3.2. Muestra

La muestra está representada por el material granular obtenido del trayecto de 5km del camino vecinal de Cotaparaco, desde el Km 40+000 al Km 45+000; y muestras del relave minero de Ticapampa, los cuales en combinación de estos materiales se analizó su comportamiento físico mecánico mediante ensayos de laboratorio y campo.

3.4. Unidad de Análisis

La variable de interés es el estudio de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco y del relave minero de Ticapampa, así como también las combinaciones de estos materiales.

3.4.1. Ubicación de la Sub rasante

Figura 8.

Ubicación del camino vecinal de Cotaparaco



Departamento : Áncash

Provincia : Recuay
Distrito : Cotaparaco

3.4.2. *Ubicación del Relave minero*

Figura 9.

Ubicación del relave minero



Departamento : Áncash
Provincia : Recuay
Distrito : Ticapampa.

3.5. Variables

3.5.1. *Variables Independientes*

Adición de relave minero en la capa de la subrasante del camino vecinal Cotaparaco.

3.5.2. *Variables Dependientes*

Comportamiento físico-mecánico de la capa de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco.

3.5.3. *Matriz de consistencia*

Tabla 12.

Matriz de consistencia.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
Problema Principal	Objetivo General		
¿Cuál será el comportamiento físico-mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay – 2023?	Conocer y evaluar el comportamiento físico mecánico de la subrasante al adicionar relave minero en el camino vecinal del distrito de Cotaparaco, provincia de Recuay, Áncash 2023.		Adición de relave minero en la capa de la subrasante del camino vecinal Cotaparaco.
			INDEPENDIENTE
Problemas Secundarias	Objetivos específicos		
¿Cuáles son las propiedades físico y químicas del relave minero, quien actúa como agente estabilizante para la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023?	Identificar las características físico y químicas del relave minero como agente estabilizante para la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023	Si se adiciona relave minero en la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco,	
			DEPENDIENTE

<p>¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023?</p>	<p>Identificar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.</p>	<p>entonces mejorará el comportamiento físico-mecánico, en el Distrito de Cotaparaco-Recuay-Ancash</p>	<p>Comportamiento físico-mecánico de la capa de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco</p>
<p>¿Cuáles serán las propiedades físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal al adicionar el 10%, 20% y 30% en peso de relave minero, en comparación al estado inicial de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023?</p>	<p>Analizar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal al adicionar 10%, 20% y 30% en peso de relave minero en comparación al estado inicial de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023</p>	<p>2023.</p>	
<p>¿Cuál es el comportamiento físico-mecánico al adicionar el porcentaje óptimo de relave minero en un tramo de prueba en la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023?</p>	<p>Calcular el óptimo porcentaje de adición de relave minero a la subrasante y evaluar su comportamiento físico-mecánico en el camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.</p>		

3.5.4. Operacionalización de variables.

Tabla 13.

Operacionalización de Variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES	DIMENSIÓN DE VARIABLES	INDICADORES	MÉTODOS	UNIDAD DE MEDIDA	
INDEPENDIENTE	Adición de relave minero en la capa de la subrasante del camino vecinal Cotaparaco..	El relave es un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras, luego de procesar y recuperar el material de interés, del cual el residuo de este se denomina "relave". (Servicio Nacional de Geología y Minería [SERNAGEOMIN], s.f.)	El relave minero será utilizado como un agente estabilizante de la subrasante del camino vecinal Cotaparaco, se definirá las propiedades físicas y químicas.	Propiedades físicas	Muestreo	ASTM D420 MTC E 101	unidades de puntos
					Contenido de humedad	ASTM D2216 MTC E 108	% de humedad
					Análisis granulométrico	ASTM D422 MTC E107	% acumulado retenido en cada tamiz
					Límites de Atterberg	ASTM D4318 MTC E110/111	% de humedad
					Clasificación de Suelos	ASTM D2487	códigos
					Mineralogía	Espectrometría de emisión atómica (ICP-OES)	mg/kg

DEPENDIENTE	Comportamiento físico-mecánico de la capa de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco	El comportamiento físico de la subrasante son aquellas características visibles que presentan en su estructura, mientras que las propiedades mecánicas se evidencian al aplicar fuerza.	Se evaluará el comportamiento físico-mecánico de la capa de la subrasante del camino vecinal Cotaparaco, con la adición del 10%, 20% y 30% en peso de relave minero, con la finalidad de obtener un porcentaje óptimo donde las características de la subrasante sean mejoradas.	Propiedades físicas	Muestreo	ASTM D420	unidades de puntos
					Contenido de humedad		% de humedad
					Análisis granulométrico	ASTM D422 MTC E107	% acumulado retenido en cada tamiz
					Límites de Atterberg	ASTM D4318 MTC E110/111	% de humedad
					Clasificación de Suelos	ASTM D2487	códigos
					Peso específico Proctor Modificado	MTC E 206 ASTM D1557	g/cm3 MDS (g/cm3)
	Propiedades mecánicas				ASTM D1883	OCH (%) %	
						CBR (California Bearnig Ratio)	

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Identificar las características físico y químicas del relave minero como agente estabilizante, de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.

- **Técnicas.**

Ensayos de laboratorio

- **Instrumentos.**

MTC E 105 – Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo).

MTC E 107 – Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

MTC E 108 – Determinación del contenido de humedad de un suelo.

MTC E 110 – Determinación del límite líquido de los suelos.

MTC E 111 – Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)

ASTM D2487 – Clasificación de suelos

ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ATÓMICA POR PLASMA

INDUCTIVAMENTE ACOPLADO (ICP-OES)

Según lo dispuesto en las Normativas del manejo de la Infraestructura Vial Nacional (Decreto Supremo N°034-2008-MTC), estos instrumentos son un componente esencial del conjunto de herramientas estipuladas en el "Manual de Ensayos de Materiales". Este manual es una de las publicaciones técnicas normativas aplicables en el Perú y que deben cumplir los organismos nacionales, regionales y locales encargados de la gestión sobre la infraestructura vial.

3.6.2. Identificar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.

- **Técnicas.**

Ensayos de laboratorio

- **Instrumentos.**

MTC E 105 – Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo).

MTC E 107 – Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

MTC E 108 – Determinación del contenido de humedad de un suelo.

MTC E 110 – Determinación del límite líquido de los suelos.

MTC E 111 – Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)

ASTM D2487 – Clasificación de suelos

MTC E 115 – Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado).

MTC E 132 – CBR de suelos (Laboratorio).

Según lo dispuesto en las Normativas del manejo de la Infraestructura Vial Nacional (Decreto Supremo N°034-2008-MTC), estos instrumentos son un componente esencial del conjunto de herramientas estipuladas en el "Manual de Ensayos de Materiales". Este manual es una de las publicaciones técnicas normativas aplicables en el Perú y que deben cumplir los organismos nacionales, regionales y locales encargados de la gestión sobre la infraestructura vial.

3.6.3. *Analizar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal al adicionar 10%, 20% y 30% en peso de relave minero en comparación al estado inicial de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023*

- **Técnicas.**

Ensayos de laboratorio

- **Instrumentos.**

MTC E 105 – Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo).

MTC E 107 – Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

MTC E 108 – Determinación del contenido de humedad de un suelo.

MTC E 110 – Determinación del límite líquido de los suelos.

MTC E 111 – Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)

ASTM D2487 – Clasificación de suelos

MTC E 115 – Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado).

MTC E 132 – CBR de suelos (Laboratorio).

Según lo dispuesto en las Normativas del manejo de la Infraestructura Vial Nacional (Decreto Supremo N°034-2008-MTC), estos instrumentos son un componente esencial del conjunto de herramientas estipuladas en el "Manual de Ensayos de Materiales". Este manual es una de las publicaciones técnicas normativas aplicables en el Perú y que deben cumplir los organismos nacionales, regionales y locales encargados de la gestión sobre la infraestructura vial.

3.6.4. *Calcular el óptimo porcentaje de adición de relave minero a la subrasante y evaluar su comportamiento físico-mecánico en el camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.*

- **Técnicas.**

Método de análisis de los datos recolectados del laboratorio.

- **Instrumentos.**

Programa Microsoft Office (Excel, Word)

3.7. Procedimientos

A continuación, se muestran los procedimientos llevados a cabo para abordar cada objetivo de la investigación. Cada objetivo se subdividió en tres etapas distintas, en primer lugar, se realizó la investigación en campo para recolectar muestras representativas del suelo. Posteriormente se pasó a la etapa de pruebas en el laboratorio, para conocer las propiedades y características con el análisis detallado de cada muestra. Finalmente se realizó un trabajo de gabinete para resolver cada objetivo propuesto.

3.7.1. Identificar las características físico y químicas del relave minero como agente estabilizante, de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.

3.7.1.1. Investigación en campo

Se realizó el muestreo del relave minero a cielo abierto siguiendo las directrices de la guía internacional ASTM D 420 y MTC E101, como se muestra a continuación:

- Se identificó el área de interés, ubicado en el distrito de Ticapampa.
- Se seleccionó el punto de muestreo de manera más crítica, subrasante en mal estado visualmente y evitando que la muestra sea contaminada por actividades humanas en el lugar.
- Se utilizó herramientas manuales, como el pico, palana y barreta con la finalidad de excavar y para recolectar la muestra.
- Se almacenó la muestra necesaria en un contenedor libre de contaminación y hermético para evitar que la muestra se contamine en el transporte hacia el laboratorio.

3.7.1.2. Ensayos de laboratorio.

En esta etapa, la muestra del relave minero fue sometida a ensayos en el laboratorio.

Con el objetivo de conocer sus características físicas se llevaron a cabo las pruebas de contenido de humedad natural, análisis granulométrico, límites de consistencia, clasificación de suelos y gravedad específica. Por otro lado, para conocer las propiedades químicas, fue sometido a Espectrometría de emisión atómica por plasma inductivamente acoplado. A continuación, se detalla cada ensayo.

3.7.1.2.1. Contenido de humedad natural (ASTM D2216; MTC E 108).

Usando la muestra de relave minero de Ticapampa, se llevó a cabo la prueba de contenido de humedad natural, cumpliendo los lineamientos de las guías internacionales ASTM D2216 y MTC E 108 de la siguiente manera.

- Se realizó un pesado inicial del recipiente o tara y se registró como w1.
- La muestra de 150g aproximadamente se colocó a la tara y se pesó, registrando una masa combinada de w2.
- Con la muestra en el recipiente o tara, se colocó a la estufa eléctrica a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- La muestra se colocó un periodo de alrededor de 12 a 16 horas, hasta que sea totalmente seco.
- Pasada el tiempo en horno eléctrico, se procedió a retirar la muestra y se puso a enfriar para luego realizar el registro w3, del peso final de la tara más suelo seco.
- Finalmente, se aplica la ecuación para calcular el contenido de humedad natural.

3.7.1.2.2. Análisis granulométrico (ASTM D422; MTC E107).

- Se realizó el secado de un aproximado de 950g de relave minero en el horno a una temperatura de $110 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$.

- Se ensambló de manera decreciente los tamices según el MTC E 107, 4.2.2, donde muestra una tabla con las aberturas a utilizar.
- La muestra de relave minero, luego de ser secado se agregó a la serie de tamices ordenados y se agitó de manera que se separaron los granos.
- Se llevó a pesar individualmente las muestras que se retuvieron en cada tamiz.
- Se calculó las proporciones en porcentaje de material que pasó por cada tamiz y se graficó porcentaje que pasa versus abertura en mm.

3.7.1.2.3. Límites de Atterberg (ASTM D4318; MTC E110/111).

Al ser un suelo granular, no presentó límites de Atterberg.

3.7.1.2.4. Clasificación de suelos (ASTM D2487).

Se desarrolló la clasificación por tipo de suelos según los sistemas de clasificación AASTHO y SUCS de la muestra de relave minero. Para lo cual se utilizaron los resultados del análisis granulométrico y las tablas 3 y 4 para clasificar en el sistema AASTHO, y las tabla 5,6, figuras 1,2,3 y 4 para clasificar en el sistema SUCS.

3.7.1.2.5. Análisis Químico del Relave Minero.

Se preparó la muestra, se seleccionó y se aseguró almacenando en una bolsa hermética para su traslado, sin alterarla.

Se realizó el análisis físico químico y análisis de metales pesados, por la empresa “Laboratorio Físico Químico Ambiental Perú S.A.C.” y debido a la naturaleza de los procedimientos se usó la técnica ICP-OES (Espectrometría de emisión atómica por plasma inductivamente acoplado), y se nos proporcionó los resultados, cabe destacar que la empresa siguió normas y estándares reconocidos lo que nos garantizó la fiabilidad de los resultados.

3.7.2. Identificar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.

3.7.2.1. Investigación en campo

Las prospecciones de exploración se hicieron siguiendo las directrices de las normas técnicas ASTM D 420 y MTC E101, ya que establecen procedimientos estandarizados para garantizar una muestra representativa y la fiabilidad en los resultados, por lo tanto, se procedió con lo siguiente.

- Se identificó el tramo de interés, ubicado en el camino vecinal Cotaparaco, desde el km 40+000 hasta el km 45+000 siendo un total de 5km.
- Se seleccionaron las 5 áreas de muestreo las que se encuentran ubicadas en toda la longitud de los 5 km y de forma alternada, se siguió lo indicado en el Manual de carreteras del MTC 2014, cuadro 4.1.
- Se inició con la prospección en campo a cielo abierto mediante la excavación de calicatas las que fueron exploradas con un mínimo de 1.50m de profundidad, para ello se utilizó herramientas manuales como el pico, pala y barreta.
- Se almacenó la muestra necesaria en un contenedor libre de contaminación y hermético para evitar que la muestra se contamine en el transporte hacia el laboratorio.
- Se identificó y etiquetó cada muestra para evitar confusión.
- Finalmente se realizó registros fotográficos de cada punto de exploración.

3.7.2.2. Ensayos en laboratorio.

En esta etapa, la muestra de la subrasante fue sometida a ensayos en el laboratorio. Con el objetivo de determinar sus características físicas se llevaron a cabo las pruebas de contenido de humedad natural, análisis granulométrico, límites de consistencia, clasificación de suelos y gravedad específica. Por otro lado, para conocer las propiedades mecánicas se hizo

el ensayo de Proctor modificado y California Bearnig Ratio (CBR). Seguidamente, se detalla el procedimiento de cada ensayo.

3.7.2.2.1. Contenido de humedad natural (ASTM D2216; MTC E 108).

Usando la muestra de relave minero de subrasante, se llevó a cabo la prueba de contenido de humedad natural, cumpliendo los lineamientos de la guía internacional ASTM D2216 y MTC E 108 de la siguiente manera.

- Se realizó un pesado inicial del recipiente o tara y se registró como w1.
- La muestra de 200g aproximadamente se colocó a la tara y se pesó, registrando una masa combinada de w2.
- Con la muestra en el recipiente o tara, se colocó a la estufa eléctrica a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- La muestra se colocó un periodo de alrededor de 12 a 16 horas, hasta que sea secado totalmente.
- Pasada el tiempo en horno eléctrico, se procedió a retirar la muestra y se puso a enfriar para luego realizar el registro w3, del peso final de la tara más suelo seco.
- Finalmente, de aplica la ecuación 4, para calcular el contenido de humedad natural.

Ecuación 4.

Cálculo del contenido de humedad (w%)

$$w(\%) = \frac{w2 - w3}{w3 - w1} \times 100$$

3.7.2.2.2. Análisis granulométrico (ASTM D422; MTC E107).

- De la investigación en campo, se obtuvo una muestra representativa de aproximadamente 5000g y se colocó al horno eléctrico por 12 a 16 horas y una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Se pesó la muestra con la balanza, fue considerado como inicial.
- Se inició el lavado de la muestra con agua corriente con la finalidad de separar los granos que pasan por el tamiz N°200. Se aseguró que toda la parte fina del material pase a través del tamiz.
- El material retenido en el tamiz N°200 se pasó a secar en el horno eléctrico a 110 ± 5 °C, un periodo de entre 12 a 16 horas.
- Se seleccionó la serie de tamices según el MTC E 107, 4.2.2, donde muestra una tabla con las características de los tamices.
- Se apiló la serie de tamices de manera decreciente y se colocó la muestra lavada y seca.
- Se agitó mecánicamente durante un tiempo adecuado para separar las partículas a través de todas las aberturas de los tamices.
- Se anotó el peso del suelo retenido los tamices según corresponda.
- Para la evaluación de los resultados, se calculó el porcentaje del material retenido los tamices y el porcentaje de suelo que para a través de cada tamiz.
- Finalmente se elabora un cuadro con los datos obtenido y se genera una gráfica de la curva granulométrica que muestra el % que pasa en cada tamiz versus las aberturas en mm de cada tamiz.

3.7.2.2.3. Límites de Atterberg (ASTM D4318; MTC E110/111).

Límite líquido.

- Se seleccionó una muestra representativa de cada calicata investigada en campo.

- Se tamizó un aproximado de 200 g del suelo, por la malla 0.425 mm (N°40) para obtener la fracción fina lo cual fue necesario para realizar el ensayo.
- Se formó una pequeña pasta homogénea con el suelo, para ello se usó agua destilada, un recipiente y una espátula.
- Se colocó una parte de la pasta al dispositivo de la copa de Casagrande, presionándola y esparciéndola hasta obtener una profundidad aproximada de 10mm y una superficie horizontal.
- Se usó el acanalador y se creó una ranura que se dispuso en el centro de la pasta, se procedió desde el punto más alto hasta el punto más bajo sobre el borde de la copa.
- Se operó el dispositivo de Casagrande realizando el giro de la manivela a una velocidad constante de aproximadamente dos revoluciones por cada segundo. Se registró la cantidad de golpes necesarios para cerrar dicha ranura.
- Se tomó una pequeña porción de la pasta y se procedió a colocar en un depósito con peso registrado, con la finalidad de conocer el porcentaje de humedad según el procedimiento antes descrito para dicho ensayo.
- Se repitió el ensayo añadiendo más agua destilada y aumentando su contenido de humedad, y produciendo menos golpes para lograr cerrar la ranura en el dispositivo de Casagrande. Las pruebas se hicieron para cierres de ranuras de 15 a 25 golpes, 20 a 30 golpes y 25 a 35 golpes.
- Se realizó el cálculo de la curva de fluidez, la que representa una relación lineal entre el porcentaje de humedad y la cantidad de golpes.
- Para conocer el límite líquido, se analizó el porcentaje de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes.

Límite Plástico

- Con la muestra obtenida anteriormente, pasante el 0.425 mm (N°40), se realizó una pasta homogénea añadiendo agua destilada,
- Se tomó una porción de la pasta homogénea y se rodó entre los dedos, con la ayuda de una superficie lisa y una presión necesaria, con lo que se formó cilindros de aproximadamente 3.2mm.
- Se continuó realizando el paso anterior hasta obtener un desmoronamiento del material al llegar a un diámetro aproximado de 3.2mm.
- Se escogió la muestra con el porcentaje de humedad donde se desmoronó el suelo al llegar a 3.2mm y se realizó el cálculo del contenido de humedad siguiendo los pasos descritos para este ensayo.
- El porcentaje de humedad calculado se define como el Límite Plástico.

Cálculo del Índice de Plasticidad

- Se calculó como la diferencia entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP).

3.7.2.2.4. Clasificación de suelos (ASTM D2487).

Cada muestra, se clasificaron por dos sistemas de clasificación: el sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Sistema unificado de clasificación de suelos (Unified Soil Classification System, también conocido como el sistema SUCS).

Para clasificar las muestras, se usaron los ensayos anteriormente descritos, como el análisis granulométrico, límites líquidos y plásticos. Adicionalmente se usaron las tablas de clasificación AASHTO, tablas 3 y 4 y SUCS, tabla 5,6, figuras 1,2,3 y 4.

3.7.2.2.5. *Peso específico (MTC E 206)*

- Se seleccionó la muestra siguiendo el modo operativo del cuarteo.
- Se descartó todo el suelo pasante por la malla N°4 por tamizado y posteriormente se realizó un lavado para eliminar el polvo u otras impurezas.
- Se determinó el peso mínimo del material, según su tamaño máximo nominal usando la tabla 1 del Manual de ensayo de materiales.
- La muestra se secó en el horno eléctrico, ajustada a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Posteriormente, se dejó enfriar en un ambiente ventilado durante una a tres horas, hasta que la muestra alcanzó una temperatura normal al tacto (aproximadamente 50°C).
- Se introdujo la muestra en agua, a temperatura ambiente durante un tiempo de 24 ± 4 horas.
- Una vez remojada, la muestra se retiró del depósito de agua y se colocó sobre un paño absorbente hasta que desapareció toda la parte visible de agua, aunque superficialmente podría parecer húmeda.
- La muestra se pesó en su condición saturada con superficie seca (SSS) con una balanza a precisión de 0.5 g.
- Inmediatamente, la muestra SSS se llevó a una cesta de alambre y se procedió a sumergirlo en agua a $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$.
- Se eliminó el aire atrapado sacudiendo ligeramente el recipiente y se registró el peso del material sumergida en agua.

Para el cálculo de la absorción:

- La muestra se secó nuevamente a peso constante en el horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- Luego, se dejó enfriar durante una a tres horas o hasta que estuvo cómoda al tacto (aproximadamente 50°C) y se pesó una vez más con una precisión de 0.5 g o al 0.05% del peso del material, lo que fuera mayor.

Las fórmulas utilizadas para calcular los resultados fueron:

Ecuación 5.

Peso Específico de masa (P_{em}).

$$P_e = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

A= Peso del material seca en el aire, gramos.

B= Peso del material saturada superficialmente seca en el aire, gramos.

C=Peso dentro del agua de la muestra saturada.

Ecuación 6.

Peso específico de masa saturada con superficie seca (P_{eSSS}).

$$P_e = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

Ecuación 7.

Peso específico aparente (P_{ea}).

$$P_e = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

Ecuación 8.

Absorción (A_b).

$$A_b = \frac{B - A}{A} \times 100$$

3.7.2.2.6. *Proctor modificado (ASTM D1557; MTC E115).*

Dado las características del material de cada muestra, se utilizó el método C para obtener el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca de la siguiente manera:

- Se preparó el material que pasas por el tamiz 19.0mm (3/4pulg.) un aproximado de 24 kg y se determinó el contenido de humedad natural.
- Se ensambló el molde de dimensiones de 6 pulg de diámetro y altura de 4.584pulg y se registró su peso.
- Se realizó la preparación de 4 muestras con diferentes porcentajes de humedad de manera que tengan contenido de agua cercanos al óptimo es decir dos muestras húmedas y dos muestras secas, la variación de porcentaje de humedad con la que se agregó fueron de 2% aproximadamente.
- Se compactó una muestra con cierto porcentaje de humedad, en cinco capas y 56 golpes por capa, luego se enrazó el suelo excedente y se niveló con el borde del molde de manera cuidadosa para no alterar la compactación.
- Se apuntó el peso de la muestra compactada más el molde.
- Se extrajo una muestra representativa del molde y se determinó el porcentaje de humedad siguiendo los pasos antes descritos.
- Se calculó la densidad seca.
- Todo el proceso descrito se desarrolló para los tres especímenes restantes con diferentes contenidos de humedad.
- Se graficó la curva de compactación, peso unitario versus porcentaje de humedad.

- El óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca es el punto ubicado en la parte más alta de la curva de compactación.

3.7.2.2.7. California Bearnig Ratio, CBR. (ASTM D1883; MTC E132).

Conocida las características del material, se realizó la granulometría de alrededor 24kg de material con los tamices 3/4", 3/8" y N°4. Debido a que existió suelos retenido en el tamiz 3/4" o 19mm, fue removido y reemplazado con porcentajes calculados de material de 3/8" y N° 4 en relación con el material mayor de 3/4". Se realizaron 3 pruebas para cada espécimen con la diferencia de energías de compactación de 56, 25 y 10 golpes. A continuación, se describe los pasos seguidos:

- Del material preparado, se tomó 5.5kg de espécimen y con el óptimo porcentaje de humedad y la humedad natural conocida, se calculó el % de agua que se agregó al espécimen. Se realizó el mezclado de forma uniforme y se dividió en 6 partes.
- Se armó el molde con su base y se realizó el registro de su peso, luego se puso el collar, el disco espaciador y un papel filtro en el fondo.
- Se realizó la compactación del material mezclado uniformemente por capas, en total 5 capas, este procedimiento para un molde con 56 golpes, otro con 25 golpes y el final con 10 golpes.
- finalizada la compactación, se limpió y procedió a desmontar el molde, posteriormente se montó de manera invertida, pero en este caso sin el disco espaciador, se colocó el papel filtro entre la base y el molde y se registró su peso. Esto se hizo para los 3 moldes a diferentes energías de compactación.

- A cada molde, se colocó la placa perforada con su vástago y sobre esta, para completar la carga, se colocó los anillos, seguidamente se midió la lectura del hinchamiento con el dial y el trípode, siendo esta la primera lectura antes de sumergir durante 4 días.
- Se sumergió completamente en agua los 3 moldes, durante 4 días o 90 horas, con el nivel de agua constante. Se realizó las mediciones del hinchamiento de los moldes cada 24 horas y se registró.
- Pasada el tiempo de inmersión, se procedió a sacar los moldes del agua y se colocó a escurrir alrededor de 15 minutos antes de realizar el ensayo de penetración.
- Se quitó las sobrecargas y se pesó e inmediatamente se dispuso a colocar las sobrecargas y se pasó a realizar el ensayo de penetración.
- Se colocó el molde sobre una base estable y se aseguró que el pistón del equipo tenga un contacto directo con la superficie de la muestra.
- Se configuró los parámetros de ensayo del equipo digital, se estableció la velocidad de penetración del pistón de 0.05pulg/min.
- Se inició con el ensayo y se registraron las cargas automáticamente, luego se registró las lecturas según la tabla para las penetraciones necesarias las que definirán la forma de la curva.
- Se desmontó el molde y se sacó una porción representativa para obtener el porcentaje de humedad.
- luego, con los datos encontrados, se procesó y obtuvo el % de CBR de cada muestra ensayada.

3.7.3. *Analizar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal al adicionar 10%, 20% y 30% en peso de relave minero en comparación al estado inicial de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023*

3.7.3.1. *Ensayos en laboratorio.*

En esta siguiente etapa, se llevó acabo las pruebas en el laboratorio de los especímenes del terreno natural, combinadas con el relave minero de Ticapamapa, cada ensayo se realizó con adición en peso de 10%, 20% y 30%. Estos ensayos se realizaron con el objetivo de conocer cómo influye en las características físicas y mecánicas del material con diferentes combinaciones de relave minero. seguidamente, se muestra una síntesis de los ensayos realizados, estos ensayos siguen los mismos procedimientos hechos a las muestras del terreno natural.

3.7.3.1.1. *Contenido de humedad natural (ASTM D2216; MTC E 108).*

Se calculó el porcentaje de humedad natural de las muestras con adiciones de relave minero del 10%, 20% y 30% en peso, al terreno natural. se procedió a realizar según las guías internacionales y nacionales como la ASTM D2216 y MTC E 108, descritas en el apartado de ensayos al terreno natural, (3.7.2.2.1).

3.7.3.1.2. *Análisis granulométrico (ASTM D422; MTC E107)*

Se procedió a realizar el análisis granulométrico de cada muestra combinada con 10%,20% y 30% en peso de relave minero y se evaluó la forma de distribución de las partículas en los tamices, siguiendo el procedimiento según las normas ASTM D422; MTC E107 y descritas en el apartado (3.7.2.2.2).

3.7.3.1.3. Límites de Atterberg (ASTM D4318; MTC E110/111)

Se realizó el cálculo de los límites de consistencia, con los especímenes combinadas con relave minero al 10%, 20% y 30% en peso, también se calculó el índice de plasticidad de cada combinación. Las pruebas se realizaron según las normas ASTM D4318; MTC E110/111, descritas en el apartado (3.7.2.2.3).

3.7.3.1.4. Clasificación de suelos (ASTM D2487).

Se realizó la clasificación de las muestras según los sistemas de clasificación AASTHO y SUCS de las muestras con adición en peso de relave minero del 10%, 20% y 30%. Para lo cual se utilizaron los datos de la granulometría y los límites de consistencia en cada caso.

3.7.3.1.5. Peso específico (MTC E 206)

Se realizó los mismos procedimientos efectuados en los ensayos para las muestras del terreno natural de la subrasante.

3.7.3.1.6. Proctor modificado (ASTM D1557; MTC E115).

Se realizó el ensayo del Proctor modificado para los especímenes del terreno natural, combinada con 10%,20% y 30% en peso de relave minero, con el objeto de conocer la máxima densidad seca y el óptimo porcentaje de humedad de cada espécimen. El procedimiento realizado sigue los lineamientos de las normas ASTM D1557; MTC E115 descritos en el apartado (3.7.2.2.6).

3.7.3.1.7. California Bearnig Ratio, CBR. (ASTM D1883; MTC E132).

Se realizó la prueba del CBR con cada espécimen, adicionando relave minero con porcentajes de 10%, 20% y 30% en peso. El procedimiento fue supervisado con la guía de las normas ASTM D1883 y MTC E132, descritas en el apartado (3.7.2.2.7) de este informe.

3.7.4. Calcular el óptimo porcentaje de adición de relave minero a la subrasante y evaluar su comportamiento físico-mecánico en el camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.

Se evaluó y calculó el porcentaje de adición en nuestra tesis, según las metodologías recomendadas por Hernández Sampieri:

Tablas:

- Se destaca que las tablas son importantes para la organización y presentación detallada de datos numéricos y categóricos.
- Permiten una revisión precisa y detallada de los valores, facilitando análisis profundos y verificaciones.
- Ofrecen una presentación precisa de los datos, lo que es crucial para análisis detallados y revisiones exhaustivas.
- Son útiles para realizar comparaciones específicas y detalladas.

Gráficos:

- Incluyen una variedad de gráficos, cada uno adecuado para diferentes tipos de datos y análisis, según las recomendaciones de Hernández Sampieri.
- Facilitan la identificación numérica de tendencias y patrones a lo largo del tiempo.
- Se adaptan a diferentes tipos de datos y análisis.
- Son esenciales para presentar datos complejos de una manera comprensible y visualmente atractiva.

Programa Microsoft Excel:

- Incluye creación de fórmulas, tablas dinámicas, gráficos y análisis estadísticos básicos.
- Excel es fácil de usar y ampliamente accesible, lo que lo convierte en una herramienta popular entre los investigadores.

- Permite desde cálculos simples hasta análisis estadísticos complejos y visualización de datos.

Luego de conocer el porcentaje óptimo a adicionar de relave minero, se evaluó la densidad de campo del suelo compactado en el tramo más crítico, para lo cual se realizó haciendo uso del método del Cono de Arena (ASTM D1556) con el siguiente procedimiento:

- Se identificó el área dentro del tramo más crítico, esto se ubicó en el tramo de la calicata C-04.
- Se preparó la superficie de la subrasante, es decir se realizó el movimiento de tierras de un área de 6m^2 y se excavó una profundidad de 20cm.
- Se agregó 30% en proporción de relave minero a la muestra excavada, luego se adicionó un óptimo porcentaje de humedad y se mezcló uniformemente.
- La mezcla se adicionó a al tramo de 6m^2 y se compactó.
- En el tramo compactado y nivelado, se inició con la evaluación de la densidad de campo, con el método del cono de arena (ASTM D1556).
- Se realizó el peso del cono más la arena calibrada.
- Se colocó la placa base del equipo y se excavó un agujero dentro del orificio de la placa, una profundidad aproximada de 12cm, se recolectó la muestra y se pesó.
- Se colocó el frasco con el cono de arena lleno, sobre la placa y se procedió a abrir la válvula para llenar el orificio. Se llenó el orificio y se cerró, posteriormente se pesó el frasco con la arena sobrante.
- Se realizó el trabajo de gabinete en la hoja de cálculo y se realizó las comparaciones necesarias para aceptar la prueba.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

IV. Resultados y Discusiones

4.1. Análisis e Interpretación de Resultados.

4.1.1. Identificar las características físico y químicas del relave minero como agente estabilizante, de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.

4.1.1.1. Investigación en campo.

Tabla 14.

Ubicación de la investigación en campo del Relave Minero.

Muestra	Zona (m.)	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m.)
		Este (m.)	Norte (m.)	
Relave minero Ticapampa	18L	232001.92	8920487.25	3457

Análisis. El relave minero se ubica en el Distrito de Ticapampa, Recuay, Ancash, en las coordenadas 232001.92E y 8920487.25N, con una altitud de 3457 m.s.n.m.

Interpretación. El depósito del relave minero se encuentra acumulada al margen izquierdo del Río Santa, teniendo una extensión aproximada de 750mx120m y una altura 15m. El muestreo a se realizó de manera aleatoria, siendo el área de interés libre de contaminación. Se recolectó aproximadamente 80kg de muestra.

4.1.1.2. Ensayos de laboratorio.

Tabla 15.

Propiedades físicas del Relave Minero de Ticapampa.

Muestra	Humedad Natural	Material pasa tamiz N°200	Límites de Atterberg		Clasificación	
	%	%	L.L.	I.P.	SUCS	AASTHO
Relave minero Ticapampa	17.37	18.36	-	NP	SM	A-2-4 (0)

Análisis. Se muestra que el contenido de humedad natural del Relave minero es de 17.37%, la cantidad de suelo que pasa el tamiz N°200 es de 18.36%, no presenta límites de Atterberg ya que es una muestra clasificada por SUCS, un suelo de tipo SM, arena limosa, y según AASTHO, es una mezcla de arena y limo.

Interpretación. La muestra presenta una humedad relativamente alta de 17.37%, debido a que fue recolectada durante la temporada de lluvias, es decir en condiciones húmedas. Por otro lado la muestra que pasa la malla N°200 es un 18.36%, haciendo referencia a que podría tratarse de un limo. Con referencia a los límites de Atterberg, el espécimen no presenta límites de consistencia, con lo que se puede concluir que es un material con baja susceptibilidad de sufrir cambios volumétricos debido a la humedad.

El suelo clasificado bajo el sistema SUCS es de tipo SM, que concierne a una arena de tipo limosa. Según la clasificación por el método AASHTO, este suelo se clasifica como A-2-4(0), indicando que es una mezcla de arena y limo. Basado en el MTC (2014), Manual de Carreteras, figura 4.1, este tipo de suelo presenta un CBR en el rango de 15% a 40%. Por lo tanto, este suelo tiene propiedades que lo califican de bueno a regular para ser utilizado como material estabilizador de subrasante.

Tabla 16.

Análisis Físico-químico del Relave Minero

Codificación de la Muestra		Suelo
Parámetros	Unidades	Resultados
Textura	-	Arenoso
Color	-	Ligeramente verdoso
Densidad Aparente	g/cc	1.82
Densidad Relativa	g/cc	2.61
pH	-	4.87
Conductividad Eléctrica	dS/cm	1.33
Materia Orgánica	%	2.61
CaCO ₃	%	1.24

Fuente: Solicitado al Laboratorio Físico Químico Ambiental Perú S.A.C.

Análisis e Interpretación. El análisis físico-químico del relave minero muestra que es arenoso con un color ligeramente verdoso. Su densidad aparente es de 1.82 g/cc, lo que indica que es relativamente ligero. La densidad relativa de 2.61 g/cc sugiere que tiene una composición mineral típica. El pH de 4.87 revela que es ácido, lo cual podría afectar la estabilidad química del suelo y requerir ajustes para neutralizar su acidez. La conductividad eléctrica de 1.33 dS/cm señala una presencia moderada de sales solubles, las que podrían influir en cómo el relave interactúa con el suelo. La materia orgánica, con un contenido del 2.61%, aunque baja, puede mejorar la cohesión del material. El carbonato de calcio (CaCO₃) al 1.24% indica una capacidad limitada para neutralizar el ácido presente.

Tabla 17.

Análisis de Metales Pesados del Relave Minero

Codificación de la Muestra			Suelo
Metales Pesados	Unidades	Límites de Detección	Resultados
Plata	mg/Kg	0.15	N.D.
Aluminio	mg/Kg	0.50	217.46
Arsénico	mg/Kg	0.50	326.19
Boro	mg/Kg	0.20	N.D.
Bario	mg/Kg	0.05	105.13
Cadmio	mg/Kg	0.02	189.62
Cobalto	mg/Kg	0.05	66.14
Cromo	mg/Kg	0.08	38.82
Cobre	mg/Kg	0.08	219.67
Hierro	mg/Kg	0.80	120.70
Manganeso	mg/Kg	0.08	77.38
Molibdeno	mg/Kg	0.08	N.D.
Sodio	mg/Kg	6.00	98.30
Niquel	mg/Kg	0.15	227.34
Fósforo	mg/Kg	0.50	N.D.

Plomo	mg/Kg	0.20	1,043.67
Selenio	mg/Kg	1.20	N.D.
Silice	mg/Kg	0.80	436.89
Titanio	mg/Kg	0.05	N.D.
Zinc	mg/Kg	0.80	953.72

Fuente: Solicitado al Laboratorio Físico Químico Ambiental Perú S.A.C.

Análisis e Interpretación. El análisis químico del relave minero revela la presencia de varios metales con potenciales efectos sobre la compactación y estabilización de la subrasante del suelo. Metales como el aluminio, hierro y sílice presentes en el relave son beneficiosos para mejorar la compactación del suelo. El aluminio (217.46 mg/Kg) contribuye a la resistencia del suelo y puede mejorar su estabilidad cuando se mezcla con otros materiales. El hierro (120.70 mg/Kg) ayuda a incrementar la adherencia del suelo, fortaleciendo la resistencia al desgaste y la capacidad de soporte. La sílice (436.89 mg/Kg) mejora significativamente las características físicas del espécimen, de manera que aumenta su estabilidad y capacidad de soporte.

Por otro lado, la existencia de metales tóxicos como el arsénico (326.19 mg/Kg), cadmio (189.62 mg/Kg), plomo (1,043.67 mg/Kg) y cobre (219.67 mg/Kg) en concentraciones significativas compromete la compactación y estabilidad del suelo. Estos metales pueden alterar la estructura del suelo, disminuyendo su capacidad de soporte y afectando negativamente su compactación y permeabilidad.

4.1.2. Identificar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.

4.1.2.1. Investigación en campo.

Tabla 18.

Ubicación de la investigación en campo de la subrasante del camino vecinal Cotaparaco.

Muestra	Progresiva	Zona (m.)	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m.)
			Este (m.)	Norte (m.)	
Calicata C-01	44+160m	18L	216010.00	8895775.00	3222.50
Calicata C-02	43+250m	18L	216742.00	8895473.00	3246.00
Calicata C-03	42+300m	18L	217147.00	8895815.00	3335.50
Calicata C-04	41+420m	18L	216595.00	8895709.00	3367.50
Calicata C-05	40+580m	18L	216061.00	8896532.00	3417.50

Análisis. Se realizó la exploración a cielo abierto de cinco calicatas, desde la progresiva del kilómetro 40+580 m hasta el kilómetro 44+160m, es decir se abarcó una longitud de 5km, la altitud de los puntos de estudio varían desde los 3222.50 a 3417.50 m.s.n.m.

Interpretación. Se realizaron las auscultaciones a cielo abierto mediante calicatas, una profundidad mínima de 1.50 metros, obteniendo aproximadamente 100 kg de material por cada calicata. Estas muestras representativas del terreno de subrasante se utilizaron para conocer las características físicas y mecánicas del suelo.

4.1.2.2. Ensayos de laboratorio.

Tabla 19.

Propiedades Físicas de la Subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco.

Calicata	Humedad Natural %	Material	Límites de Atterberg			Clasificación		Gs g/cm ³
		pasa tamiz N° 200 %	L.L.	L.P.	I.P.	SUCS	AASHTO	
C-01	9.18	27.5	27.05	19.97	7.09	GC-GM	A-2-4 (0)	2.68
C-02	7.41	20.2	27.43	20.60	6.83	GC-GM	A-2-4 (0)	2.77
C-03	11.31	22.69	20.06	16.28	3.78	SM	A-1B (0)	2.70
C-04	7.76	60.79	26.44	19.29	7.15	CL	A-4(2)	2.73
C-05	10.65	42.59	29.36	21.07	8.29	SC	A-4(1)	2.74

Análisis. El porcentaje de humedad natural varía entre 7.41% y 11.31%. En cuanto al suelo que pasa por el tamiz N°200, solo la muestra de la calicata C-04 tiene un 60.79%, mientras que las demás muestras tienen menos del 50%.

Respecto a los límites de Atterberg, los tres primeros especímenes presentan un IP menor a 7, mientras que las dos últimas tienen un IP mayor a 7.

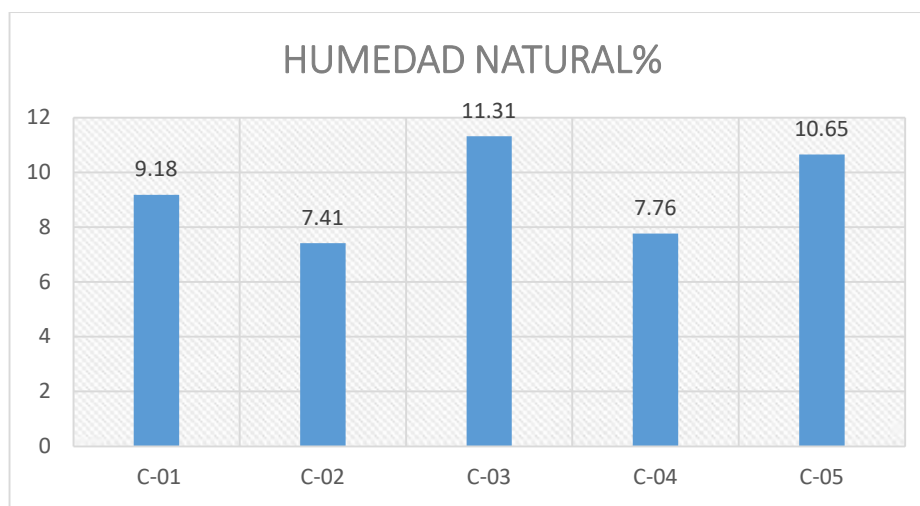
En la clasificación de suelos, las muestras C-01 y C-02 se clasifican como GC-GM (grava limosa arcillosa) según SUCS, y como A-2-4(0) según el sistema AASHTO. Los especímenes de las calicatas C-03 y C-05 se clasifican como SM (arena limosa gravosa) y SC (arena arcillosa) según SUCS, y como A-1B (0) y A-4(1) según AASHTO, respectivamente. La gravedad específica varía entre 2.68 y 2.77 g/cm³.

Interpretación. El contenido de humedad natural varía entre 7.41% y 11.31%, ya que las muestras fueron tomadas en condiciones húmedas en la temporada de lluvias. Comparado con el rango del contenido óptimo de humedad según la tabla 20 y figura 10, para las mismas

muestras, no hay una gran diferencia. Esto indica que, al ejecutar el proyecto, se debe poner especial énfasis en evaluar la humedad y compactar adecuadamente. Debido a la cantidad de agua del suelo, se podría considerar subir la energía de compactación, revolver el material y airear o reemplazar el material saturado por una de préstamo.

Figura 10.

Humedad natural.



En cuanto al suelo que pasa la malla N°200, la muestra C-04 tiene un 60.79% de finos, lo que indica una alta presencia de partículas finas. Esto puede influir significativamente en las características plásticas, el drenaje y la compactación del suelo en ese tramo.

En relación con los límites de consistencia, las calicatas C-01, C-02 y C-03 presentan $IP < 7$, lo que indica una plasticidad baja y características poco arcillosas. Por otro lado, las muestras de las calicatas C-04 y C-05 $IP > 7$ pero menores a 20, esto nos permite clasificarlo como un espécimen de media plasticidad, considerados arcillosos. Según el Manual de Carreteras del MTC 2014, esto implica que estos tramos pueden ser riesgosos por su alta sensibilidad al agua.

Las muestras C-01 y C-02, clasificadas como GC-GM y A-2-4(0) respectivamente según SUCS y AASHTO, son suelos con grava limosa arcillosa y arena, que presentan buenas

propiedades como material de subrasante y no requerirían mejoras. En contraste, la calicata C-04, clasificada como CL (arena arcillosa) según SUCS y A-4(2) (suelo limoso) según AASHTO, no presenta propiedades adecuadas para ser utilizada como capa de subrasante. Después de evaluar sus propiedades mecánicas, se podría considerar estabilizar la subrasante con otros materiales si es necesario.

Tabla 20.

Propiedades Mecánicas de la Subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco.

Calicata	Compactación					
	Proctor modificado (ASTM D 1557)		CBR 0.1" (ASTM D-1883)		CBR 0.2" (ASTM D-1883)	
	M.D.S. gr/cm3	O.C.H. (%)	95%M.D.S.	100%M.D.S.	95%M.D.S.	100%M.D.S.
C-01	2.107	8.72	8.31	24.85	9.41	29.83
C-02	2.124	8.4	23.34	36.09	26.18	42
C-03	2.069	9.26	17.63	36.63	18.91	39.76
C-04	1.698	12.09	3.58	13.07	3.45	15.05
C-05	1.976	12.06	12.55	20.04	16.44	21.51

Análisis. Con la prueba del proctor modificado se obtuvo la máxima densidad seca para las muestras, las cuales oscilaron entre 2.069g/cm³ a 2.124g/cm³ para las primeras tres calicatas, y para la C-04 y C-05 fueron 1.698g/cm³ y 1.976g/cm³ respectivamente. Por otro lado también se conoció el óptimo porcentaje de humedad las que está en un rango de 8.4% a 12.09%.

En los datos de la prueba del CBR, se observa la relación de soporte obtenida a penetraciones de 0.1" y 0.2". Para determinar la relación de soporte de cada muestra, se siguió lo indicado en la norma MTC E132, según esta norma, la relación de soporte entregada en el

informe, suele ser la de 2.54 mm (0.1”) de penetración. Sin embargo, si la relación de soporte a 5.08 mm (0.2”) de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo con el que se comprueba arroja datos similares, se utiliza la relación de soporte a 5.08 mm (0.2”) de penetración. Para establecer el CBR de diseño, se colocó el porcentaje de soporte del 95% de la máxima densidad seca, según el criterio del Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos.

De acuerdo con lo establecido, los valores de CBR para cada calicata son C-01=9.41%, C-02=26.18%, C-03=18.91%, C-04=3.58% y C-05=16.44%.

Interpretación. Al compactar el espécimen en el laboratorio con diferentes contenidos de humedad, se determinó para las calicatas su óptimo porcentaje de humedad. En esta humedad, la densidad del espécimen alcanzó su valor máximo, siendo esta el máximo contenido de humedad. Esto se debe a que, en ese punto, el suelo estableció una compactación más firme entre partículas, con los especímenes de menor tamaño ocupando los vacíos dejados por las de mayor dimensión. Como resultado, aumentó el valor de soporte del suelo y se hizo más estable.

Según los valores del CBR y el Manual de Carreteras (cuadro 4.11), La calicata C-01 está categorizada como S2, es decir, subrasante regular, ya que su CBR es mayor o igual al 6% y menor al 10%. Las muestras de las calicatas C-03 y C-05 están categorizadas como S3, subrasante buena, ya que sus CBR varían de mayor o igual al 10% y menor al 20%. La muestra de la calicata C-02 se categorizó como S4, subrasante muy buena, ya que su CBR es mayor o igual al 20% y menor al 30%. Finalmente, la muestra de la calicata C-04 se categorizó como S1, subrasante ineficiente, ya que su CBR es menor al 6% pero mayor o igual al 3%.

4.1.3. Analizar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal al adicionar 10%, 20% y 30% en peso de relave minero en comparación al estado inicial de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.

4.1.3.1. Subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco más 10% en peso de Relave Minero.

Tabla 21.

Propiedades físicas de la Subrasante al adicionar 10% en peso de Relave Minero.

Calicata	Humedad Natural	Material pasa tamiz N°200	Límites de Atterberg			Clasificación	
			L.L.	L.P.	I.P.	SUCS	AASTHO
	%	%					
C-01+10% Relave Minero	9.18	26.67	27.13	20.23	6.9	SC-SM	A-2-4(0)
C-02+10% Relave Minero	7.41	20.03	27.43	20.6	6.83	SC-SM	A-2-4(0)
C-03+10% Relave Minero	11.94	22.29	20.95	16.5	4.45	SC-SM	A-1B (0)
C-04+10% Relave Minero	8.66	56.93	25.88	17.13	8.75	CL	A-4(0)
C-05+10% Relave Minero	11.44	40.39	27.51	19.51	8.00	SC	A-4(0)

Análisis. Al adicionar 10% de relave minero al espécimen de la subrasante del terreno natural, el contenido de humedad varía de 7.41% a 11.94% y en comparación con las muestras del terreno natural de la tabla 19, existe una ligera variación.

En cuanto al suelo que pasa la malla N°200, al adicionar un 10% de relave minero, se observa un descenso en el porcentaje de material en todas las muestras, por ejemplo, en la muestra de la calicata C-04, bajó a 56.92%.

Respecto a los límites de consistencia, las muestras de las calicatas C-01, C-02 y C-03 mantienen un $IP < 7$, de la misma manera las muestras de las calicatas C-04 y C-05, el $IP > 7$.

En la clasificación de los tipos de suelos, según el sistema de clasificación SUCS, predomina el suelo SC-SM en las muestras de la calicata C-01, C-02 y C-03, es decir se trata de una arena limosa, arcillosa con grava. Y según AASTHO, para estas muestras, al adicionar

el 10% de relave minero, no modificó su clasificación con respecto a la muestra del terreno natural.

Interpretación. Al adicionar un 10% de relave minero, la humedad natural no varió de manera significativa, es por ello que al encontrarse cercano al óptimo contenido de humedad, se debe poner énfasis al evaluar al momento de ejecutar el proyecto, debido a que las muestras fueron tomadas en condiciones húmedas, en periodo de precipitaciones.

En cuanto al contenido de suelos que pasa la malla N°200, se muestra que adicionando 10% de relave minero, bajó en todas las muestras, pero la muestra de la calicata C-04, aún tiene partículas finas mayor al 50%, lo que podría influir significativamente en las características plásticas, drenaje y compactación del suelo en ese tramo.

En relación con los límites de consistencia, los datos de IP de las muestras se mantienen en el rango en comparación con las muestras del terreno natural, es decir las calicatas C-01, C-02 y C-03 siguen presentando suelos de baja plasticidad y características poco arcillosas, mientras que las calicatas C-04 y C-05, suelos de media plasticidad con características arcillosas.

Finalmente, la clasificación del material ensayado según el sistema SUCS y AASTHO, varió en las muestras de las calicatas C-01, C-02 y C-03, siendo imprescindible el análisis mecánico y ver el comportamiento como material de subrasante.

Tabla 22.

Propiedades Mecánicas de la Subrasante al adicionar 10% en peso de Relave Minero.

Calicata	Compactación Proctor modificado (ASTM D 1557)		CBR 0.1" (ASTM D-1883)		CBR 0.2" (ASTM D-1883)	
	M.D.S. gr/cm ³	O.C.H. (%)	95% M.D.S.	100% M.D.S.	95% M.D.S.	100% M.D.S.
	C-01+10% Relave Minero	2.111	8.76	13.31	32.38	17.64
C-02+10% Relave Minero	2.117	8.48	25.56	41.09	28.21	45.27
C-03+10% Relave Minero	2.072	9.30	18.61	38.83	21.42	42.01
C-04+10% Relave Minero	1.711	12.02	4.36	15.49	4.11	18.07
C-05+10% Relave Minero	1.990	11.70	14.56	20.51	18.41	22.76

Análisis. Al adicionar un 10% en peso de relave mienro y con la prueba del proctor modificado se obtuvo la máxima densidad seca para las muestras, las cuales oscilaron entre 2.072g/cm³ a 2.117g/cm³ para las primeras tres calicatas, y para la C-04 y C-05 fueron 1.711g/cm³ y 1.990g/cm³ respectivamente y sobre la muestra del terreno natural, se observa un ligero incremento. Por otro lado también se conoció el óptimo porcentaje de humedad las que oscila entre 8.48% a 12.02%.

En los resultados de la prueba del CBR, se observa el valor de soporte obtenida a penetraciones de 0.1" y 0.2". por lo que para determinar la relación de soporte de cada muestra al adicionar un 10% en peso de relave minero, se realizó según lo descrito para la tabla 20. Considerando valor del CBR de diseño referido al 95% de la máxima densidad seca, los valores de CBR para cada calicata son C-01=17.64%, C-02=28.21%, C-03=21.42%, C-04=4.36% y C-05=18.41%.

Interpretación. Al adicionar un 10% de relave minero al espécimen del terreno natural y compactar el suelo con diferentes contenidos de humedad, se determinó el óptimo porcentaje de humedad, en este punto, alcanzó la máxima densidad seca para cada muestra. En comparación con las densidades de las muestras del terreno natural, estas variaron ligeramente, indicando que las partículas del relave minero mejoraron la estabilidad del suelo al rellenar los vacíos del terreno natural con sus partículas finas y granulares.

Según los valores del CBR y el Manual de Carreteras (cuadro 4.11), la calicata C-01 y C-05 se categoriza como S₃, es decir una subrasante de categoría buena, ya que su valor de CBR es mayor o igual al 10% pero menor a 20%. Las muestras de las calicatas C-02 y C-03 están categorizadas como S₄, subrasante muy buena, ya que su CBR varían de mayor o igual a 20% y menor a 30%. Finalmente, la muestra de la calicata C-04 se categorizó como S₁, subrasante ineficiente, ya que su CBR es menor al 6% pero mayor o igual al 3%. Estos valores de CBR mejoraron en comparación con las muestras de terreno natural.

4.1.3.2. Subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco más 20% en peso de Relave Minero.

Tabla 23.

Propiedades físicas de la Subrasante al adicionar 20% en peso de Relave Minero.

Calicata	Humedad Natural	Material pasa tamiz N°200	Límites de Atterberg			Clasificación	
	%		L.L.	L.P.	I.P.	SUCS	AASTHO
C-01+20% Relave Minero	9.18	25.98	26.86	19.99	6.87	SC-SM	A-2-4(0)
C-02+20% Relave Minero	7.41	19.89	27.43	20.60	6.83	SC-SM	A-2-4(0)
C-03+20% Relave Minero	12.85	21.97	20.82	17.10	3.72	SM	A-1B (0)
C-04+20% Relave Minero	9.17	53.72	24.80	18.13	6.67	CL-ML	A-4(1)
C-05+20% Relave Minero	12.20	38.56	26.53	18.83	7.70	SC	A-4(0)

Análisis. Al adicionar 20% de relave minero al espécimen de la subrasante del terreno natural, se observa que el porcentaje de humedad varia de 7.41% a 12.85% y en comparación con las muestras del terreno natural de la tabla 19, existe una ligera variación.

En cuanto al suelo que pasa la malla N°200, al adicionar un 20% de relave minero, se observa un descenso en el porcentaje de material en todas las muestras, por ejemplo, en la muestra de la calicata C-04, bajó a 53.72%.

Respecto a los límites de consistencia, las muestras de las calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04 mantienen un $IP < 7$, de la misma manera la muestra de la calicata C-05, el $IP > 7$.

En la clasificación del tipo de suelos, según el sistema SUCS, predomina el suelo SC-SM en las muestras de la calicata C-01 y C-02, por consiguiente, se trata de una arena limosa, arcillosa con grava, por otro lado, la muestra de la calicata C-04 varió y se muestra como un suelo tipo CL-ML, que representa a una arcilla limosa de poca plasticidad arenosa. Y según ASSTHO, para estas muestras, al adicionar el 20% de relave minero, solo la muestra C-04 y C-05 se reflejó un cambio a A-4(1) y A-4(0) respectivamente.

Interpretación. Al adicionar un 20% de relave minero, la humedad natural no varió de manera significativa, es por ello que al encontrarse cercano al óptimo contenido de humedad, se debe poner énfasis al evaluar al momento de ejecutar el proyecto, debido a que las muestras fueron tomadas en condiciones húmedas, en periodo de precipitaciones.

En cuanto al porcentaje de suelo que pasa la malla N°200, se puede observar que al adicionar 20% de relave minero, bajó en todos los especímenes, pero la muestra de la calicata C-04, aún tiene partículas finas mayor al 50%, lo que podría influir significativamente en las características plásticas, drenaje y compactación del suelo en ese tramo.

En relación con los límites de Atterberg, los resultados del índice de plasticidad de las muestras de las calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04 son menores a 7, es decir presentan suelos de baja plasticidad y características poco arcillosas, mientras que los especímenes de la calicata C-05, es un material de media plasticidad con características arcillosas.

Finalmente, la clasificación del suelo según el sistema SUCS y AASTHO, varió en las muestras de las calicatas C-01, C-02 y C-04, siendo imprescindible el análisis mecánico y ver el comportamiento como material de subrasante.

Tabla 24.

Propiedades Mecánicas de la Subrasante al adicionar 20% en peso de Relave Minero.

Calicata	Compactación Proctor modificado (ASTM D 1557)		CBR 0.1" (ASTM D-1883)		CBR 0.2" (ASTM D-1883)	
	M.D.S. gr/cm ³	O.C.H. (%)	95% M.D.S.	100% M.D.S.	95% M.D.S.	100% M.D.S.
C-01+20% Relave Minero	2.094	9.73	19.32	52.54	19.55	58.17
C-02+20% Relave Minero	2.109	8.69	28.27	41.11	30.24	45.38
C-03+20% Relave Minero	2.092	9.56	20.11	39.42	21.67	45.55
C-04+20% Relave Minero	1.721	11.96	5.27	16.57	4.73	18.61
C-05+20% Relave Minero	2.003	11.64	14.74	24.22	18.66	27.09

Análisis. Al adicionar un 20% en peso de relave minero y con la prueba del proctor modificado se obtuvo la máxima densidad seca para las muestras, las cuales oscilaron entre 1.721g/cm³ a 2.109g/cm³, en el caso del espécimen del terreno natural, se observa un ligero aumento. Por otro lado también se conoció el óptimo porcentaje de humedad las que varía de 8.69% a 11.96%.

En los datos del ensayo CBR, se observa la relación de soporte obtenida a penetraciones de 0.1” y 0.2”. Para determinar la relación de soporte de cada muestra al adicionar un 20% en peso de relave minero, se realizó según lo descrito para la tabla 20. Considerando el valor de soporte de CBR de diseño referido al 95% de la máxima densidad seca, los valores de CBR para cada calicata son C-01=19.55%, C-02=30.24%, C-03=21.67%, C-04=5.27% y C-05=18.66%.

Interpretación. Al adicionar un 20% de relave minero a la muestra del terreno natural y compactar el suelo con diferentes contenidos de humedad, se determinó el óptimo porcentaje de humedad, en este punto, se alcanzó la máxima densidad seca para cada muestra. En comparación con las densidades de las muestras del terreno natural, estas variaron ligeramente, indicando que las partículas del relave minero mejoraron la estabilidad del suelo al rellenar los vacíos del terreno natural con sus partículas finas y granulares.

Según los valores del CBR y el Manual de Carreteras (cuadro 4.11), la calicata C-01 y C-05 se categoriza como S₃, es decir una subrasante categorizada como buena, ya que su valor de soporte de CBR es mayor o igual al 10% y menor a 20%. La muestra de la calicata C-03 está categorizada como S₄, subrasante muy buena, ya que su CBR varía de mayor o igual a 20% y menor a 30%. La muestra de la calicata C-02 está categorizada como S₅, subrasante excelente, ya que su CBR es mayor o igual a 30%. Finalmente, la muestra de la calicata C-04 se categorizó como S₁, subrasante ineficiente, ya que su CBR es menor al 6% pero mayor o igual al 3%. Estos valores de CBR mejoraron en comparación con las muestras de terreno natural.

4.1.3.3. Subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco más 30% en peso de Relave Minero.

Tabla 25.

Propiedades físicas de la Subrasante al adicionar 30% en peso de Relave Minero.

Calicata	Humedad Natural	Material pasa tamiz N° 200	Límites de Atterberg			Clasificación	
			L.L.	L.P.	I.P.	SUCS	AASTHO
C-01+30% Relave Minero	9.18	25.39	27.01	19.72	7.29	SC-SM	A-2-4(0)
C-02+30% Relave Minero	7.14	19.78	27.43	20.60	6.83	SC-SM	A-2-4(0)
C-03+30% Relave Minero	13.33	21.69	21.22	14.91	6.31	SC-SM	A-2-4(0)
C-04+30% Relave Minero	9.67	51.00	24.61	16.71	7.90	CL	A-4(1)
C-05+30% Relave Minero	12.55	37.00	27.01	18.52	8.49	SC	A-4(0)

Análisis. Al adicionar 30% de relave minero al espécimen de la subrasante del terreno natural, se puede apreciar que el porcentaje de humedad varía de 7.14% a 13.33% y en comparación con las muestras del terreno natural de la tabla 19, existe una ligera variación.

En cuanto al suelo que pasa la malla N°200, al adicionar un 30% de relave minero, se observa un descenso en el porcentaje de material en todas las muestras, por ejemplo, en la muestra de la calicata C-04, bajó a 51.00%.

Respecto a los límites de consistencia, las muestras de las calicatas C-01, C-02 y C-03 mantienen un $IP < 7$, de la misma manera las muestras de las calicatas C-04 y C-05, el $IP > 7$.

En la clasificación del tipo de suelos, según el sistema SUCS, predomina el suelo SC-SM en las muestras de la calicata C-01, C-02 y C-03, es decir se trata de una arena limosa, arcillosa con grava, para los especímenes de las calicatas C-04 y C-05, con respecto al tipo de terreno natural, no cambia. Y según el sistema de clasificación ASSTHO, para estas muestras

de las calicatas C-01, C-02 y C-03, predomina el suelo A-2-4(0), mientras que las muestras de las calicatas C-04 y C-05 son A-4(1) y A-4(0) respectivamente.

Interpretación. Al adicionar un 30% de relave minero, la humedad natural no varió de manera significativa, es por ello que al encontrarse cercano al óptimo contenido de humedad, se debe poner énfasis al evaluar al momento de ejecutar el proyecto, debido a que las muestras fueron tomadas en condiciones húmedas, en periodo de precipitaciones.

En cuanto al porcentaje de suelo que pasa la malla N°200, se aprecia que al adicionar 30% de relave minero, bajó en todos los especímenes, pero el espécimen de la calicata C-04, aún tiene partículas finas mayor al 50%, lo que podría influir significativamente en las características plásticas, drenaje y compactación del suelo en ese tramo.

En relación con los límites de consistencia, los resultados de IP de las muestras se mantienen en el rango en comparación con las muestras del terreno natural, es decir las calicatas C-01, C-02 y C-03 siguen presentando un material de baja plasticidad y características poco arcillosas, mientras que las calicatas C-04 y C-05, suelos de media plasticidad con características arcillosas.

Finalmente, la clasificación de los especímenes según el sistema SUCS, varió en las muestras de las calicatas C-01, C-02 y C-03, y según el sistema AASTHO, varió en las muestras de las calicatas C-03, C-04 y C-05, siendo imprescindible el análisis mecánico y ver el comportamiento como material de subrasante.

Tabla 26.

Propiedades Mecánicas de la Subrasante al adicionar 30% en peso de Relave Minero.

Calicata	Compactación Proctor modificado (ASTM D 1557)		CBR 0.1" (ASTM D-1883)		CBR 0.2" (ASTM D-1883)	
	M.D.S. gr/cm ³	O.C.H. (%)	95% M.D.S.	100% M.D.S.	95% M.D.S.	100% M.D.S.
C-01+30% Relave Minero	2.077	10.14	34.37	60.81	33.88	70.08
C-02+30% Relave Minero	2.077	9.09	22.84	39.12	24.49	43.11
C-03+30% Relave Minero	2.080	10.03	21.46	41.09	23.40	47.06
C-04+30% Relave Minero	1.737	11.85	7.47	17.82	6.88	19.98
C-05+30% Relave Minero	2.010	11.46	15.16	24.69	19.09	27.52

Análisis. Al adicionar un 30% en peso de relave minero y con la prueba del proctor modificado se obtuvo la máxima densidad seca para las muestras, lo cual para la calicata C-04 es de 1.737g/cm³, y para las muestras de la calicata C-01, C-02, C-03 y C-05 están en un rango de 2.010g/cm³ y 2.08g/cm³ y para el espécimen del terreno natural, se observa un ligero aumento. Por otro lado también se conoció el óptimo porcentaje de humedad las que varia de 9.09% a 11.85%.

En los resultados del ensayo CBR, se observa la relación de soporte obtenida a penetraciones de 0.1" y 0.2". Para determinar la relación de soporte de cada muestra al adicionar un 30% en peso de relave minero, se realizó según lo descrito para la tabla 20. Considerando el CBR de diseño referido al 95% de la máxima densidad seca, los valores de CBR para cada calicata son C-01=34.37%, C-02=24.49%, C-03=23.40%, C-04=7.47% y C-05=19.09%.

Interpretación. Al adicionar un 30% de relave minero a la muestra del terreno natural y compactar el suelo con diferentes contenidos de humedad, se determinó el óptimo porcentaje de humedad, en este punto, se alcanzó la máxima densidad seca para cada muestra. En comparación con las densidades de las muestras del terreno natural, estas variaron ligeramente, indicando que las partículas del relave minero mejoraron la estabilidad del suelo al rellenar los vacíos del terreno natural con sus partículas finas y granulares.

Según los valores del CBR y el Manual de Carreteras (cuadro 4.11), la muestra de la calicata C-05 se categoriza como S₃, es decir una subrasante categorizada como buena, ya que su valor de soporte de CBR es mayor o igual al 10% y menor a 20%. Las muestras de las calicatas C-02 y C-03 están categorizadas como S₄, subrasante muy buena, ya que su CBR varían de mayor o igual a 20% y menor a 30%. La muestra de la calicata C-01 se categoriza como S₅, es decir una subrasante excelente, ya que su CBR es mayor o igual a 30%. Finalmente, la muestra de la calicata C-04 se categorizó como S₂, subrasante Regular, ya que su CBR es menor al 10% pero mayor o igual al 6%. Estos valores de CBR mejoraron en comparación con las muestras de terreno natural.

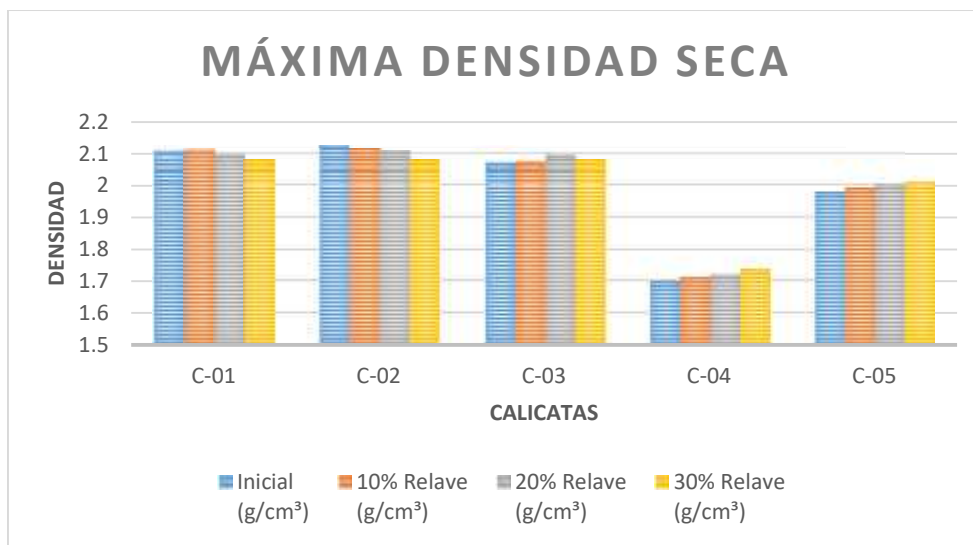
Tabla 27.

Comparación de la Máxima Densidad Seca con la Adición del 10%,20% y 30% en peso de Relave Minero.

Calicata	Inicial (g/cm ³)	10% Relave (g/cm ³)	Variación (%)	20% Relave (g/cm ³)	Variación (%)	30% Relave (g/cm ³)	Variación (%)
C-01	2.107	2.111	0.19%	2.094	-0.62%	2.077	-1.42%
C-02	2.124	2.117	-0.33%	2.109	-0.71%	2.077	-2.21%
C-03	2.069	2.072	0.14%	2.092	1.11%	2.08	0.53%
C-04	1.698	1.711	0.77%	1.721	1.35%	1.737	2.30%
C-05	1.976	1.99	0.71%	2.003	1.37%	2.01	1.72%

Análisis. En la muestra de la calicata C-01 y C-02, se observa una decremento al adicionar los porcentajes de relave minero, mientras que en las muestras de las calicatas C-03, C-04 y C-05, se aprecia un aumento de la máxima densidad seca, al adicionar porcentajes de relave minero como se muestra en la siguiente figura.

Figura 11.
Máxima densidad seca



Interpretación. En el caso de los especímenes extraídas de las calicatas C-01 y C-02, el ligero decremento de la máxima densidad seca, al agregar porcentaje de 10%, 20% y 30% de relave minero, se da debido a la incorporación de material fino debido a que el relave se clasifica como SM según SUCS, sin embargo estos finos tuvieron un efecto de mejorar la cohesión y capacidad de sorporte del suelo de la capa de subrasante, esto se puede detallar en la tabla 29, donde se compara el ensayo del CBR de las muestras. Por otro lado, en las muestras de las calicatas C-03, C-04 y C-05, se observa un incremento de hasta 2.30% al adicionar porcentajes de 10%, 20% y 30% de relave minero. Esto se debe al efecto de la granulometría, es decir las partículas finas del relave minero, llenan los vacíos entre partículas del suelo inicial, en consecuencia mejora la compactación del suelo y mejoró la máxima densidad seca.

La MDS a utilizar es, para 100m que representa la calicata C-04, es 1.737g/cm³ y el resto de tramo es el promedio, es decir 2.061g/cm³.

Tabla 28.

Comparación del Óptimo Contenido de Humedad con la Adición del 10%,20% y 30% en peso de Relave Minero.

Calicata	Inicial (%)	10% Relave (%)	Variación (%)	20% Relave (%)	Variación (%)	30% Relave (%)	Variación (%)
C-01	8.72	8.76	0.46%	9.73	11.58%	10.14	16.28%
C-02	8.4	8.48	0.95%	8.69	3.45%	9.09	8.21%
C-03	9.26	9.3	0.43%	9.56	3.24%	10.03	8.32%
C-04	12.09	12.02	-0.58%	11.96	-1.08%	11.85	-1.99%
C-05	12.06	11.7	-2.99%	11.64	-3.48%	11.46	-4.98%

Análisis. El óptimo porcentaje de humedad, en las calicatas C-01, C-02 y C-03, se observa una incremento al adicionar 10%, 20% y 30% de relave minero respecto a la muestra del terreno natural, mientras que en las calicatas C-04 y C-05, se observa un drecremento.

Interpretación. Con respecto a las muestras de las calicatas C-01, C-02 y C-03, el aumento del óptimo porcentaje de humedad es debido a que el relave minero mejora la capacidad de retención de agua, facilitando así la compactación del suelo. Por otro lado, en las muestras de las calicatas C-04 y C-05 se observa un decremento de hasta 4.98% respecto al OCH de la subrasante del terreno natural, esto ocurre debido a que al agregar el relave calificado como SM, esta mejora la distribución granulométrica, por ende la capacidad de soporte, ya que estas muestras inicialmente son arcillosos. Para conocer el óptimo porcentaje de humedad a utilizar, se dividió en dos tramos, un tramo de 100m que representa la muestra de la calicata C-04, donde el OCH será de 11.85%, es los demás tramos se toma el OCH como el promedio, esto es 10.18%.

Tabla 29.

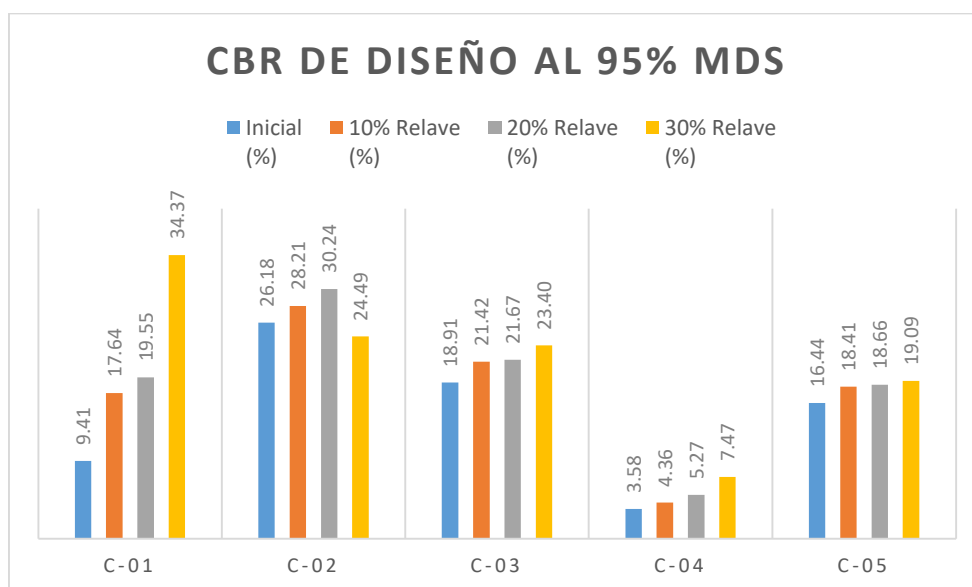
Comparación del CBR con la Adición del 10%,20% y 30% en peso de Relave Minero.

Calicata	Inicial (%)	10% Relave (%)	Variación (%)	20% Relave (%)	Variación (%)	30% Relave (%)	Variación (%)
C-01	9.41	17.64	87.46%	19.55	107.76%	34.37	265.25%
C-02	26.18	28.21	7.75%	30.24	15.51%	24.49	-6.46%
C-03	18.91	21.42	13.27%	21.67	14.60%	23.4	23.74%
C-04	3.58	4.36	21.79%	5.27	47.21%	7.47	108.66%
C-05	16.44	18.41	11.98%	18.66	13.50%	19.09	16.12%

Análisis. Al adicionar 10%, 20% y 30% de relave minero a todas los especímenes de la subrasante del terreno natural, el valor de soporte de CBR, al 95% de la máxima densidad seca mostró un aumento significativo como se visualiza en la Figura 12. En particular, para la calicata C-01, al adicionar el 30% de relave minero, el CBR aumentó de 9.41% a 34.37%, lo que representa una variación del 265.25% respecto a la muestra inicial de la subrasante.

Figura 12.

CBR adicionados los % de relave minero



En la calicata C-02, también se observó un incremento del CBR, alcanzando su valor máximo al agregar el 20% de relave minero, llegando a un CBR de 30.24%. Sin embargo, al adicionar un 30% de relave, el CBR disminuyó a 24.49% de CBR, representando un 6.46% respecto a la muestra inicial.

En la calicata C-03, se observó el incremento del CBR cuando se adicionó un 30% de Relave minero, de 18.91% de CBR de la muestra inicial a 24.49% de CBR reflejando una variación de 23.74%.

Finalmente, en las calicatas C-04 y C-05, al adicionar un 30% de relave minero, el CBR se incrementó de 3.58% a 7.47% para la calicata C-04, lo que representa una variación del 108.66% y la calicata C-05, el CBR aumentó de 16.44% a 19.09%, reflejando una variación del 16.12%.

Interpretación. De los CBR calculados, se observó que al adicionar un 30% del relave minero a la muestra de la subrasante del camino vecinal, el valor tuvo un mayor incremento, por lo que de este grupo se definió el CBR de diseño para el tramo de prueba. El criterio para elegir el valor de soporte de CBR de diseño de la zona de estudio, se obtuvo según lo descrito en el Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos, el cual describe si hay menos de 6 valores de CBR y si los resultados son parecido, se tomará el valor promedio, y si los resultados no son parecidos como en este caso, se puede colocar el valor más crítico o subdividir los tramos con valores parecidos y definir el valor promedio. En ese sentido, al observar los valores calculados, se subdividió el tramo de prueba en dos sectores, el sector que representa la calicata C-04, un tramo de 100m, por las características del terreno y el valor de CBR, en este tramo el CBR de diseño es de 7.47%, es decir cumple con la categoría S₂, subrasante regular. Para el resto de tramo, al ser valores parecidos, el valor de CBR es el promedio, siendo esta 25.35%, categorizado como S₄, subrasante muy buena.

4.1.4. Calcular el óptimo porcentaje de adición de relave minero a la subrasante y evaluar su comportamiento físico-mecánico en el camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023.

4.1.4.1. Cálculo del porcentaje óptimo de adición de Relave Minero.

Tabla 30.

Datos

de entrada para el análisis de Regresión Cuadrática.

Calicata	% Relave Minero	% Relave Minero²	% CBR
C-01	0.00	0.00	9.41
C-01	0.10	0.01	17.64
C-01	0.20	0.04	19.55
C-01	0.30	0.09	34.37
C-01	0.50	0.25	24.35
C-02	0.00	0.00	26.18
C-02	0.10	0.01	28.21
C-02	0.20	0.04	30.24
C-02	0.30	0.09	24.49
C-02	0.50	0.25	22.46
C-03	0.00	0.00	18.91
C-03	0.10	0.01	21.42
C-03	0.20	0.04	21.67
C-03	0.30	0.09	23.4
C-03	0.50	0.25	17.96
C-04	0.00	0.00	3.58
C-04	0.10	0.01	4.36
C-04	0.20	0.04	5.27
C-04	0.30	0.09	7.47
C-04	0.50	0.25	7.62
C-05	0.00	0.00	16.44
C-05	0.10	0.01	18.41
C-05	0.20	0.04	18.66
C-05	0.30	0.09	19.09
C-05	0.50	0.25	15.64

Análisis e Interpretación. Los valores de entrada para el análisis de regresión cuadrática, se tomó de manera general de todas las calicatas con sus adiciones del 10%, 20% y 30% de relave minero y sus resultados del CBR, esto con la finalidad de analizar la curva

descrita por los puntos y conocer el punto más alto donde el % de relave minero, hace que el valor del CBR sea más alto.

Tabla 31.

Estadísticas de la regresión

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coef. de correlación múltiple R	0.264612507
Coef. de determinación R ²	0.070019779
R ² ajustado	-0.014523877
Error típico	8.237834963
Observaciones	25

Análisis e Interpretación. Al analizar los valores estadísticos de la regresión, se observa que el coeficiente de correlación múltiple (R) es 0.27, indicando una correlación débil entre la cantidad de adición de relave minero y el porcentaje de CBR. El coeficiente de determinación (R²) es 0.07, lo que indica que solo el 7% de la variabilidad en el porcentaje de CBR puede ser explicada por la cantidad de adición de relave minero. Además, el R² ajustado de -0.0145 indica que el modelo cuadrático no mejora la predicción del porcentaje de CBR.

Tabla 32.

Análisis de Varianza

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	112.4076526	56.2038263	0.828208548	0.449998257
Residuos	22	1492.962347	67.86192488		
Total	24	1605.37			

Análisis e Interpretación. Dado que F=0.8282 es mayor que el valor crítico de F=0.45, se aceptó la hipótesis alternativa, es decir al adicionar los % de relave minero, mejora

suavemente el % de CBR. En este sentido, el Manual de Carreteras tiene un criterio de categorización según el valor del CBR encontrado, por ello se aplicó dicho criterio y este análisis es solo para obtener el % óptimo de adición de relave minero.

Tabla 33.

Coefficientes de la ecuación de la curva de regresión ajustada.

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
		<i>típico</i>	<i>t</i>		<i>95%</i>	<i>95%</i>
Intercepción	14.6694757	3.372479	4.3497596	0.0002567	7.6753810	21.6635
% Relave Minero	40.93132548	32.34830	1.2653313	0.2189905	-26.15495	108.017
% Relave Minero ²	-69.26111929	60.81056	-1.138965	0.26696828	-195.3745	56.85228

Análisis e Interpretación. Se llevó a cabo el análisis de regresión cuadrada, donde se muestra los coeficientes de la curva, siendo los siguientes: $\beta_0 = 14.6694757$, $\beta_1 = 40.93132548$, $\beta_2 = -69.26111929$ Según lo calculado, la ecuación de la curva se muestra a continuación.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$$

$$Y = 14.6694757 + 40.93132548X - 69.26111929X^2$$

Según el comportamiento del suelo, al adicionar un % de Relave minero, este alcanza un % de CBR máximo. Para encontrar dicho % de Relave Minero, se deriva la ecuación con respecto a X y luego se igualó a cero y se encontró los puntos críticos.

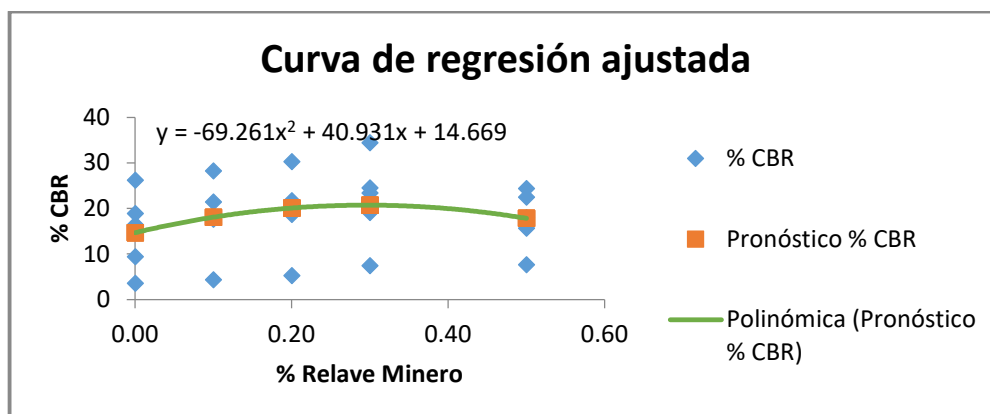
$$\frac{\partial}{\partial} = 40.93132548 + 2(-69.26111929)X = 0$$

Resolviendo para X=% de adición óptima de relave minero, entonces X=29.55% 30%.

Finalmente, el % de adición óptima de Relave Minero es 29.55%, que para fines de dosificación se usará 30%.

Figura 13.

Curva de regresión ajustada, %CBR vs % Relave minero



Análisis e Interpretación. Se muestra la curva más ajustada para el cálculo del % óptimo de relave minero, donde el % de CBR se hace máximo. Cabe mencionar que los puntos de CBR más bajos, pertenecen a la muestra de la calicata C-04, esta muestra se analizó de manera individual, ya que, según el criterio del Manual de Carreteras, los valores con respecto a las demás calicatas no son homogéneas.

4.1.4.2. Comportamiento de la Subrasante en un tramo de prueba del Camino Vecinal, al adicionar el porcentaje óptimo de Relave Minero.

Tabla 34.

Ubicación y material usado en el tramo de prueba.

Coordenadas	Suelo Natural (m3)	Relave minero (m3)	OCH (m3)
216566.973E 8895737.258N 3395.12 m.s.n.m.	1.80	0.54	0.28

30% SN

Análisis e Interpretación. La prueba se realizó en el tramo más crítico, según los resultados fue en el tramo de la calicata C-04, donde se cuenta con los datos de la MDS=1.74g/cm³ y un OCH=11.85%. Por otro lado, la prueba se realizó en un área de 6m² y

se excavó una profundidad de 0.30cm, esta altura se eligió dado el valor del CBR según el cuadro 11.1 del Manual de carreteras. La cantidad de relave minero fue de 0.54m^3 , lo que representa el 30%. El OCH fue de 11.85%, se adicionó y compactó con la plancha compactadora.

4.2. Contrastación de la Hipótesis

Hipótesis Nula:

H0: La subrasante del camino vecinal del distrito de Cotaparaco no presenta un mejor comportamiento físico-mecánico cuando se adiciona 10%, 20%, 30% de relave minero.

Hipótesis Alternativa:

H1: El comportamiento físico-mecánico de la subrasante del camino vecinal del distrito de Cotaparaco se mejora al adicionar 10%, 20%, 30% de relave minero.

Dado que $F=0.8282$ es mayor que el valor crítico de $F=0.45$, tal como se explica en el ítem 4.1.4.1. se aceptó la hipótesis alterna, es decir al adicionar los % de relave minero, mejora suavemente el % de CBR.

Finalmente, el propósito de este análisis estadístico es encontrar el % óptimo de relave minero para adicionar a la subrasante del terreno natural, y no determinar el valor de soporte de CBR de diseño, ya que el Manual de Carreteras utiliza otro criterio para calcular este valor. Por esta razón, se procede con el análisis de la regresión cuadrática.

4.3. Discusiones

Como primer objetivo, fue conocer las propiedades físico y químicas del relave minero de Ticapampa como agente estabilizante para la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, logrando así conocer las propiedades físicas del relave minero, se identificó como un suelo arenoso, con clasificación SUCS, como SM y AASTHO, como A-2-4 (0) y la cantidad que pasa la malla N°200 es de 18.36%, se trata de una arena limosa, con estos resultados, comparamos con la figura 4.1 del Manual de Carreteras MTC (2014) y se puede identificar al suelo en un valor de CBR, en un rango de 15% a 40%, y se categoriza al relave minero como un material regular para ser utilizado como estabilizador de subrasante. Por otro lado, el análisis químico muestra un pH 4.87, revelando que es un material ácido lo cual puede afectar la estabilidad química del suelo. En cuanto al análisis de metales pesados, contiene Aluminio (217.46 mg/Kg), hierro (120.70 mg/Kg), sílice (436.89 mg/Kg), lo cuales son los metales que pueden ayudar o mejorar la estabilidad, el valor del CBR y resistencia al desgaste del suelo a estabilizar. Los demás metales pesados, son tóxicos en concentraciones significativas y se debe gestionar adecuadamente para minimizar riesgos.

En este sentido, el estudio realizado por Romero, Flores, y Medina, Estudio de los metales pesados del relave minero abandonado en el distrito Ticapampa, (2008), determinaron por Difracción de Rayos X, que la muestra está asociada a cantidades elevadas de sulfuros metálicos, como la piritita y la galena, estos sulfuros son los que generan las aguas ácidas, sin embargo la muestra del relave está asociada al cuarzo en un contenido del 80%, este permite el encapsulamiento de los metales pesados presentes en el relave. En consecuencia, se puede colegir que la encapsulación es beneficiosa ya que contribuye en reducir la movilidad de los metales pesados al medio ambiente, esto influye en la disminución en el riesgo de contaminación del suelo, es decir aumenta la posibilidad de usarla como material estabilizante con menor riesgo.

El segundo objetivo, fue identificar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, es decir, este objetivo nos permitió conocer las propiedades iniciales para luego compararlas al adicionar porcentajes de relave minero. De la misma manera, Romero J. (2020), en su investigación “Estabilización de suelos de subrasante usando el relave minero de Ticapampa, en la carretera Catac – Túnel Kahuish. Consideró conocer las características del suelo de la subrasante de la carretera, es decir, esta secuencia concuerda con lo planteado en nuestra investigación.

Para analizar las características de la subrasante al adicionar relave minero se planteó **el tercer objetivo**, esto es “Analizar las características físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal al adicionar 10%, 20% y 30% en peso de relave minero en comparación al estado inicial de la capa de subrasante del camino vecinal de Cotaparaco” en consecuencia se pudo detallar y comparar todas las propiedades físicas y mecánicas con las propiedades del terreno inicial. De forma similar Chipana, (2018), hizo uso de un relave minero para mejorar las propiedades mecánicas del la carretera Anea-Suches, sin embargo las adiciones de relave minero consideradas fueron de 30%, 50% y 70%, es decir no concuerda con las proporciones a las que se concluyó en este trabajo.

Finalmente como cuarto objetivo, calcular de la cantidad óptima de adición de relave minero a la subrasante y evaluar su comportamiento físico-mecánico en el camino vecinal de Cotaparaco, en esta investigación se realizó un análisis estadístico de regresión cuadrática, con lo que nos llevó a predecir cantidad óptima de adición de relave minero al terreno de subrasante, con lo que se obtuvo el mejor valor de soporte de CBR, cabe destacar que para completar la regresión cuadrática se realizó una prueba adicional agregando 50% de relave minero y se realizó el ensayo del CBR. En cambio, Perez y Rodriguez (2021), en su investigación sobre como influye si se dosifica relave minero a un material granular y evaluar

su comportamiento en la compactación y la capacidad de la carretera Carata-Motil, realizaron la prueba ANOVA, determinando que la cantidad óptima de adición de relave minero al material granular de la cantera es de 20%. Cabe mencionar que esta prueba es usada para conocer la existencia de diferentes estadísticas significativas entre las medidas de tres o más grupos, es decir comparar resultados de valores de soporte CBR, esto no concuerda con nuestra investigación ya que en nuestro caso nos centramos en calcular la óptima adición de relave minero donde el valor de soporte CBR era mayor, mas no comparar valores de CBR.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- En base a los resultados, se acepta la hipótesis del estudio, que plantea la adición de relave minero en porcentajes de 10%, 20% y 30% al material de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, provincia de Recuay, Áncash 2023.

- Se determinó las propiedades físico y químicas del relave minero como un suelo de tipo SM y con el sistema AASTHO, como un suelo de tipo A-2-4(0), es decir un suelo compuesto por arena con limo color verdoso, según el Manual de Carreteras (2014), basados en las características anteriores, el suelo presenta un rango de CBR de 15% a 40%, calificándose de bueno a regular para ser utilizado como material estabilizador de la subrasante. El análisis químico demuestra que el relave minero tiene un pH de 4.87, es decir es un material ácido y podría afectar la estabilidad química del suelo, por otro lado, contiene Aluminio (217.46 mg/Kg), hierro (120.70 mg/Kg), sílice (436.89 mg/Kg), lo cuales son los metales que pueden ayudar o mejorar la estabilidad, capacidad de soporte y resistencia al desgaste del suelo a estabilizar, los demás son metales pesados tóxicos que se debe gestionar de manera adecuada para minimizar riesgos, en este sentido, Romero, Flores, y Medina (2008), revelaron que la muestra de relave minero está asociada al cuarzo en un contenido del 80%, permitiendo el encapsulamiento de los metales pesados y contribuyendo a reducir la movilidad de los metales pesados.

- Se identificó las propiedades físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023. Se identificaron dos grupos de muestras de suelos los que comparten propiedades físicas similares, por un lado, están los tramos de las calicatas C-01 y C-02 que se clasifican según el sistema SUCS como GC-GM y según AASTHO, como A-2-4(0) es decir gravas limosas arcillosas y arena, también se encuentra el tramo de la calicata C-

03, la cual se clasificó según SUCS como un suelo SM y según AASTHO, como A-1B(0) siendo una arena limosa, con contenido de fragmentos de gravas. Estas muestras tienen un IP menor a 7 y la cantidad que pasa la malla N°200 menor a 50%, es decir estos suelos son poco arcillosos y plasticidad baja. De la misma manera, las propiedades mecánicas también comparten similitudes, es decir las muestras C-01, C-02 y C-03 tienen un promedio de máxima densidad seca de 2.1g/cm^3 y un óptimo porcentaje de humedad de 8.79% y un valor de soporte de CBR mayor a 6%, categorizándose como subrasantes de regular a buena y no necesitarían estabilización o reemplazo de suelo de la subrasante.

Por otro lado, en el segundo grupo, la muestra de la calicata C-04 se clasifica según el sistema SUCS como CL y según ASSTHO como A-4(2), es decir una arena arcillosa y limosa, también la muestra de la calicata C-05, según el sistema SUCS se clasifica como SC una arena arcillosa y según AASTHO como A-4(1), un suelo limoso. Estas muestras presentan un $IP > 7$, lo que representan suelos de mediana plasticidad, considerados arcillosos y presentarían tramos riesgosos para suelos de subrasante ya que presenta una alta sensibilidad al agua. De la misma manera las propiedades mecánicas, comparten similitudes en su MDS y OCH, que en promedio son 1.84g/cm^3 y 12.08% respectivamente. Con respecto al valor de soporte CBR de la calicata C-04, es menor que 6, y se categoriza como una subrasante ineficiente, mientras que la muestra de la calicata C-05 se categoriza como una subrasante buena.

- Se analizó las propiedades físico-mecánicas de la subrasante del camino vecinal al adicionar 10%, 20% y 30% en peso de relave minero en comparación al estado inicial de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023, del cual se observó un comportamiento positivo de las características físicas-mecánicas de todas las especímenes ensayados, es así que al adicionar un 30% de relave minero los resultados se incrementaron favorablemente en un 80% de las muestras. En este sentido se identificó dos grupos de

muestras las que representan a dos tramos de 5km analizados. El primer tramo es definido por las propiedades físicas mecánicas de la muestra de la calicata C-04, lo que representa 100m de longitud, en este tramo se definió la máxima densidad seca igual a 1.737g/cm^3 , el óptimo porcentaje de humedad de 11.85% y según el criterio del Manual de Carreteras (2014), un valor de CBR de diseño al 95% de la MDS de 7.47% categorizada como una subrasante regular.

El segundo tramo es representado por las muestras de la calicata C-01, C-02, C-03 y C-05 debido a que presentaron mejores propiedades, en este sentido el valor de la MDS y OCH en promedio es 2.061g/cm^3 y 10.18% respectivamente. Por otro lado, siguiendo el criterio del Manual de Carreteras (2014), el valor de soporte CBR de diseño al 95%MDS es de 25.35%, esto debido a la homogeneidad de los resultados, categorizándose como una subrasante muy buena.

Se calculó la cantidad óptima de adición de relave minero a la subrasante y se evaluó su comportamiento físico-mecánico en el camino vecinal de Cotaparaco, Recuay-2023. Mediante la prueba estadística de regresión cuadrática se obtuvo un porcentaje óptimo de adición de relave minero igual a 29.55% y para facilitar la dosificación se redondeó a 30%.

Finalmente, se evaluó el comportamiento de la subrasante al agregar un 30% de relave minero en el tramo crítico de 100 m correspondiente a la calicata C-04. La prueba de densidad de campo con el ensayo del cono de arena (ASTM D1556), mostró un grado de compactación de 103.23%, superando el mínimo requerido del 95% de la MDS. Esto garantiza que el suelo, con la adición de relave minero, tiene una densidad adecuada y proporciona el soporte necesario, cumpliendo con la categoría de subrasante Regular con un valor de CBR superior a 6%.

5.2. Recomendaciones

A los futuros investigadores se les recomienda lo siguiente:

- Continuar investigando las características físico-mecánicas de diferentes tipos de suelos y su comportamiento al añadir distintos porcentajes de relave minero, con un enfoque especial en suelos arcillosos, que han mostrado mejoras significativas en estabilidad y compactación.
- Evaluar el impacto a largo plazo de utilizar el relave minero como agente estabilizante de la subrasante del suelo, es decir asegurar que las prácticas sean sostenibles y no generen problemas ambientales.
- Desarrollar estudios a largo plazo sobre el efecto del encapsulamiento de metales pesados en el relave minero y su capacidad con la finalidad de disminuir la contaminación ambiental y aumentar la estabilidad del suelo.

A las autoridades locales se les recomienda lo siguiente:

- Promover el uso del Relave minero en suelos arcillosos, debido a las mejoras observadas en esta investigación e implementar normativas para el monitoreo y control de las prácticas cuidando la salud y medio ambiente.
- Desarrollar y financiar estudios adicionales sobre el encapsulamiento de metales pesados en el relave minero, y aprovechar su alto contenido de cuarzo (80%) para reducir la movilidad de estos metales y minimizar el riesgo de contaminación del suelo.
- Fomentar la colaboración entre universidades, institutos de investigación y empresas mineras para explorar nuevas aplicaciones del relave minero en la estabilización y mejora de suelos subrasantes.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

VI. Referencias Bibliográficas y Virtuales

- Ahmari, S., Chen, R., & Zhang, L. (2012). GeoCongress 2012: State of the Art and Practice in Geotechnical Engineering. *Utilization of Mine Tailings As Road Base Material*. Obtenido de <https://doi.org/10.1061/9780784412121.374>
- Arias, V. (2022). *Incorporación de Relave Minero en Subbase del Pavimento Flexible Km 0+000 al Km 1+000 Carretera Ananea – Rinconada, Putina, Puno, 2022*. (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Cesar Vallejo), Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/93233>
- Braja M., D. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. Cengage Learning Editores. Obtenido de <https://latam.cengage.com/libros/fundamentos-de-ingenieria-de-cimentaciones/>
- Cárdenas, F. (2019). *Propuesta de uso de relaves de mina polimetálica en la fabricación de unidades de albañilería - caso ex unidad minera Mercedes 3*. (Tesis para optar el título de INgeniro Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas), Lima.
- Chipana, E. (2018). *Empleo de relave minero para el mejoramiento de las características mecánicas de la carretera Ananea-Suches*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez). Obtenido de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/1674>
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (Quinta ed.). México, D.F.: Limusa S.A.:
- D Castro, L., Cordeiro, G., Castro, J., & Fiorotti, R. (2016). Journal of Materials in Civil Engineering. *Using Iron Ore Tailings from Tailing Dams as Road Material, Volumen 28(No.10)*. Obtenido de [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001613](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001613)

- Mahmood, A., & Mulligan, C. (2010). Actas de la Conferencia Internacional Anual sobre Suelos, Sedimentos, agua y energía. *Investigación sobre el uso de relaves mineros como base de carreteras sin pavimentar, Volumen 12*,(Artículo 11). Obtenido de [:https://scholarworks.umass.edu/soilsproceedings/vol12/iss1/11](https://scholarworks.umass.edu/soilsproceedings/vol12/iss1/11)
- Manjarrez, L., & Zhang, L. (2018). Journal of Materials in Civil Engineering. *Utilization of Copper Mine Tailings as Road Base Construction Material through Geopolymerization, Volumen 30*(No. 9). Obtenido de [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002397](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002397)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos*. Lima. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMA S/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMA%20S/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)
- Obanto, T. (2009). *Sondeos Geotécnicos y Calicatas*. Hyuelva, España. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32077265/Sondeos-geotecnicos-calicatas-libre.pdf?1391488749=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSondeos_Geotecnicos_y_Calicatas_Por.pdf&Expires=1717521506&Signature=dxBXLqsdpiC750w2~lMFtpxYvyvF95nMiTQsx
- Perez, M., & Rodriguez, J. (2021). *Influencia de la dosificación de relave minero sobre la compactación y la capacidad de soporte de un material granular para el afirmado de la carretera Carata-Motil*. (Tesis par aobtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Trujillo), Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16774>

- Romero, A., & Flores, S. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Industrial Data*, 75-82. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81619984010>
- Romero, A., Flores, S., & Medina, R. (2008). Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 11, 13-16. Obtenido de <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/RFIGMMG-22-1.pdf>
- Romero, J. (2020). *Estabilización de suelos de subrasante usando relave minero de Ticapampa en la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish –Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha)-2017*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo), Huaraz. Obtenido de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4434>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (s.f.). *Preguntas Frecuentes sobre Relaves*. Chile. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/>
- Valle, R. (1968). *Carreteras, Calles y Aeropistas. Principios Generales de la Mecánica de Suelos Aplicados a la Pavimentación*. Caracas: El Ateneo.


CAPÍTULO VII.

ANEXOS

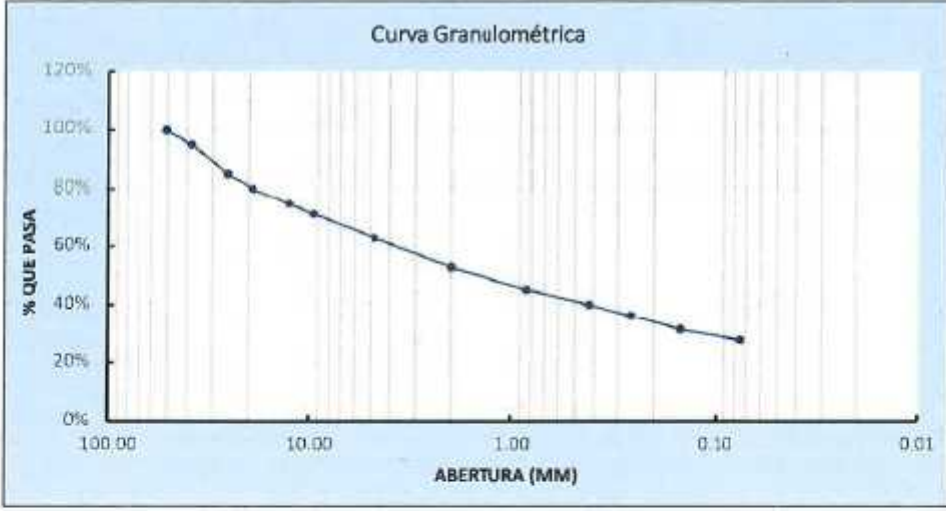
VII. Anexos

7.1. Anexo 01.- Ensayos del laboratorio

7.1.1. Calicata N° - 01


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS					
Tests:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adyacente relave minero, Recuay - 2023				
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.				
Muestra:	Calicata N° 01 Estrato subrasante	Profundidad:	1.50 m		
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	889575.00 m S - 216018.00 m E		
1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)					
Peso total de la muestra (g)	5084.20	Peso final de la muestra (g)	5075.70	Variación	0.17%
MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	246.800	246.800	4.86%	95.14%
1"	25.400	502.100	748.900	14.75%	85.25%
3/4"	19.000	264.800	1013.700	19.97%	80.03%
1/2"	12.500	278.800	1292.500	25.46%	74.54%
3/8"	9.500	177.600	1470.100	28.96%	71.04%
N°4	4.760	413.700	1883.800	37.11%	62.89%
N°10	2.000	506.100	2389.900	47.09%	52.91%
N°20	0.840	300.600	2770.500	54.74%	45.26%
N°40	0.425	269.700	3048.200	60.05%	39.95%
N°60	0.260	192.900	3241.100	63.86%	36.14%
N°100	0.149	251.000	3492.100	68.80%	31.20%
N°200	0.075	187.900	3680.000	72.50%	27.50%
> N°200		1395.700	5075.700	100.00%	0.00%

Curva Granulométrica



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.671	27.325	27.995
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	169.609	163.286	148.428
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	156.807	153.027	138.012
4. Peso agua (gr)	12.802	10.259	10.416
5. Peso Suelo seco (gr)	129.136	125.702	110.017
6. Contenido Humedad (%)	9.91%	8.16%	9.47%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	9.18%		

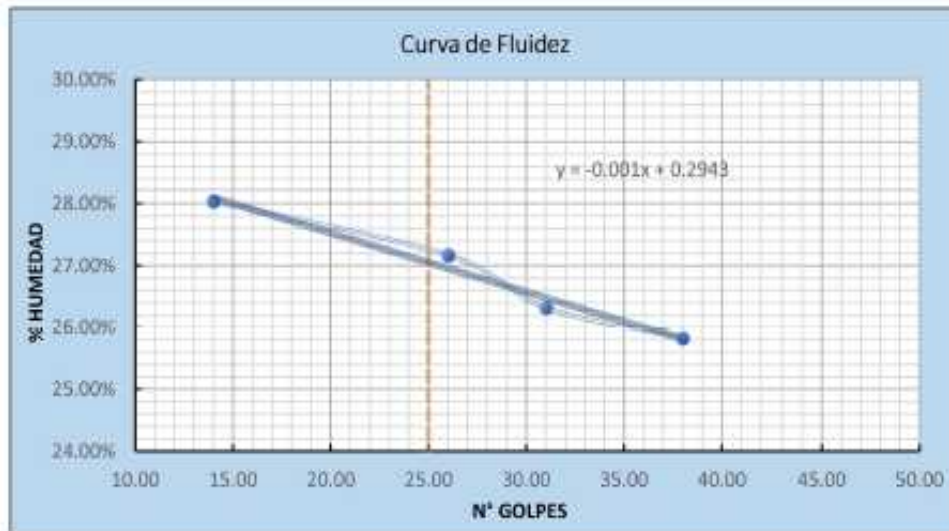


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 Estrato subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8856775.00 m S - 216010.00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	38.000	31.000	26.000	14.000
2. Peso de la tara (gr)	27.698	28.488	28.439	27.942
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	43.908	42.730	40.351	39.805
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	40.581	39.762	37.806	37.207
5. Peso agua (gr)	3.327	2.968	2.545	2.598
6. Peso Suelo seco (gr)	12.883	11.274	9.367	9.265
7. Contenido Humedad (%)	25.82%	26.33%	27.17%	28.04%
8. Limite Líquido (%)	27.05%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	28.501	27.136	27.530
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	33.159	31.201	33.114
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	32.440	30.454	32.217
4. Peso agua (gr)	0.719	0.747	0.897
5. Peso Suelo seco (gr)	3.939	3.318	4.687
6. Contenido Humedad (%)	18.25%	22.51%	19.14%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	19.97%		

C. ÍNDICE PLASTICO

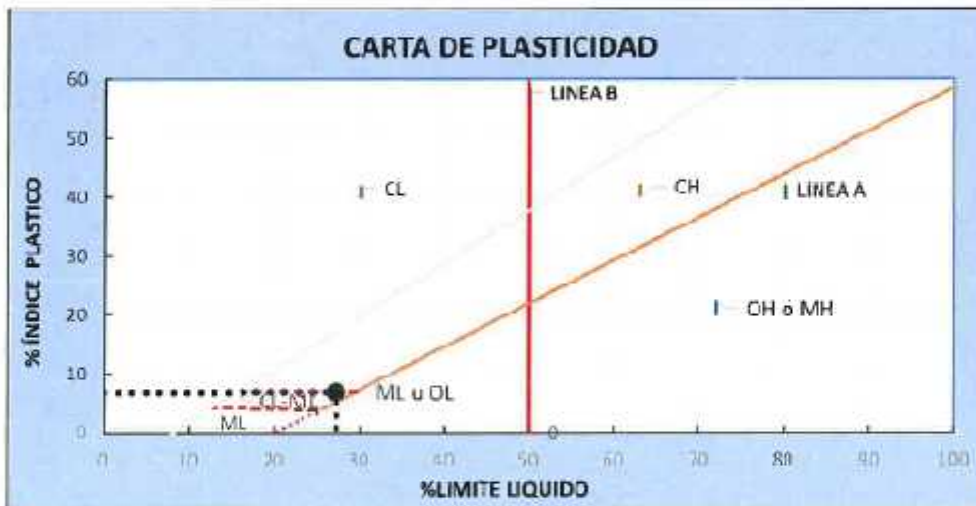
IP = Limite Líquido - Limite Plástico = **7.09%**



Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vecinal de Colapazco al edificio relieve minero, Rosay - 2023*		
Localización:	Distrito de Colapazco, Provincia Requena, Arequipa.		
Muestra:	Calicata N° 01 Estrato subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8895775.0 m S - 21010 03 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	27.50%	% FINOS < 50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	48.81%	% GRAVA > 50%	GRAVA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LIMITES	CC: NP
		ATTERBEG	LL: 27%
			IP: 7%



En conclusión es un suelo: **GC-GM** GRAVA LIMOSA ARCILLOSA ARENOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-2
3. Sub Grupo	A-2-4	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-2-4	GRAVAS, ARENAS LIMOSAS Y ARCILLOSAS	EXCELENTE O BUENO



En conclusión es un suelo: **A-2-4(0)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Colaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"				
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.				
Muestra:	Calicata N°	01	Estrato	subrasante	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Enero del 2024				Coordenadas: 886575.00 m S - 718010.00 m E

Profundidad de Excavación:	1.50 m.
-----------------------------------	---------

Nivel Freático:	NP
------------------------	----

Prof. (m)	Descripción visual	CLASIFICACIÓN		SIMBOLOGÍA GRÁFICA	Hum. Nat.	LIMITES ATTERBEG			GRANULOMETRÍA %		
		SUCS	AASHTO			LL %	LP %	IP	GRAVAS	ARENAS FINOS	
0.00	Material escorbros (no considerado en la clasificación)										
0.10											
1.50	con un espesor de 1.40 m, de arena arcillosa, color beige oscuro, en condición un poco húmedas, consistencia muy suave, cementación mediana y estructura homogénea.	GC-GM	A-2-4(0)		9.18%	27.13%	20.23%	6.90%	37.11%	35.39%	27.50%



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		 UNS <small>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</small>	
Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash,		
Muestra:	Calicata N°: 01 Estrato: subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	895775.00 m S - 218010.00 m E

1. GRAVEDAD ESPECÍFICA (MTC E 206)

AGREGADO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra	1 1/2"
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr) (A)	5104.00
Masa de la muestra seca (gr) (B)	5000.00
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr) (C)	3197.50
Gravedad Especifica $A/(A-C)$	2.68
Gravedad Especifica Aparente, $G_a = B/(B - C)$	2.77
Gravedad Aparente, $D_a = 0.9975A/(A - C)$	2.77

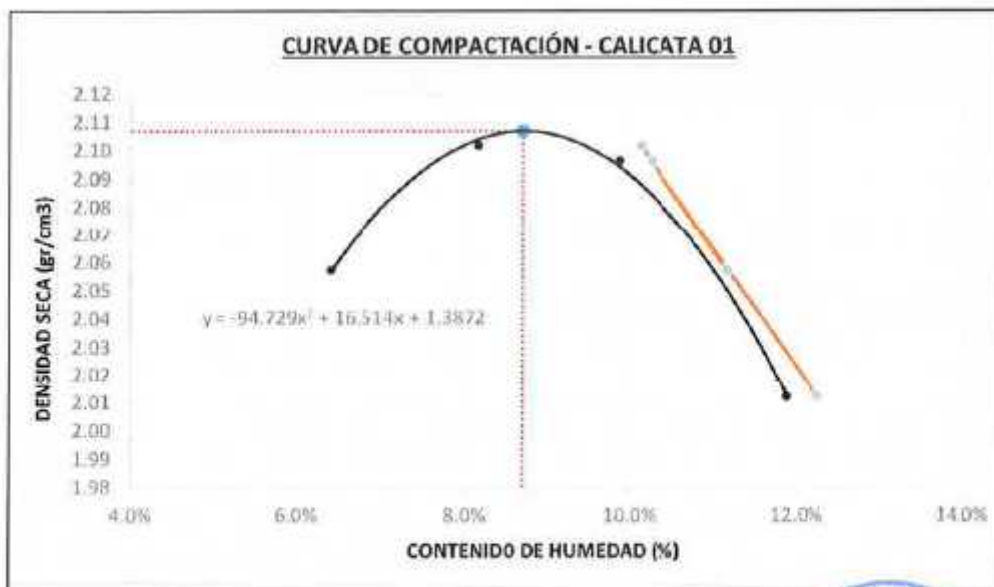
Observación:



Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N°: 01	Estado: subrasante	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8895775.00 m S - 216010.00 m E


ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6011.80	6011.80	6011.80	6011.80
2. Peso molde + muestra húmeda	10660.20	10838.90	10902.30	10791.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	4648.40	4827.10	4890.50	4779.40
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.189	2.273	2.303	2.251
CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	210.70	213.50	211.50	179.60
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	675.40	762.10	645.50	732.80
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	647.40	720.70	606.50	674.10
4. Peso agua (gr)	28.00	41.40	39.00	58.70
5. Peso Suelo seco (gr)	436.70	507.20	395.00	494.50
Contenido Humedad (%)	6.412%	8.162%	9.873%	11.871%
Densidad Seca (gr/cm³)	2.057	2.102	2.096	2.012



Densidad Máxima	2.107 gr/cm3
Humedad Óptima	8.72%

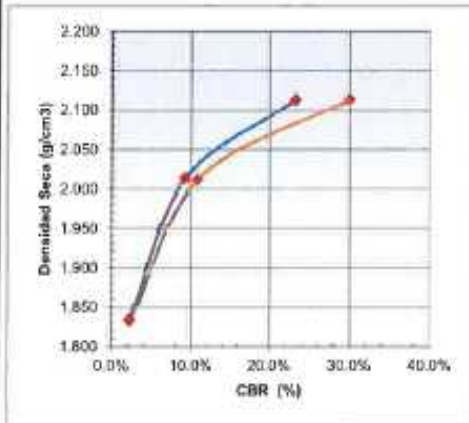


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA								
Tesis:		"Comportamiento físico-mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotapiraco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"												
Localización:		Distrito de Cotapiraco, Provincia Recuay, Ancash												
Muestra:		Callejón N° 01 Estrato subrasante			Profundidad:		1.50 m							
Fecha:		Enero del 2024			Coordenadas:		444176.00 + S - 218019.00 + E							
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°		Molde 1		Molde 2		Molde 3								
Numero de capas		5		5		5								
Numero de Golpes por capa		56		25		10								
Condiciones de la Muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO							
1. Peso del molde (gr)		4206.70		4217.00		4217.40								
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)		9046.50		8773.70		8410.50								
3. Peso muestra húmeda (gr)		4839.80		4556.70		4193.10								
4. Volumen molde (cm³)		2122.44		2122.44		2122.44								
5. Densidad húmeda (gr/cm³)		2.28		2.15		1.98								
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Peso de la tara (gr)		27.974		28.148		27.976								
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)		185.22		194.60		167.73								
3. Peso tara + Suelo seco (gr)		173.65		184.13		157.67								
4. Peso agua (gr)		11.56		10.48		10.07								
5. Peso Suelo seco (gr)		145.68		155.98		129.69								
Contenido Humedad (%)		7.938%		6.72%		7.76%								
Densidad Seca (gr/cm³)		2.113		2.012		1.833								
CONTROL DE EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO (hrs)	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				mm	%		mm	%		mm	%			
4/03/2024	11:30		0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00			
7/03/2024	11:30	24.00	12.50	0.318	0.25	25.60	0.650	0.5	19.00	0.483	0.38			
8/03/2024	11:30	48.00	73.10	0.587	0.46	44.50	1.130	0.81	35.90	0.912	0.72			
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (lb/plg²)	Molde 1 (56g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
pulg.	mm.		CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN		
			LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00		0	0.00			0	0.00			
0.025	0.635		91	30.33		58	19.33			25	8.33			
0.050	1.270		240	80.00		119	39.67			43	14.33			
0.075	1.905		448	149.67		193	64.33			56	18.67			
0.100	2.540	1000.00	654	218.00	233.18	23.32%	268	89.33	90.85	9.08%	66	22.00	21.37	2.14%
0.125	3.175		882	294.00			340	113.33			76	25.33		
0.150	3.810		1059	353.00			395	131.67			84	28.00		
0.175	4.445		1237	412.33			448	149.33			93	31.00		
0.200	5.080	1500.00	1392	464.00	449.04	29.94%	487	162.33	161.05	10.74%	99	33.00	34.13	2.28%
0.225	5.715		1516	505.33			530	176.67			107	35.67		
0.250	6.350		1648	549.33			565	188.33			114	38.00		
0.275	6.985		1744	581.33			600	200.00			122	40.67		
0.300	7.620	1900.00	1857	619.00			633	211.00			130	43.33		
0.325	8.255		1934	644.67			662	220.67			137	45.67		
0.350	8.890		2031	677.67			692	230.67			142	47.33		
0.375	9.525		2091	699.67			723	241.00			147	49.00		
0.400	10.160	2300.00	2199	730.00			753	251.00			154	51.33		
0.425	10.795		2268	752.67			780	260.00			160	53.33		
0.450	11.430		2342	780.67			804	268.00			165	55.00		
0.475	12.065		2403	801.00			833	277.67			172	57.33		
0.500	12.700	2600.00	2471	826.33			857	285.67			177	59.67		



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 Estrato subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	98575 88 m S - 218110 00 m E.

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



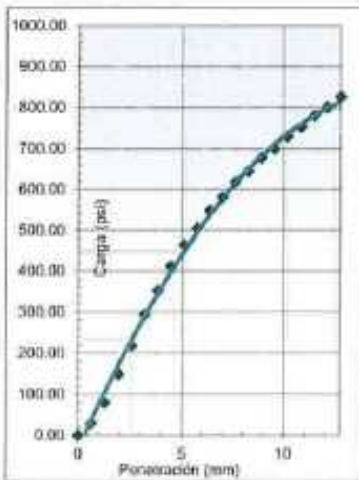
Máxima Densidad Seca (g/cm³): 2.107
Óptimo Contenido de Humedad (%): 8.72%
95% máxima densidad seca (g/cm³): 2.002

RESULTADOS :

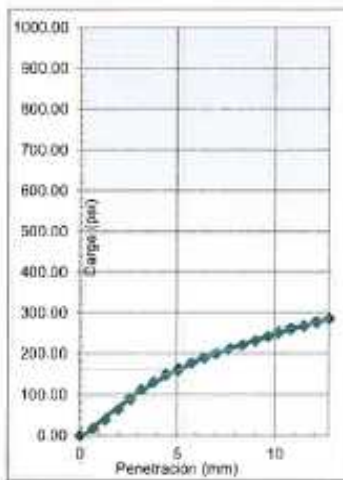
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:24.85% ; 0.2pulg:29.83%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:8.31% ; 0.2pulg:9.41%

OBSERVACIONES:

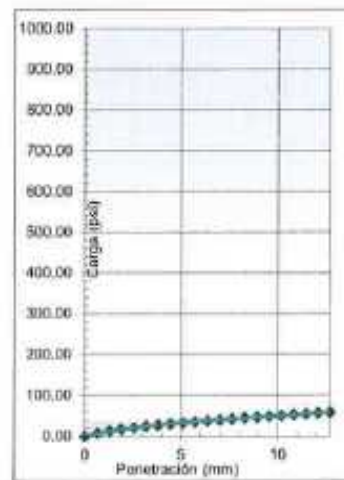
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



EC = 12 golpes

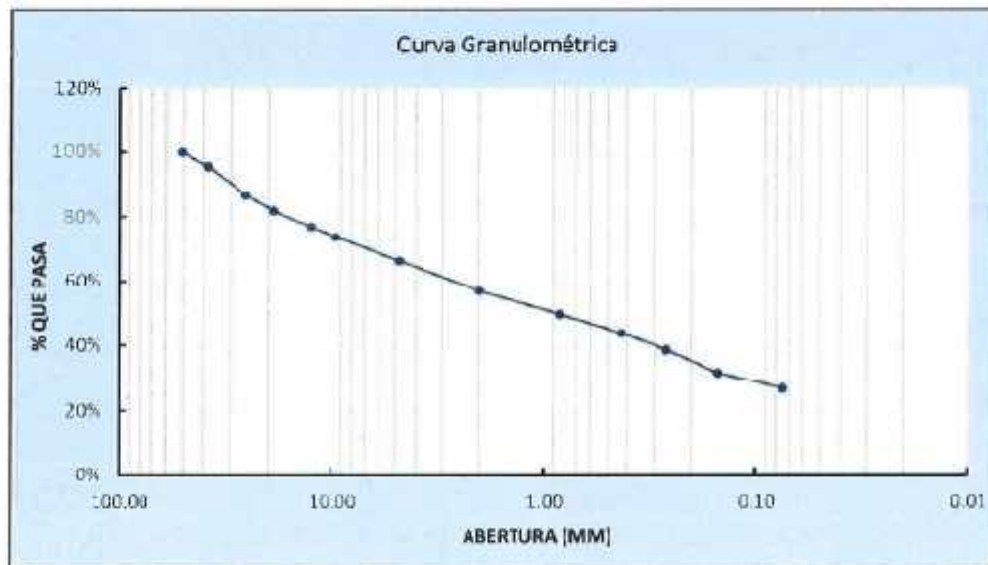


Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adionarrelave minero, Reduy - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	986775.00 m S - 21610.00 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5170.00	Peso final de la muestra (g)	5169.95	Variación	0.00%
------------------------------	---------	------------------------------	---------	-----------	-------

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Fasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	228.400	228.400	4.42%	95.58%
1"	25.400	464.810	693.210	13.41%	86.59%
3/4"	19.000	245.320	938.530	18.15%	81.85%
1/2"	12.600	268.010	1196.540	23.14%	76.86%
3/8"	9.500	164.460	1361.020	26.53%	73.67%
N°4	4.760	383.050	1744.070	33.73%	66.27%
N°10	2.000	479.020	2223.090	43.00%	57.00%
N°20	0.840	377.600	2600.690	50.30%	49.70%
N°40	0.425	304.000	2904.690	56.18%	43.82%
N°60	0.260	277.720	3182.410	61.56%	38.44%
N°100	0.149	359.460	3541.870	68.51%	31.49%
N°200	0.075	249.250	3791.160	73.53%	26.67%
>N°200		1378.790	5169.950	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.671	27.325	27.995
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	169.609	163.786	148.428
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	156.807	153.027	138.012
4. Peso agua (gr)	12.802	10.259	10.416
5. Peso Suelo seco (gr)	129.136	125.702	110.017
6. Contenido Humedad (%)	9.91%	8.16%	9.47%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	9.18%		

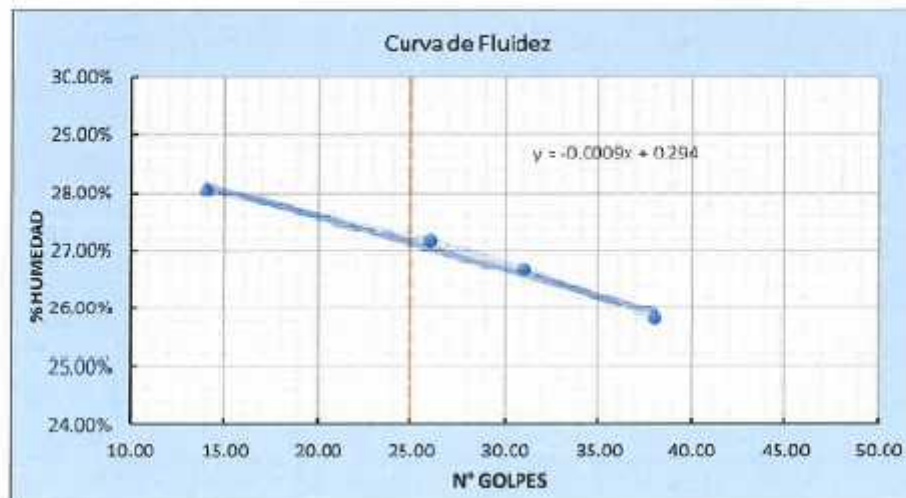


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal ce Cotaparaco al adicionar relieve minero, Recuay - 2025"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° D1 + 10% Relieve Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	886775.00 m S - 246016.00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTCE 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	38.000	31.000	26.000	14.000
2. Peso de la tara (gr)	27.698	28.488	28.439	27.942
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	43.908	42.770	40.351	39.805
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	40.581	39.762	37.806	37.207
5. Peso agua (gr)	3.327	3.008	2.545	2.598
6. Peso Suelo seco (gr)	12.883	11.274	9.367	9.265
7. Contenido Humedac (%)	25.82%	26.68%	27.17%	28.04%
8. Limite Liquido (%)	27.13%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	28.301	27.336	27.453
2. Peso tara + suelo humedo (gr)	33.289	31.081	33.173
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	32.440	30.454	32.217
4. Peso agua (gr)	0.849	0.627	0.956
5. Peso Suelo seco (gr)	4.139	3.118	4.764
6. Contenido Humedad (%)	20.51%	20.11%	20.07%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	20.23%		

C. ÍNDICE PLASTICO

IP = Limite líquido - Limite Plástico = 7%



Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8892775.00 m S - 71801000 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	26.67%	% FINOS < 50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
--	--------	---------------	-----------------------------

2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	54.00%	% ARENA > 50%	ARENA
--	--------	---------------	-------

CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	% FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU:	NP
		CRITERIO LÍMITES ATTERBEG	CC:	NP
			LL:	27%
		IP:	7%	



En conclusión es un suelo: **SC-SM** ARENA LIMOSA ARCILLOSA GRAVOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-2
3. Sub Grupo	A-2-4	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERÍSTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-2-4	GRAVAS, ARENAS LIMOSAS Y ARCILLOSAS	EXCELENTE O BUENO



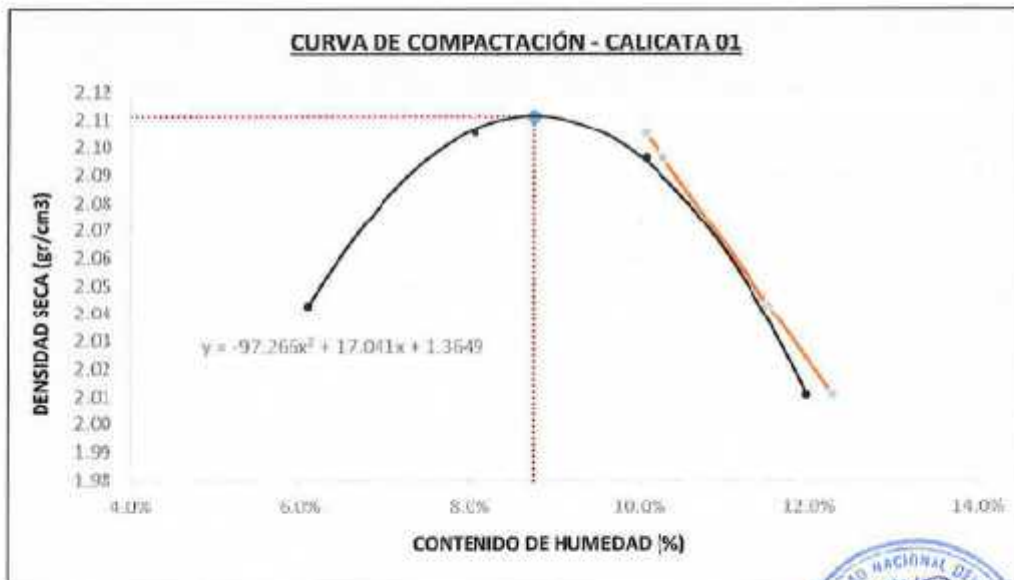
En conclusión es un suelo: **A-2-4(0)**

Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 + 10% Relave Minero.	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8950713.00 m S - 71601000 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6010.60	6010.60
2. Peso molde + muestra húmeda	10612.20	10840.50	10909.30	10791.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	4601.60	4829.90	4898.70	4780.60
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.167	2.275	2.307	2.251

CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	580.90	429.50	499.00	505.00
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	5155.70	5201.80	5200.00	5155.00
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	4892.90	4846.10	4770.00	4658.00
4. Peso agua (gr)	262.80	355.70	430.00	497.00
5. Peso Suelo seco (gr)	4312.00	4416.60	4271.00	4153.00
Contenido Humedad (%)	6.095%	8.054%	10.068%	11.967%
Densidad Seca (gr/cm³)	2.043	2.105	2.096	2.011



Densidad Máxima	2.111 gr/cm ³
Humedad Óptima	8.76%



Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Colapiraco al adyacinar relve minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotapiraco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	889775.69 m S - 218010.60 m E

**VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR
(MTC E 132 - ASTM D 1883)**

COMPACTACION DE LOS MOLDES CBR						
Molde N°	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Numero de capas	5		5		5	
Numero de Golpes por capa	56		25		10	
Condiciones de la Muestra						
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
1. Peso del molde (gr)	4207.80		4218.10		4218.70	
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	9088.70		8904.40		8611.80	
3. Peso muestra húmeda (gr)	4880.90		4686.30		4393.10	
4. Volumen molde (cm ³)	2122.44		2122.44		2122.44	
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.30		2.21		2.07	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA						
1. Peso de la tara (gr)	72.600		218.700		213.400	
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	1133.70		1471.40		1601.40	
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	1056.30		1377.70		1500.80	
4. Peso agua (gr)	77.40		93.70		100.60	
5. Peso Suelo seco (gr)	983.70		1167.00		1287.40	
Contenido Humedad (%)	7.87%		8.03%		7.81%	
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.132		2.044		1.920	

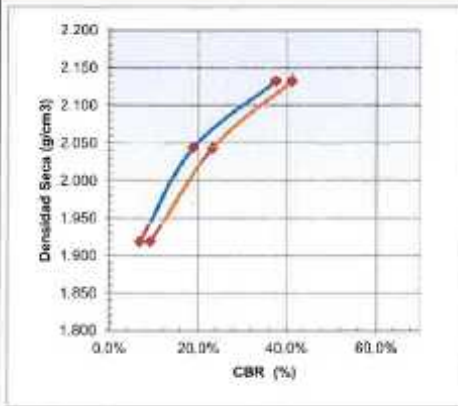
CONTROL DE EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO (hrs)	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
25/04/2024	13:00		0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
28/04/2024	13:00	24.00	14.50	0.368	0.29	1.50	0.038	0.03	11.00	0.279	0.22
29/04/2024	13:00	48.00	16.20	0.411	0.32	3.60	0.091	0.07	12.30	0.312	0.25

PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (lb/plg ²)	Molde 1 (50g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
pulg.	mm.		CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION		
			LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025	0.635		170	123.33			96	32.00			64	21.33		
0.050	1.270		185	226.33			221	73.67			114	38.00		
0.075	1.905		123	307.67			400	133.33			164	54.67		
0.100	2.540	1000.00	1166	388.67	376.37	37.64%	512	170.67	187.98	18.80%	213	71.00	71.60	7.16%
0.125	3.175		1336	445.33			638	212.67			266	88.67		
0.150	3.810		1530	510.00			811	270.33			319	106.33		
0.175	4.445		1685	561.67			932	310.67			373	124.33		
0.200	5.080	1500.00	1829	609.67	618.46	41.23%	1022	340.67	349.76	23.32%	426	142.30	142.99	9.53%
0.225	5.715		1979	659.67			1117	372.33			482	160.57		
0.250	6.350		2096	698.67			1259	419.67			535	178.33		
0.275	6.985		2240	746.67			1364	454.67			593	197.57		
0.300	7.620	1900.00	2344	781.33			1444	481.33			646	215.33		
0.325	8.255		2478	826.00			1510	503.33			697	232.33		
0.350	8.890		2564	854.67			1606	535.33			750	250.00		
0.375	9.525		2692	897.33			1723	574.33			795	265.00		
0.400	10.160	2300.00	2773	924.33			1799	599.67			846	282.30		
0.425	10.795		2891	963.67			1858	619.33			890	296.57		
0.450	11.430		2967	989.00			1928	642.67			945	315.00		
0.475	12.065		3086	1028.67			2023	674.33			988	329.33		
0.500	12.700	2600.00	3163	1054.33			2109	703.00			1041	347.00		



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparazo al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparazo, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Calicla N° 01 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	889375.00 m S - 216810.00 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



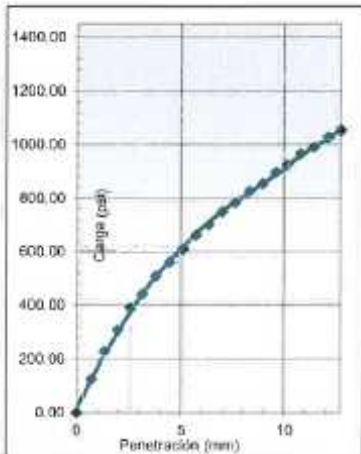
Máxima Densidad Seca (g/cm³): **2.111**
 Óptimo Contenido de Humedad (%): **8.76%**
 95% máxima densidad seca (g/cm³): **2.006**

RESULTADOS:

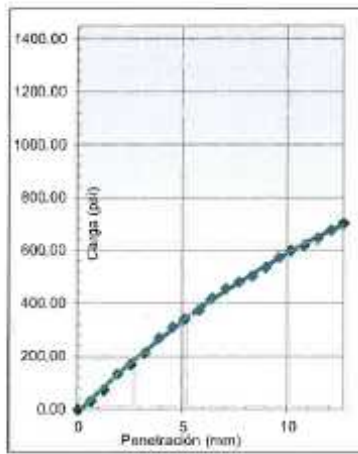
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.: 0.1pulg:32.38% ; 0.2pulg:36.42%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.: 0.1pulg:13.31% ; 0.2pulg:17.64%

OBSERVACIONES:

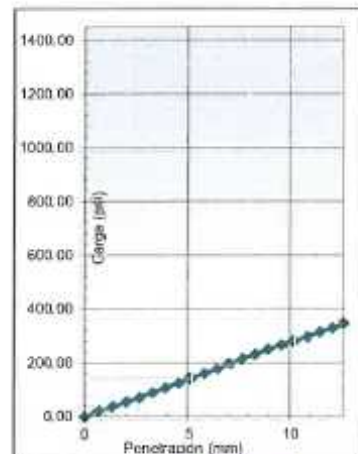
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



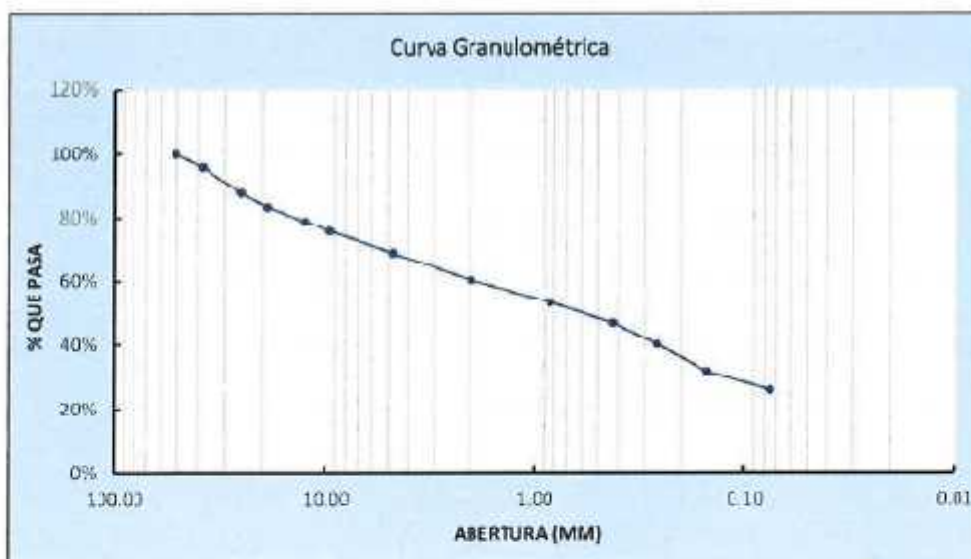
EC = 12 golpes



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub-resaca del camino vecinal de Cotaparaco al Edificion relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Arequipa.		
Muestra:	Calicata N° 01 - 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8845775.00 m S - 215611.00 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5498.52	Peso final de la muestra (g)	5498.45	Variación	0.00%
MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	222.660	222.660	4.05%	95.95%
1"	25.400	453.140	675.800	12.29%	87.71%
3/4"	19.000	239.160	914.960	16.64%	85.36%
1/2"	12.500	251.530	1166.490	21.21%	78.79%
3/8"	9.500	160.340	1326.830	24.13%	75.87%
N°4	4.750	373.440	1700.270	30.92%	68.08%
N°10	2.000	477.180	2177.450	39.60%	60.40%
N°20	0.840	385.260	2562.710	46.61%	53.39%
N°40	0.425	349.430	2912.140	52.96%	47.04%
N°60	0.250	367.390	3279.530	59.64%	40.36%
N°100	0.149	474.060	3753.590	68.27%	31.73%
N°200	0.075	316.530	4070.120	74.02%	25.98%
> N°200		1428.330	5498.450	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.671	27.325	27.995
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	169.639	163.286	148.428
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	156.807	153.027	138.012
4. Peso agua (gr)	12.802	10.259	10.416
5. Peso Suelo seco (gr)	129.136	125.702	110.017
6. Contenido Humedad (%)	9.91%	8.16%	9.47%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	9.18%		

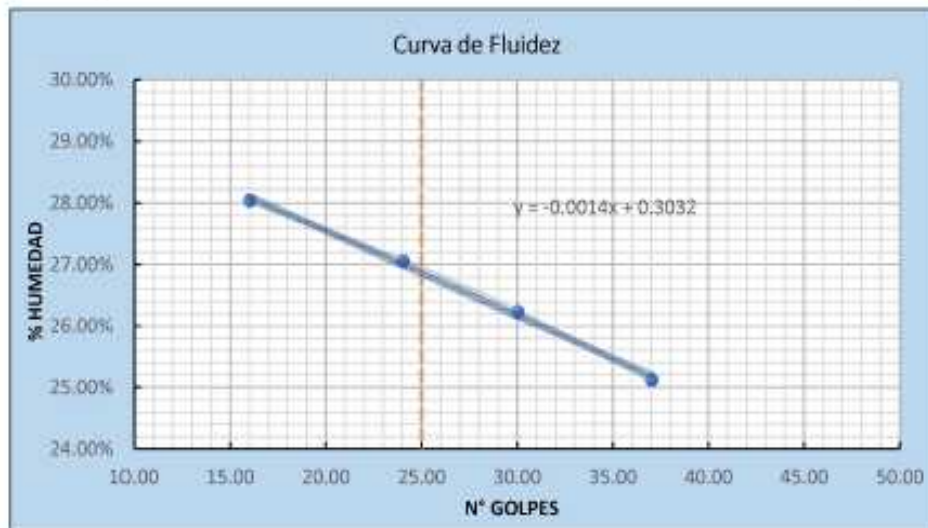


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8865775.00 m S - 298010.00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	37.000	30.000	24.000	16.000
2. Peso de la tara (gr)	27.698	28.488	28.439	27.942
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	43.818	42.720	40.341	39.805
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	40.581	39.762	37.806	37.207
5. Peso agua (gr)	3.237	2.958	2.535	2.598
6. Peso Suelo seco (gr)	12.883	11.274	9.367	9.265
7. Contenido Humedad (%)	25.13%	26.24%	27.06%	28.04%
8. Limite Liquido (%)	26.86%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	28.201	27.295	27.511
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	33.289	31.081	33.163
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	32.440	30.454	32.217
4. Peso agua (gr)	0.849	0.627	0.946
5. Peso Suelo seco (gr)	4.239	3.159	4.706
6. Contenido Humedad (%)	20.03%	19.85%	20.10%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	19.99%		

C. ÍNDICE PLASTICO

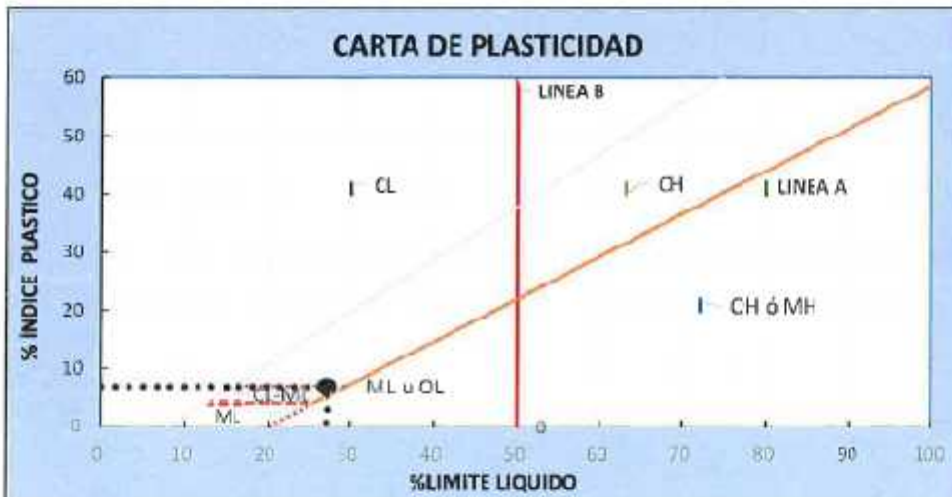
$$IP = \text{Limite Liquido} - \text{Limite Plástico} = 6.87\%$$



Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco al adlonar relieve mnero, Recay - 2023		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 + 20% Reava Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8895775.02 m S - 71801000 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	25.98%	% FINOS < 50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	58.23%	% ARENA > 50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	% FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LIMITES	CC: NP
		ATTERBEG	LL: 27%
			IP: 7%



En conclusión es un suelo: **SC-SM** GYAVA LIMOSA ARCILLOSA ARENOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-2
3. Sub Grupo	A-2-4	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-2-4	GRAVAS, ARENAS LIMOSAS Y ARCILLOSAS	EXCELENTE O BUENO

En conclusión es un suelo: **A-2-4(0)**

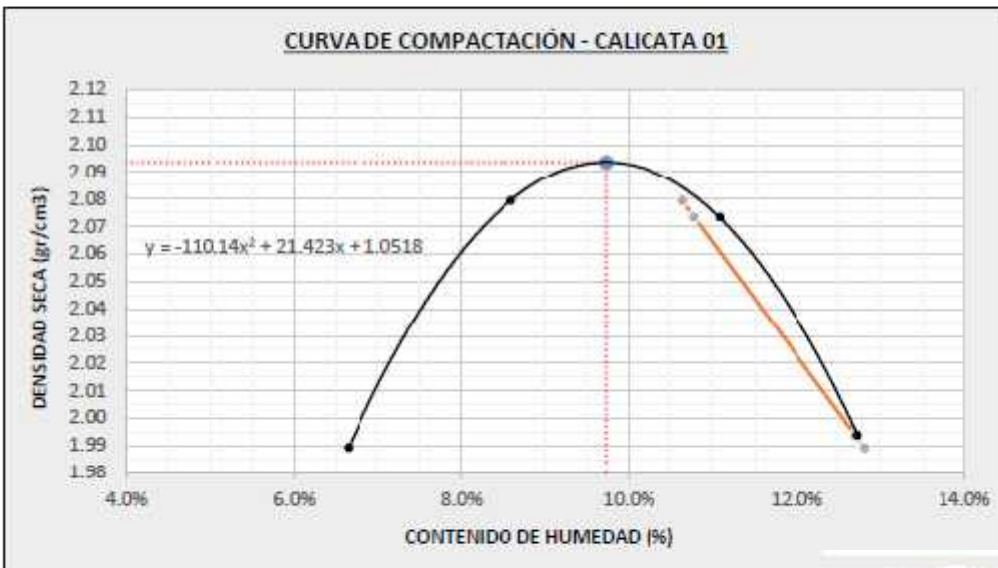


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8895775.00 m S - 218010.00 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)


PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6010.60	6010.60
2. Peso molde + muestra húmeda	10515.20	10805.50	10901.30	10783.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	4504.60	4794.90	4890.70	4772.60
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.122	2.258	2.303	2.248

CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	580.90	429.50	499.00	505.00
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	5150.70	5198.80	5197.20	5145.20
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	4865.90	4821.10	4728.20	4621.10
4. Peso agua (gr)	284.80	377.70	469.00	524.10
5. Peso Suelo seco (gr)	4285.00	4391.60	4229.20	4116.10
Contenido Humedad (%)	6.646%	8.601%	11.090%	12.733%
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.989	2.079	2.073	1.994



Densidad Máxima	2.094 gr/cm ³
Humedad Óptima	9.73%

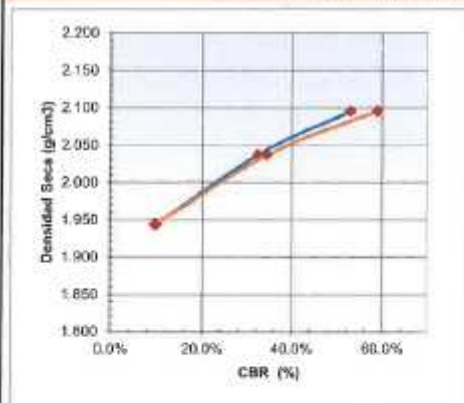


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA								
Tesis:	*Comportamiento físico-mecánico de la sub base de del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave mirero, Recay - 2023*													
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recay, Ancash.													
Muestra:	Calicata N°	01 + 20% Relave Minero	Profundidad:	150 m										
Fecha:	Enero del 2024		Cordenadas:	885776.00 N S 216018.00 W E										
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°	Molde 1		Molde 2		Molde 3									
Numero de capas	5		5		5									
Numero de Golpes por capa	56		25		10									
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO								
1. Peso del molde (gr)	4207.30		4110.40		4217.40									
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	9099.80		8972.80		8767.50									
3. Peso muestra húmeda (gr)	4892.50		4762.40		4556.10									
4. Volumen molde (cm ³)	2122.44		2122.44		2122.44									
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.31		2.24		2.14									
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Peso de la tara (gr)	71.300		210.700		240.300									
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	798.50		828.10		1373.30									
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	732.27		771.14		1267.71									
4. Peso agua (gr)	66.23		56.96		105.59									
5. Peso Suelo seco (gr)	660.97		560.44		1027.21									
Contenido Humedad (%)	10.02%		10.16%		10.28%									
Densidad Seca (gr/cm³)	2.095		2.037		1.944									
CONTROL DE EXPANSION														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION				
				mm	%		mm	%		mm	%			
25/04/2024	13:20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
26/04/2024	13:20	24.00	3.20	0.08	0.00	5.80	0.15	0.12	10.90	0.35	0.21			
27/04/2024	13:20	48.00	6.50	0.17	0.13	10.30	0.26	15.60	14.50	0.37	0.29			
28/04/2024	13:20	72.00	8.20	0.21	0.16	12.50	0.32	16.80	19.50	0.51	0.39			
29/04/2024	13:20	96.00	10.50	0.27	0.21	14.90	0.38	19.50	21.50	0.55	0.43			
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (lb/plg ²)	Molde 1 (56g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
pulg.	mm.		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION
			LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.300	0.300		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.325	0.535		320	106.67			256	85.33			130	43.33		
0.350	1.170		666	222.00			548	182.67			278	74.33		
0.375	1.305		1091	364.00			813	271.00			274	91.33		
0.400	2.140	1000.00	1471	491.00	>31.24	33.13%	398	532.67	325.00	52.50%	512	109.00	59.20	9.33%
0.425	3.175		1880	626.67			1178	392.67			342	114.00		
0.450	3.410		2181	727.33			1308	436.00			370	123.33		
0.475	4.445		2413	804.33			1430	476.67			395	131.67		
0.500	5.080	1500.00	2661	887.67	884.47	58.96%	1544	514.67	518.00	34.54%	430	143.33	145.38	9.69%
0.225	6.115		2808	936.00			1632	511.00			459	146.33		
0.250	6.150		3013	1004.33			1726	575.33			461	153.67		
0.275	6.985		3132	1044.00			1797	599.00			487	162.33		
0.300	7.420	1900.00	3299	1098.67			1883	627.67			507	169.00		
0.325	8.255		3409	1136.33			1946	648.67			534	178.00		
0.350	8.490		3558	1186.00			2025	675.00			553	184.33		
0.375	9.325		3669	1223.00			2083	694.33			572	190.67		
0.400	10.160	2300.00	3802	1267.33			2159	719.67			591	197.00		
0.425	10.795		3923	1307.67			2215	738.33			613	204.33		
0.450	11.430		4032	1344.00			2289	763.00			633	211.00		
0.475	12.065		4151	1383.67			2341	780.33			656	218.67		
0.500	12.700	2600.00	4245	1415.00			2405	801.67			675	225.33		



Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicla N° 01 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	895775.00 m S - 216210.00 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



Máxima Densidad Seca (g/cm³): 2.094
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 9.73%
 95% máxima densidad seca (g/cm³): 1.989

RESULTADOS :

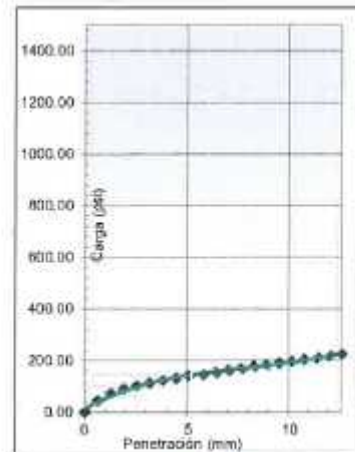
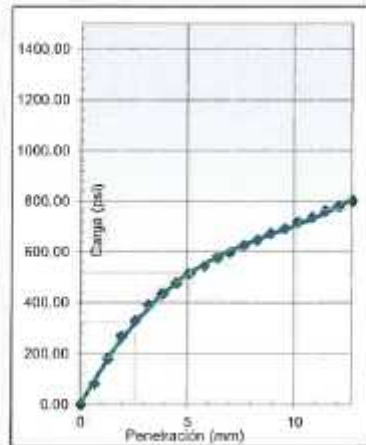
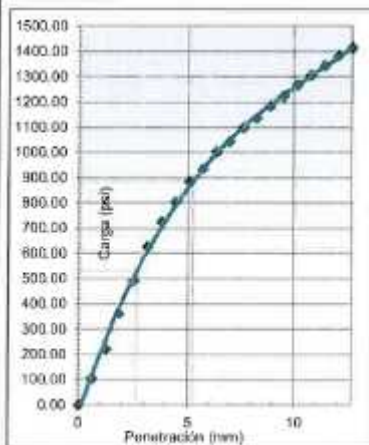
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:52.54% ; 0.2pulg:58.17%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:19.32% ; 0.2pulg:19.55%

OBSERVACIONES:

EC = 56 golpes

EC = 25 golpes

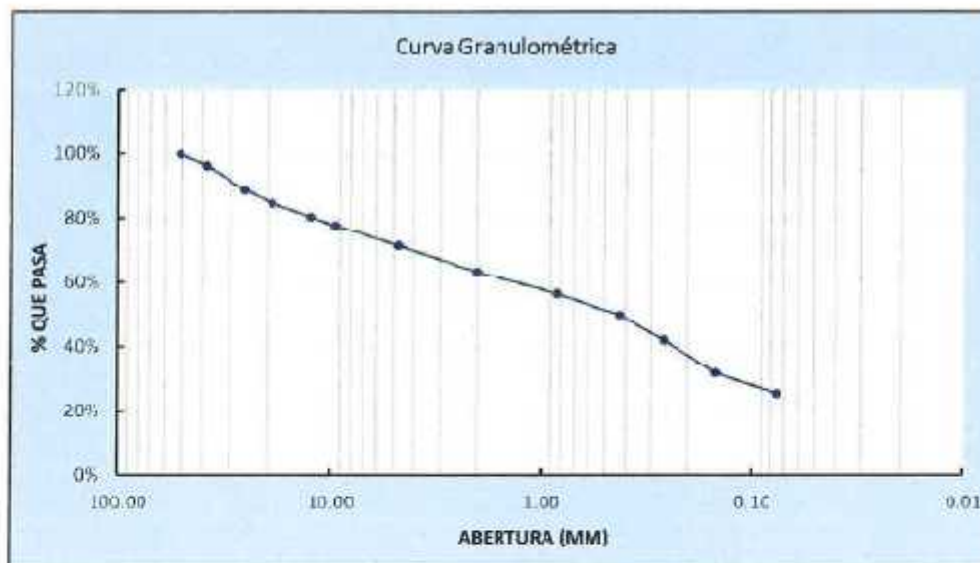
EC = 10 golpes



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vial de Cotaparaco al adionar relave minero Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 31 + 31% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	886575.00 mS - 215093.00 mE

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5893.62	Peso final de la muestra (g)	5888.61	Variación	0.00%
MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	220.490	220.490	3.74%	96.26%
1"	25.400	448.720	669.210	11.35%	88.65%
3/4"	19.000	236.820	906.030	16.36%	84.64%
1/2"	12.500	249.070	1155.100	19.58%	80.42%
3/8"	9.500	158.780	1313.880	22.27%	77.73%
N°4	4.750	369.800	1683.680	28.54%	71.46%
N°10	2.000	482.600	2166.280	36.73%	63.27%
N°20	0.840	398.470	2564.750	43.48%	56.52%
N°40	0.425	398.570	2963.320	50.24%	49.76%
N°60	0.250	459.500	3422.820	58.03%	41.97%
N°100	0.149	591.860	4014.680	68.08%	31.94%
N°200	0.075	386.220	4400.900	74.61%	25.39%
> N°200		1497.710	5898.610	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Pesc de la tara (gr)	27.671	27.325	27.995
2. Pesc tara + Suelo húmedo (gr)	169.509	163.286	143.428
3. Pesc tara + Suelo seco (gr)	156.807	153.027	133.012
4. Pesc agua (gr)	12.802	10.259	10.416
5. Pesc Suelo seco (gr)	129.136	125.702	110.017
6. Contenido Humedad (%)	9.91%	8.15%	9.47%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	9.18%		

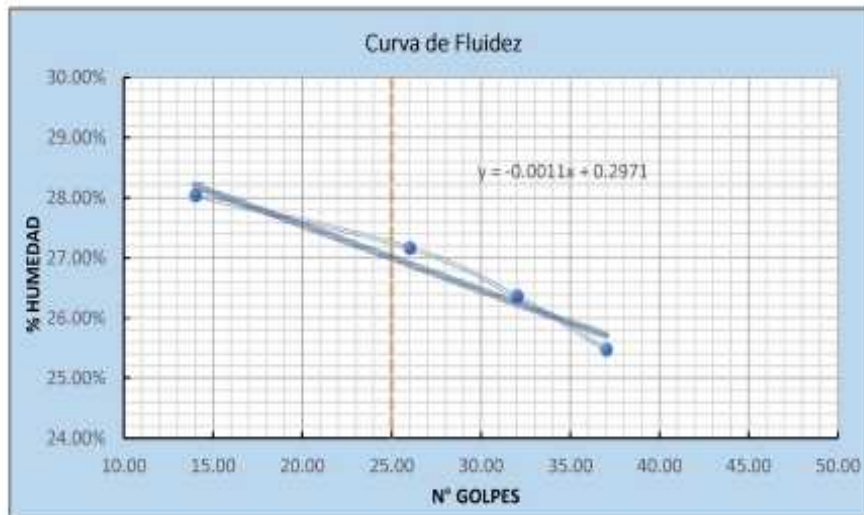


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8895775.00 m N - 215010.00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	37.000	32.000	26.000	14.000
2. Peso de la tara (gr)	28.698	28.488	28.439	27.942
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	43.608	42.760	40.351	39.805
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	40.581	39.782	37.806	37.207
5. Peso agua (gr)	3.027	2.978	2.545	2.598
6. Peso Suelo seco (gr)	11.883	11.294	9.367	9.265
7. Contenido Humedad (%)	25.47%	26.37%	27.17%	28.04%
8. Limite Liquido (%)	27.01%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.301	27.336	28.453
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	32.289	31.081	34.103
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	31.451	30.454	33.207
4. Peso agua (gr)	0.838	0.627	0.896
5. Peso Suelo seco (gr)	4.150	3.118	4.754
6. Contenido Humedad (%)	20.19%	20.11%	18.85%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	19.72%		

C. ÍNDICE PLASTICO

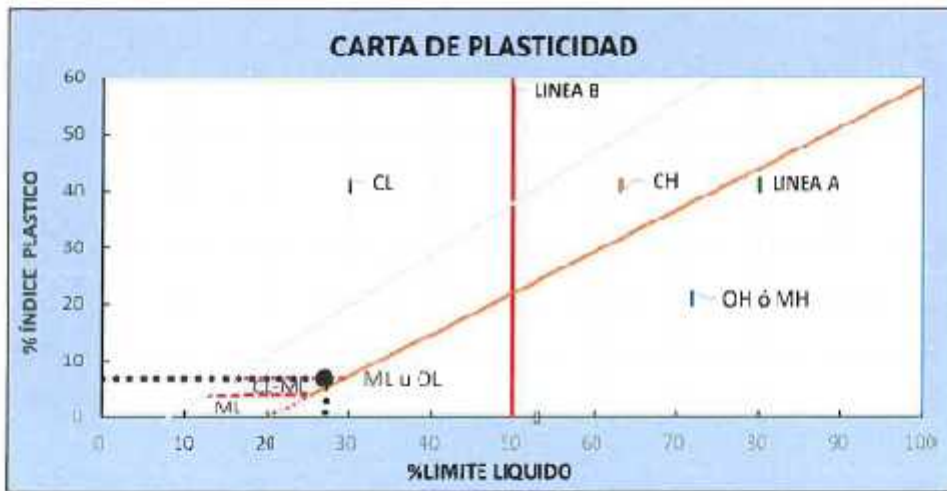
IP = Limite Líquido - Limite Plástico = **7.29%**



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relieve minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicab N° 01 + 30% Relieve Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	89578.00 m S - 116910.00 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	25.39%	% FINOS < 50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	61.74%	% ARENA > 50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	% FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LIMITES	CC: NP
		ATTARBEG	LL: 27%
			IP: 7%



En conclusión es un suelo: **SC-SM** ARENA LIMOSA ARCILLOSA GRAVOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-2
3. Sub Grupo	A-2-4	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-2-4	GRAVAS, ARENAS LIMOSAS Y ARCILLOSAS	EXCELENTE O BUENO



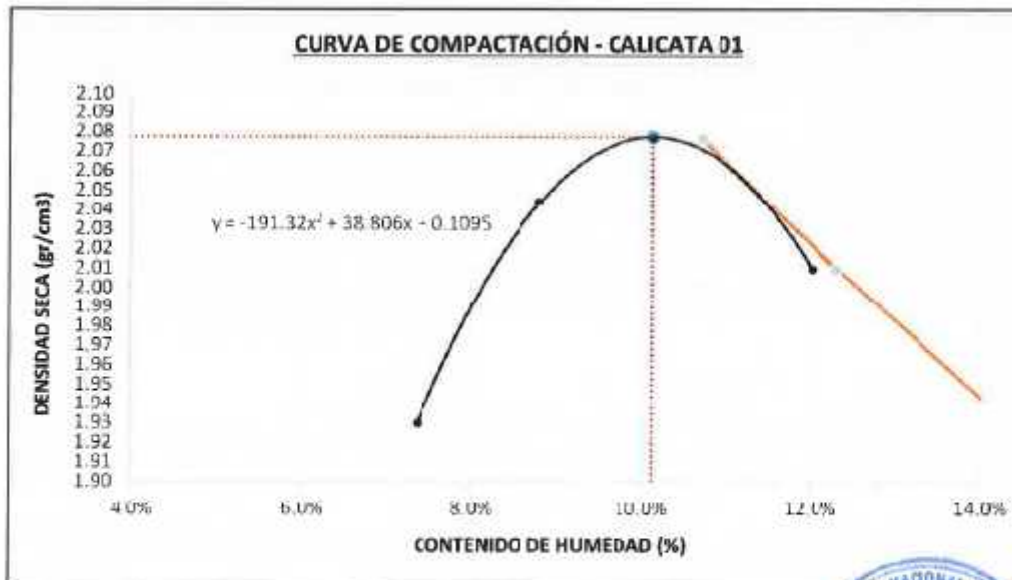
En conclusión es un suelo: **A-2-4(0)**

Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas	885775.00 m S - 215610.00 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6011.60	6011.60
2. Peso molde + muestra húmeda	10410.10	10733.20	10868.30	10791.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	4399.50	4722.60	4856.70	4779.60
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (g/cm ³)	2.072	2.224	2.287	2.251

CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	356.20	525.90	211.50	179.60
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	4826.90	5057.00	645.50	732.80
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	4520.10	4690.20	605.50	673.40
4. Peso agua (gr)	305.80	366.80	40.00	59.40
5. Peso Suelo seco (gr)	4163.90	4164.30	394.00	493.80
Contenido Humedad (%)	7.368%	8.808%	10.152%	12.029%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.930	2.044	2.077	2.009



Densidad Máxima	2.077 gr/cm³
Humedad Óptima	10.14%



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave mineral, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Arequipa		
Muestra:	Calicata N° 01 + 30% Relave Mineral	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	886775.00 m-S - 218016.00 m-E

**VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR
 (MTC E 132 - ASTM D 1883)**

COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR

Molde N°	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Numero de capas	5		5		5	
Numero de Golpes por capa	56		25		10	
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
1. Peso del molde (gr)	4221.40		4210.90		4206.50	
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	9072.20		8893.60		8607.50	
3. Peso muestra húmeda (gr)	4850.80		4682.70		4401.00	
4. Volumen molde (cm³)	2122.44		2122.44		2122.44	
5. Densidad húmeda (gr/cm³)	2.29		2.21		2.07	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

1. Peso de la tara (gr)	71.200		179.700		240.500	
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	1024.90		1379.00		1443.70	
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	938.70		1273.50		1336.00	
4. Peso agua (gr)	86.20		105.50		107.70	
5. Peso Suelo seco (gr)	867.50		1093.80		1095.50	
Contenido Humedad (%)	9.94%		9.65%		9.83%	
Densidad Seca (gr/cm³)	2.079		2.012		1.888	

CONTROL DE EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
1/05/2024	16:20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2/05/2024	16:20	24.00	6.50	0.17	0.13	6.90	0.18	0.14	3.00	0.08	0.06
3/05/2024	16:20	48.00	7.50	0.19	0.15	10.80	0.27	0.22	5.40	0.14	0.11
4/05/2024	16:20	72.00	9.60	0.24	0.19	14.50	0.37	0.29	9.12	0.23	0.18
6/05/2024	16:20	96.00	12.50	0.32	0.25	19.60	0.50	0.39	13.70	0.35	0.27

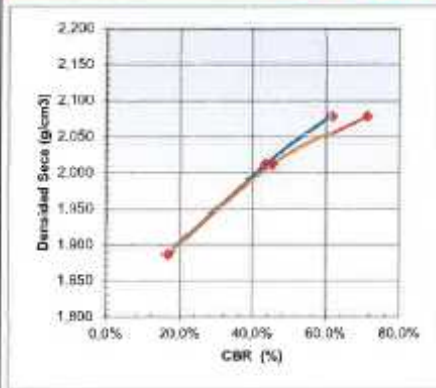
PRUEBA DE PENETRACIÓN

PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg2)	Molde 1 (56g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
			CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN				
plg.	mm.		LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025	0.635		375	125.00			444	148.00			231	77.00		
0.050	1.270		857	285.67			829	276.33			350	116.67		
0.075	1.905		1404	468.00			1160	386.67			438	146.00		
0.100	2.540	1000.00	1797	599.00	612.74	61.27%	1323	441.00	436.40	43.64%	509	169.67	165.50	16.55%
0.125	3.175		2204	734.67			1535	511.67			575	191.67		
0.150	3.810		2547	849.00			1706	568.67			629	209.67		
0.175	4.445		2843	947.67			1860	620.00			687	229.00		
0.200	5.080	1500.00	3170	1056.67	1062.10	70.81%	2022	674.00	681.65	45.44%	737	245.67	251.71	16.78%
0.225	5.715		3393	1131.00			2139	713.00			786	262.00		
0.250	6.350		3700	1233.33			2296	765.33			829	276.33		
0.275	6.985		3893	1297.67			2347	782.33			870	290.00		
0.300	7.620	1900.00	4166	1388.67			2481	827.00			912	304.00		
0.325	8.255		4328	1442.67			2557	852.33			951	317.00		
0.350	8.890		4562	1520.67			2679	893.00			988	329.33		
0.375	9.525		4716	1572.00			2755	918.33			1027	342.33		
0.400	10.160	2300.00	4924	1641.33			2872	957.33			1064	354.67		
0.425	10.795		5066	1688.67			2940	980.00			1095	365.00		
0.450	11.430		5254	1751.33			3049	1016.33			1123	377.67		
0.475	12.065		5395	1798.33			3117	1039.00			1150	388.67		
0.500	12.700	2600.00	5567	1855.67			3219	1073.00			1199	399.67		



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave mineral, Recuzy - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuzy, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 01 + 30% Relave Mineral	Profundidad:	1,50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	885716.00 m S - 216110.00 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



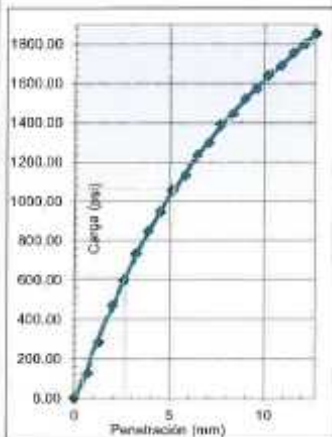
Máxima Densidad Seca (g/cm³): **2.077**
 Óptimo Contenido de Humedad (%): **10.14%**
 95% máxima densidad seca (g/cm³): **1.973**

RESULTADOS :

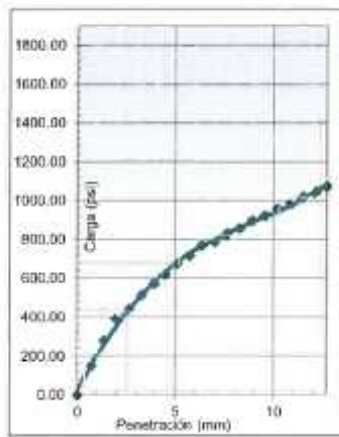
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:60.81% ; 0.2pulg:70.08%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:34.37% ; 0.2pulg:33.88%

OBSERVACIONES:

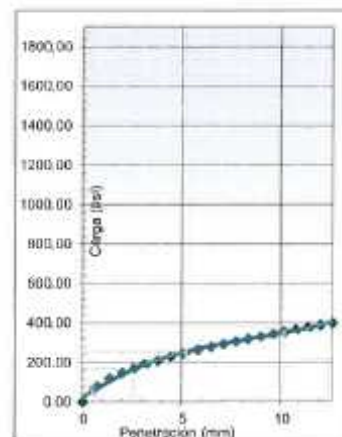
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



EC = 10 golpes



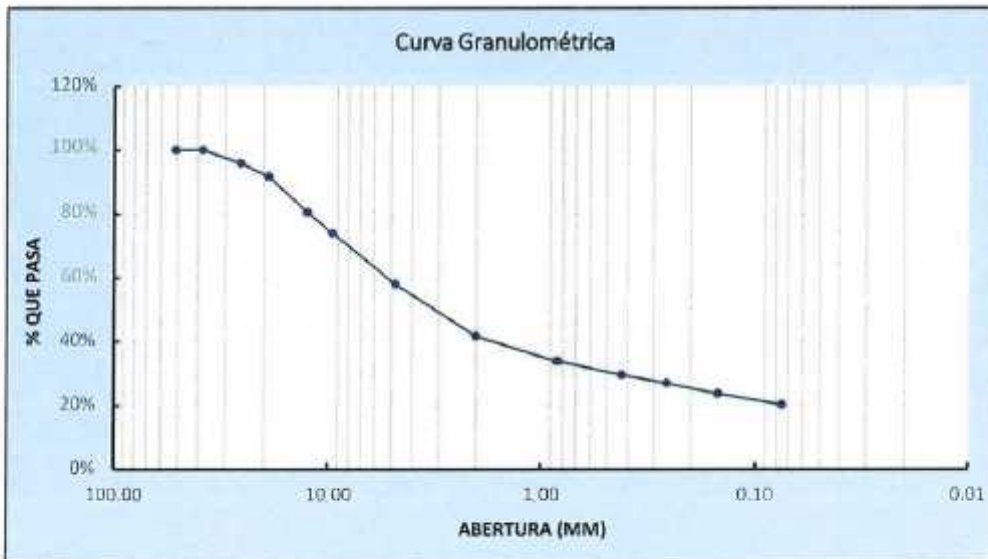
7.1.2. Calicata N° - 02

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS					
Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023*				
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.				
Muestra:	Calicata N°	02	Estrato	subrasante	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024				Coordenadas: 8965491.51 m S - 216726.28 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5322.80	Peso final de la muestra (g)	5322.70	Variación	0.00%
------------------------------	---------	------------------------------	---------	-----------	-------

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
Z'	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	220.400	220.400	4.14%	95.86%
3/4"	19.000	226.100	446.500	8.39%	91.61%
1/2"	12.500	587.100	1033.600	19.42%	80.58%
3/8"	9.500	348.400	1382.000	25.96%	74.04%
N°4	4.760	855.200	2237.200	42.03%	57.97%
N°10	2.000	866.400	3105.600	58.35%	41.65%
N°20	0.840	415.300	3520.900	66.15%	33.85%
N°40	0.425	228.400	3749.300	70.44%	29.56%
N°60	0.260	136.200	3885.500	73.00%	27.00%
N°100	0.149	176.600	4062.100	76.32%	23.68%
N°200	0.075	185.400	4247.500	79.80%	20.20%
> N°200		1075.200	5322.700	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	28.076	28.481	28.340
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	193.490	175.651	161.927
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	182.041	166.083	152.207
4. Peso agua (gr)	11.449	9.568	9.720
5. Peso Suelo seco (gr)	153.965	137.602	123.867
6. Contenido Humedad (%)	7.44%	6.95%	7.85%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	7.41%		

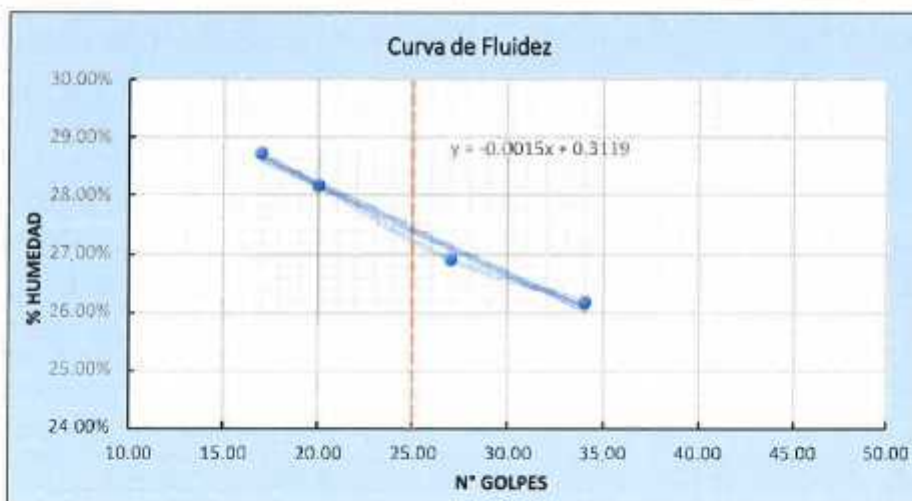


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco al idiosor relieve minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	889481.51 m S - 216720.25 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	34.000	27.000	20.000	17.000
2. Peso de la tara (gr)	27.192	28.445	26.553	29.237
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	44.137	43.543	42.248	42.933
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	40.620	40.340	38.799	39.877
5. Peso agua (gr)	3.517	3.203	3.449	3.056
6. Peso Suelo seco (gr)	13.428	11.895	12.246	10.640
7. Contenido Humedad (%)	26.19%	26.93%	28.16%	28.72%
8. Límite Líquido (%)	27.43%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.503	26.826	27.027
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	34.248	35.335	33.928
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	33.011	33.989	32.751
4. Peso agua (gr)	1.237	1.346	1.177
5. Peso Suelo seco (gr)	5.508	7.163	5.724
6. Contenido Humedad (%)	22.46%	18.79%	20.56%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	20.60%		

C. ÍNDICE PLASTICO

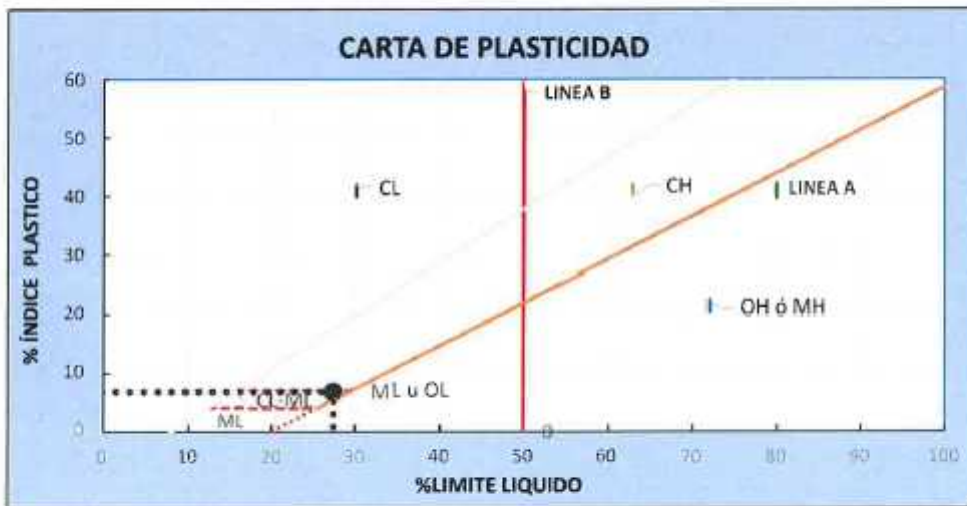
$$IP = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico} = 7\%$$



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	886548° 51' H B - 216720 26' m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	20.20%	% FINOS < 50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS	
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	47.33%	% GRAVA > 50%	GRAVA	
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA CRITERIO LIMITES ATTERBEG	CU:	NP
			CC:	NP
			LL:	27%
			IP:	7%



En conclusión es un suelo: **GC-GM** GRAVA LIMOSA ARCILLOSA ARENOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-2
3. Sub Grupo	A-2-4	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-2-4	GRAVAS, ARENAS LIMOSAS Y ARCILLOSAS	EXCELENTE O BUENO



En conclusión es un suelo: **A-2-4(0)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**



Teis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"				
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash				
Muestra:	Calicata N°	02	Estrato	subrasante	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024				Coordenadas: 9395481.51 m S - 216720.29 m E

Profundidad de Excavación:	1.50 m.
-----------------------------------	---------

Nivel Freático:	NP
------------------------	----

Prof. (m)	Descripción visual	CLASIFICACIÓN		SIMBOLOGÍA GRÁFICA	Hum. Nat.	LIMITES ATTERBEG			GRANULOMETRÍA %		
		SUCS	AASHTO			LL %	LP %	IP	GRAVA ARENAS	FINOS	
0.00	Material escombros (no considerado en la clasificación)										
0.10											
1.40	con un espesor de 1.40 m, de arena arcillosa, color beige oscuro, en condición un poco húmedas, consistencia muy suave, cementación mediana y estructura homogénea.	GC-GM - GRAVA LIMOSA ARCILLOSA ARENOSA	A-2-4(0)		7.41%	27.43%	20.60%	6.82%	42.03%	37.77%	20.20%
1.50											



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS			 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	
Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Colaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"			
Localización:	Distrito de Colaparaco, Provincia Recuay, Ancash.			
Muestra:	Calicata N°: 02	Estrato: subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Mar-24		Coordenadas:	8865481.51 m S - 216720.23 m E

1. GRAVEDAD ESPECÍFICA (MTC E 206)

AGREGADO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra	1 1/2"
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr) (A)	5071.00
Masa de la muestra seca (gr) (B)	5000.00
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr) (C)	3243.00
Gravedad Especifica A/(A-C)	2.77
Gravedad Especifica Aparente, $G_{ea} = B/(B - C)$	2.85
Gravedad Aparente, $D_a = 0.9975A/(A - C)$	2.84

Observación: ninguna

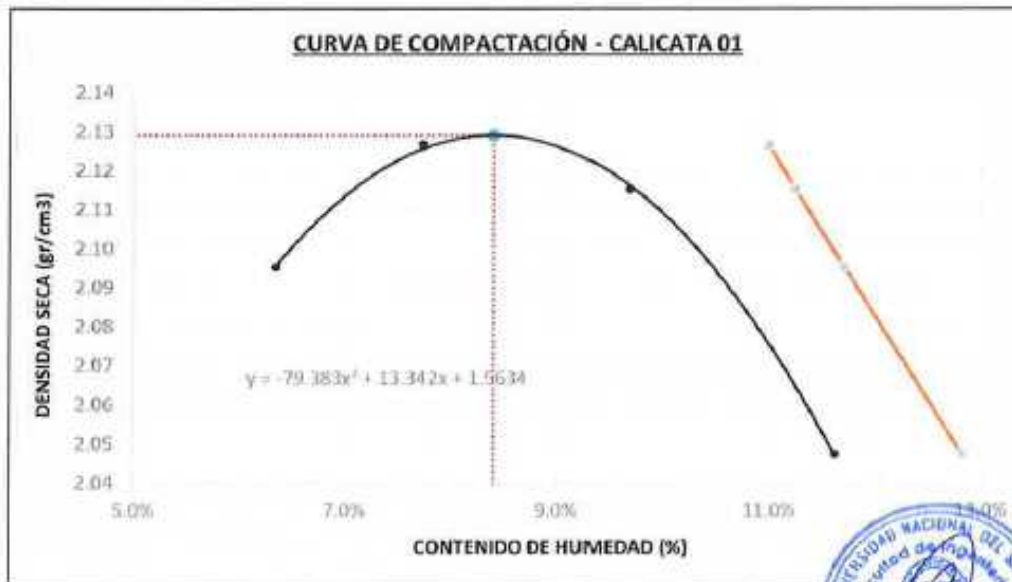


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato: subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	4895481.51 m S - 216733.25 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6011.70	6011.60	6010.60	6010.60
2. Peso molde + muestra húmeda	10731.90	10855.30	10924.90	10850.80
3. Peso muestra húmeda (gr)	4720.20	4853.70	4914.30	4840.20
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.223	2.286	2.314	2.280

CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	210.70	210.60	211.50	211.50
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	1109.50	1048.30	1093.30	1048.30
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	1055.80	988.10	1015.50	961.20
4. Peso agua (gr)	53.70	60.20	77.80	87.10
5. Peso Suelo seco (gr)	845.10	777.50	804.00	749.70
Contenido Humedad (%)	6.354%	7.743%	9.677%	11.618%
Densidad Seca (gr/cm³)	2.090	2.122	2.110	2.042



Densidad Máxima	2.124 gr/cm ³
Humedad Óptima	8.40%



Tesis:	'Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vecinal de Cotapareco al edicioner relieve minero, Recuay - 2023'		
Localización:	Distrito de Cotapareco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrelo subresente	Profundidad:	1.30 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	885481.51 mS - 216726.29 mE

**VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR
(MTC E 132 - ASTM D 1883)**

COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR						
Molde N°	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Numero de capas	5		5		5	
Numero de Golpes por capa	56		25		10	
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
1. Peso del molde (gr)	4204.80		4210.20		4220.20	
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	9135.09		8853.09		8724.20	
3. Peso muestra húmeda (gr)	4930.29		4672.89		4504.00	
4. Volumen molde (cm ³)	2122.44		2122.44		2122.44	
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.32		2.20		2.12	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA						
1. Peso de la tara (gr)	240.400		30.200		179.600	
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	428.90		425.10		878.00	
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	414.00		398.40		824.30	
4. Peso agua (gr)	14.90		26.70		53.70	
5. Peso Suelo seco (gr)	173.60		318.20		644.70	
Contenido Humedad (%)	8.58%		8.39%		8.33%	
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.139		2.031		1.959	

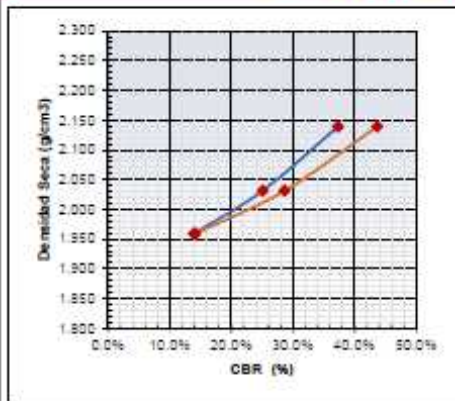
CONTROL DE EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
4/03/2024	11:15		0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
5/03/2024	16:25	24.00	9.50	0.241	0.19	17.90	0.455	0.36	16.20	0.411	0.32
6/03/2024	14:30	48.00	16.40	0.417	0.33	33.50	0.851	0.67	29.80	0.757	0.60
7/03/2024	13:15	72.00	21.00	0.533	0.42	41.00	1.041	0.82	37.00	0.940	0.74
8/03/2024	14:15	96.00	35.00	0.889	0.70	45.2	1.148	0.90	42.1	1.069	0.84

PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg2)	Molde 1 (56g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
pulg.	mm.		CARGA	PRESION	PRESION	%	CARGA	PRESION	PRESION	%	CARGA	PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00		0	0.00			0	0.00			
0.025	0.635		135	53.00		152	50.30			144	48.00			
0.050	1.270		423	141.00		352	117.35			281	93.67			
0.075	1.905		758	252.67		564	183.00			370	123.33			
0.100	2.540	1000.00	1067	355.67	373.48	37.35%	753	250.83	250.91	25.09%	438	146.00	139.13	13.91%
0.125	3.175		1308	436.00						489	163.00			
0.150	3.810		1561	520.33						535	178.33			
0.175	4.445		1731	577.00						583	194.33			
0.200	5.080	1500.00	1924	641.33	653.38	43.69%	1273	424.17	429.52	28.63%	621	207.00	212.39	14.16%
0.225	5.715		2106	702.00						657	219.00			
0.250	6.350		2248	749.33						692	230.67			
0.275	6.985		2420	806.67						732	244.00			
0.300	7.620	1900.00	2540	846.67						755	251.67			
0.325	8.255		2695	899.67						790	263.33			
0.350	8.890		2805	935.00						813	271.00			
0.375	9.525		2947	982.33						846	282.00			
0.400	10.160	2300.00	3056	1018.67						875	291.67			
0.425	10.795		3188	1062.67						905	301.67			
0.450	11.430		3274	1091.33						927	309.00			
0.475	12.065		3398	1132.67						955	318.33			
0.500	12.700	2600.00	3485	1163.00						980	326.67			



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vecinal de Cotapareco al edicioner relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotapareco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subresante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	88°58'1.51" W - 2°18'26.29" S

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



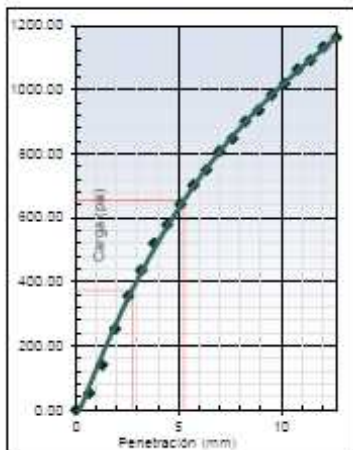
Máxima Densidad Seca (g/cm³): 2.124
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 8.40%
 95% máxima densidad seca (g/cm³): 2.018

RESULTADOS :

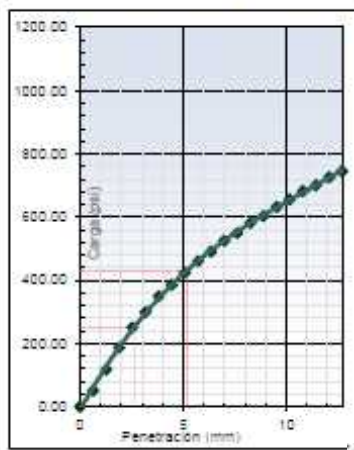
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:36,09% ; 0.2pulg:42%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:23,34% ; 0.2pulg:26,18%

OBSERVACIONES:

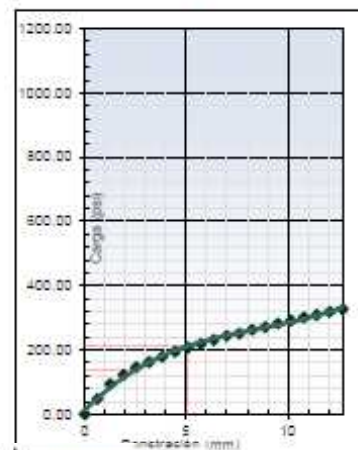
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



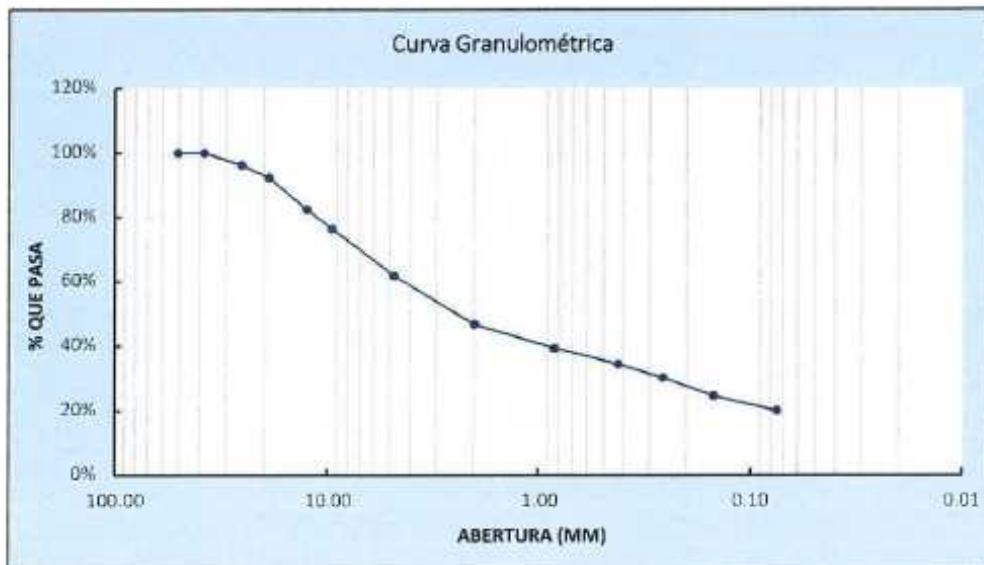
EC = 12 golpes



Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subrasante + 10% relave minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8894481.51 m E - 216720.29 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5220.93	Peso final de la muestra (g)	5220.77	Variación	0.00%
MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	196.400	196.400	3.76%	96.24%
3/4"	19.000	201.620	398.020	7.62%	92.38%
1/2"	12.500	523.420	921.440	17.65%	82.35%
3/8"	9.500	310.780	1232.220	23.60%	76.40%
N°4	4.760	762.630	1994.850	38.21%	61.79%
N°10	2.000	785.040	2779.890	53.25%	46.75%
N°20	0.840	387.860	3167.750	60.68%	39.32%
N°40	0.425	258.580	3426.330	65.63%	34.37%
N°60	0.260	221.610	3647.940	69.87%	30.13%
N°100	0.149	285.640	3933.580	75.34%	24.66%
N°200	0.075	241.300	4174.880	79.97%	20.03%
> N°200		1045.890	5220.770	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.076	27.481	27.340
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	195.490	177.651	163.927
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	182.041	166.083	152.207
4. Peso agua (gr)	13.449	11.568	11.720
5. Peso Suelo seco (gr)	154.965	138.602	124.867
6. Contenido Humedad (%)	8.68%	8.35%	9.39%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	8.80%		

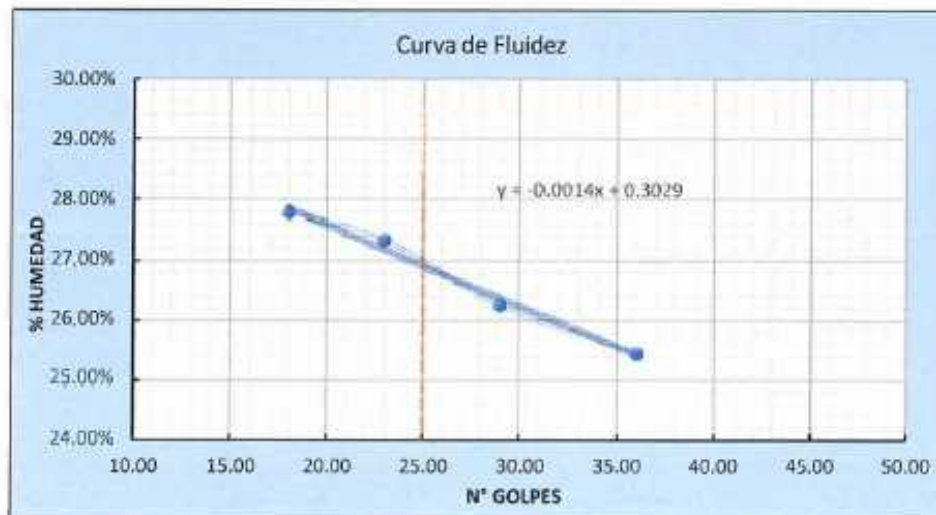


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vial de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuy - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuy, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subrasante + 10% relave minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8855481.51 m S - 216720.19 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	36.000	29.000	23.000	18.000
2. Peso de la tara (gr)	27.192	28.445	26.553	29.237
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	44.037	43.463	42.148	42.833
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	40.620	40.340	38.799	39.877
5. Peso agua (gr)	3.417	3.123	3.349	2.956
6. Peso Suelo seco (gr)	13.428	11.895	12.246	10.640
7. Contenido Humedad (%)	25.45%	26.25%	27.35%	27.78%
B. Limite Líquido (%)	26.91%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.403	26.826	27.027
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	34.208	35.295	33.848
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	33.011	33.989	32.751
4. Peso agua (gr)	1.197	1.306	1.097
5. Peso Suelo seco (gr)	5.608	7.163	5.724
6. Contenido Humedad (%)	21.34%	18.23%	19.16%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	19.58%		

C. ÍNDICE PLASTICO

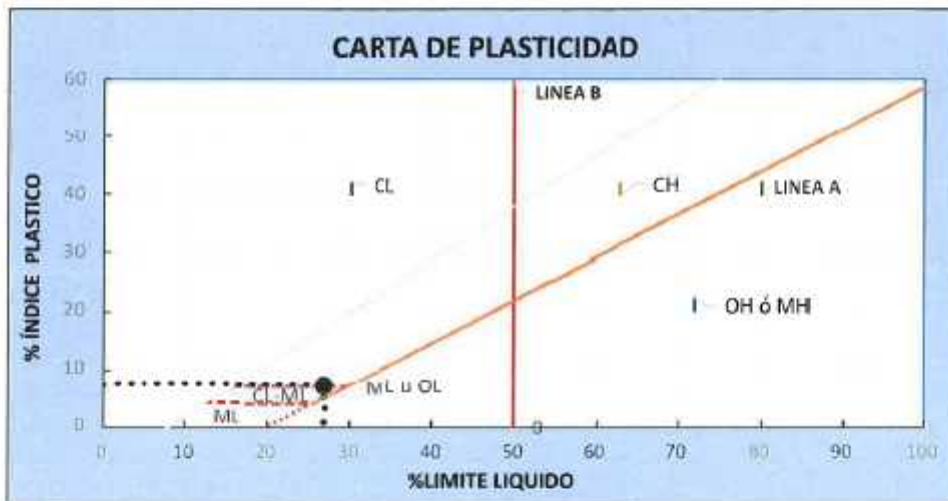
$$IP = \text{Limite Líquido} - \text{Limite Plástico} = 7\%$$



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adiconar relave minero, Recray - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recray, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subrasante + 10% relave minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8866481.51 m E - 21672029 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	20.03%	% FINOS < 50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	52.22%	% ARENA > 50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	% FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LIMITES ATTERBEG	CC: NP LL: 27% IP: 7%



En conclusión es un suelo: **SC-SM** ARENA LIMOSA ARCILLOSA GRAVOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-2
3. Sub Grupo	A-2-4	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-2-4	GRAVAS, ARENAS LIMOSAS Y ARCILLOSAS	EXCELENTE O BUENO



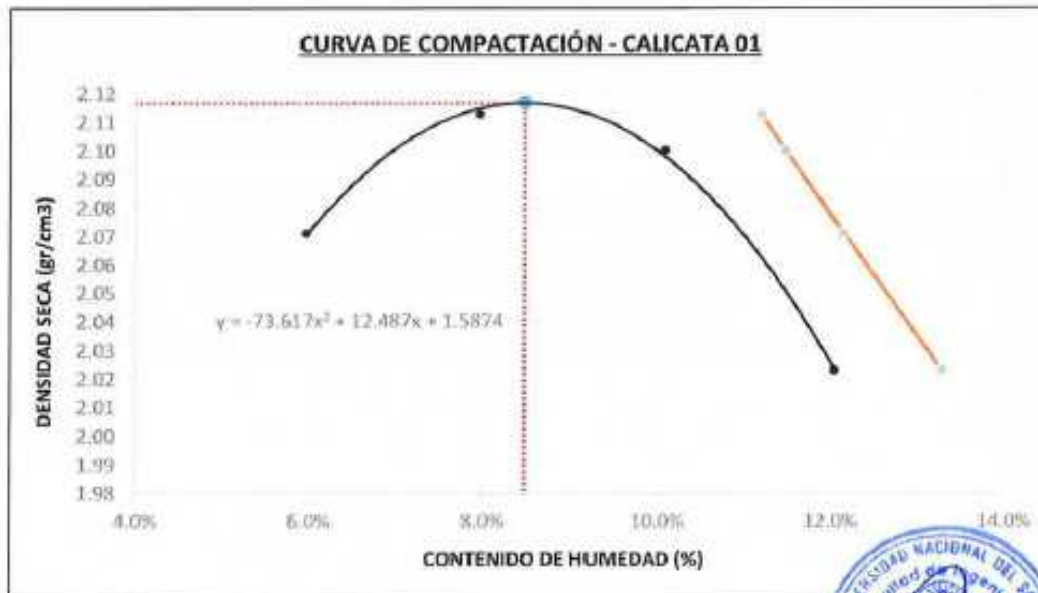
En conclusión es un suelo: **A-2-4(0)**

Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subrasante + 10% relave minero	Profundidad:	1,50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895481.51 m S - 710720.29 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6010.60	6010.60
2. Peso molde + muestra húmeda	10670.50	10853.90	10919.60	10823.00
3. Peso muestra húmeda (gr)	4659.90	4843.30	4909.00	4812.40
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.195	2.281	2.312	2.266

CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	581.90	427.50	495.00	502.00
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	5155.70	5195.80	5200.00	5155.00
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	4898.20	4844.10	4769.00	4655.00
4. Peso agua (gr)	257.50	351.70	431.00	500.00
5. Peso Suelo seco (gr)	4316.30	4416.60	4274.00	4153.00
Contenido Humedad (%)	5.966%	7.963%	10.084%	12.039%
Densidad Seca (gr/cm³)	2.071	2.113	2.100	2.023



Densidad Máxima	2.117 gr/cm3
Humedad Óptima	8.48%



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato suxasante + 11% relave minero	Prefundidad:	150 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	882181.51 - 6 21872026 - E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR
(MTC E 132 - ASTM D 1883)

COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR

Molde N°	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Numero de capas	5		5		5	
Numero de Golpes por capa	56		25		10	
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
1. Peso del molde (gr)	2707.80		4218.10		4218.70	
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	9097.70		8898.40		8616.80	
3. Peso muestra húmeda (gr)	4889.90		4680.30		4398.10	
4. Volumen molde (cm³)	2122.44		2122.44		2122.44	
5. Densidad húmeda (gr/cm³)	2.30		2.21		2.07	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

1. Peso de la tara (gr)	72.600		210.700		213.400	
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	1133.70		1471.40		1601.40	
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	1048.30		1372.70		1495.80	
4. Peso agua (gr)	85.40		98.70		105.60	
5. Peso Suelo seco (gr)	975.70		1162.00		1282.40	
Contenido Humedad (%)	8.75%		8.49%		8.23%	
Densidad Seca (gr/cm³)	2.118		2.033		1.915	

CONTROL DE EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
1/05/2024	14:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2/05/2024	14:00	24.00	6.90	0.18	0.14	9.60	0.24	0.19	6.50	0.17	0.13
3/05/2024	14:00	48.00	12.50	0.32	0.25	13.20	0.34	0.26	8.90	0.23	0.18
4/05/2024	14:00	72.00	13.40	0.34	0.27	14.60	0.37	0.29	12.50	0.32	0.25
6/05/2024	14:00	96.00	15.80	0.40	0.32	16.50	0.42	0.33	16.50	0.42	0.33

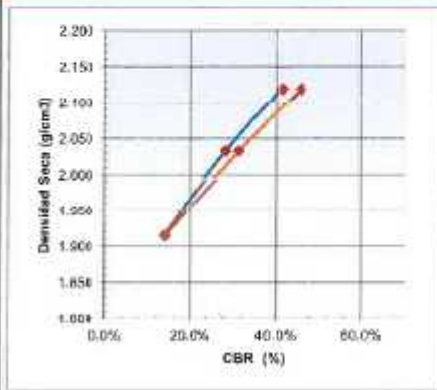
PRUEBA DE PENETRACION

PENETRACION		Carga Estándar (lb/plg2)	Molde 1 (56g)			Molde 2 (25g)			Molde 3 (10g)		
			CARGA	CORRECCIÓN	%	CARGA	CORRECCIÓN	%	CARGA	CORRECCIÓN	%
pulg.	mm.		LECTURA/PRESION	PRESION	%	LECTURA/PRESION	PRESION	%	LECTURA/PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00		0	0.00		0	0.00	
0.025	0.635		218	72.67		172	57.33		139	46.33	
0.050	1.270		608	102.67		372	124.00		276	92.00	
0.075	1.905		1014	138.00		684	228.00		365	121.67	
0.100	2.540	1000.00	1318	439.33	81.31%	873	291.00	284.60	433	144.33	137.51
0.125	3.175		1521	507.00		1019	335.67		484	161.33	
0.150	3.810		1683	561.00		1168	385.33		530	176.67	
0.175	4.445		1863	621.00		1277	425.67		578	192.67	
0.200	5.080	1500.00	1992	664.00	682.98	1393	464.33	473.05	616	205.33	210.59
0.225	5.715		2138	712.67		1502	500.67		652	217.33	
0.250	6.350		2263	754.33		1590	530.00		687	229.00	
0.275	6.985		2435	811.67		1696	565.33		727	242.33	
0.300	7.620	1900.00	2555	851.67		1768	588.33		750	250.00	
0.325	8.255		2714	904.67		1865	621.67		785	261.67	
0.350	8.890		2820	940.00		1929	643.00		808	269.33	
0.375	9.525		2962	987.33		2017	672.33		841	280.33	
0.400	10.160	2300.00	3071	1023.67		2086	695.33		870	290.00	
0.425	10.795		3203	1067.67		2167	722.33		900	300.00	
0.450	11.430		3289	1096.33		2221	740.33		922	307.33	
0.475	12.065		3413	1137.67		2297	765.67		950	316.67	
0.500	12.700	2600.00	3504	1168.00		2355	785.00		970	320.00	



Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Colaparaco al adicionar relave mineral, Recuay - 2023		
Localización:	Distrito de Colaparaco, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subrasante + 10% relave mineral	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	895481.51 m S - 216720.28 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



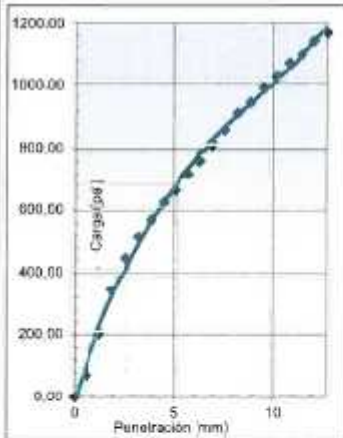
Máxima Densidad Seca (g/cm³): 2.117
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 8.48%
 95% máxima densidad seca (g/cm³): 2.044

RESULTADOS :

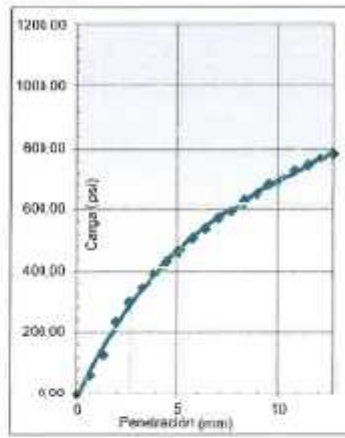
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:41,00% ; 0.2pulg:45,27%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:25,56% ; 0.2pulg:28,21%

OBSERVACIONES:

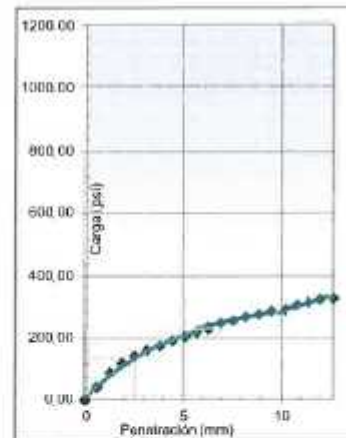
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



EC = 12 golpes

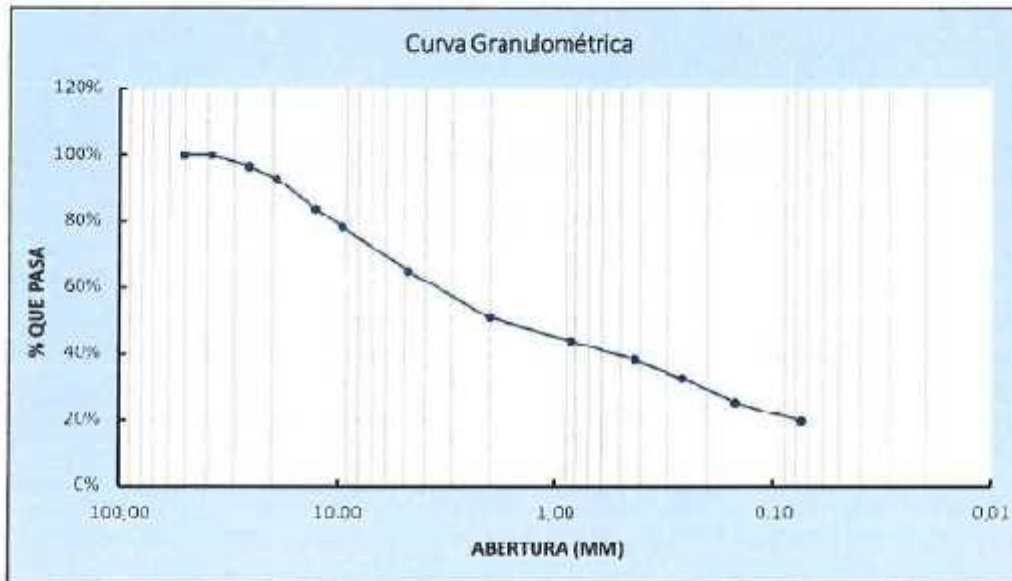


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub-base del camino vecinal de Cotaparazo al adicionar rolavé mineral, Recay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparazo, Provincia Recay, Ancash.		
Muestra:	Cálcala N° C2 Estrato sucrasanto + 20% relave mineral	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	889548151 m S - 21672039 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5445.96	Peso final de la muestra (g)	5445.72	Variación	0.00%
------------------------------	---------	------------------------------	---------	-----------	-------

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	187.790	187.790	3.45%	96.55%
3/4"	19.000	192.780	380.570	6.99%	93.01%
1/2"	12.500	500.470	881.040	16.18%	83.82%
3/8"	9.500	297.160	1178.200	21.54%	78.36%
N°4	4.760	720.200	1907.400	35.03%	64.97%
N°10	2.000	760.700	2668.100	48.99%	51.01%
N°20	0.840	387.840	3055.940	56.12%	43.88%
N°40	0.425	296.700	3355.640	61.62%	38.38%
N°60	0.260	307.610	3663.250	67.27%	32.73%
N°100	0.149	396.560	4058.810	74.53%	25.47%
N°200	0.075	306.520	4362.330	80.11%	19.89%
> N°200		1083.390	5445.720	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.112	27.481	27.340
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	157.430	179.651	165.927
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	162.041	166.083	152.207
4. Peso agua (gr)	15.449	13.568	13.720
5. Peso Suelo seco (gr)	154.929	138.602	124.867
6. Contenido Humedad (%)	9.97%	9.79%	10.99%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	10.25%		

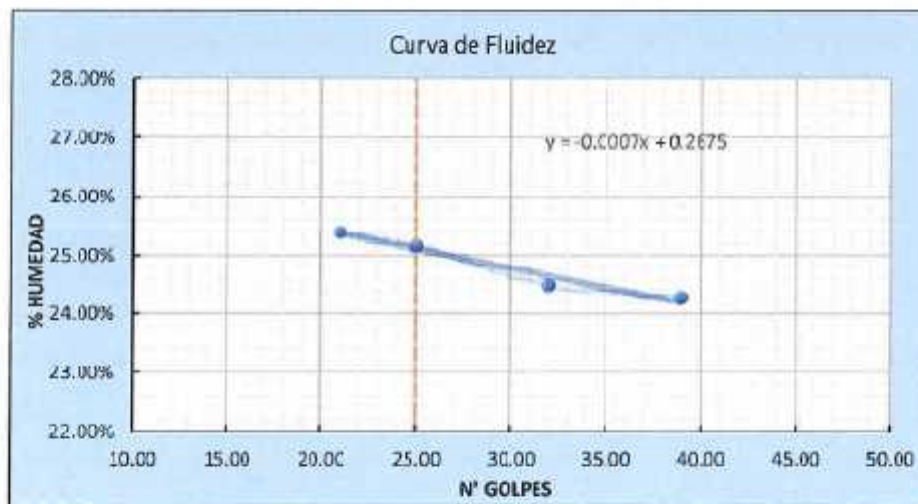


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparacá al aditivarrelave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparacá, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subrasante +20% relave minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8295481.51 mS - 214720.29 mE

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	39.000	32.000	25.000	21.000
2. Peso de la tara (gr)	28.192	28.445	27.553	28.237
3. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	43.637	43.253	41.628	42.833
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	40.620	40.340	38.799	39.877
5. Peso agua (gr)	3.017	2.913	2.829	2.956
6. Peso Suelo seco (gr)	12.428	11.895	11.246	11.640
7. Contenido Humedad (%)	24.28%	24.49%	25.16%	25.40%
8. Límite Líquido (%)	25.11%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.503	26.826	27.027
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	34.048	35.335	33.728
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	33.011	33.989	32.751
4. Peso agua (gr)	1.037	1.346	0.977
5. Peso Suelo seco (gr)	5.508	7.163	5.724
6. Contenido Humedad (%)	18.83%	18.79%	17.07%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	18.23%		

C. INDICE PLASTICO

$$IP = \text{Limite Líquido} - \text{Limite Plástico} = 7\%$$



Tesis:	Comportamiento físico-mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Colaperaoal adicionalrelave minero, Recuay - 2023		
Localización:	Distrito de Colaperao, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calleata N° C2 Estrato subrasante + 20% relave minero	Profundidad:	150 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	885481.31 m S - 110720.29 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	19.39%	% FINOS<50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	56.28%	% ARENA>50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS>12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LIMITES	CC: NP
		ATTERBEG	LL: 25%
			IP: 7%



En conclusión es un suelo: **SC-SM** ARENA LIMOSA ARCILLOSA GRAVOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-2
3. Sub Grupo	A-2-4	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-2-4	GRAVAS, ARENAS LIMOSAS Y ARCILLOSAS	EXCELENTE O BUENO

En conclusión es un suelo: **A-2-4(0)**

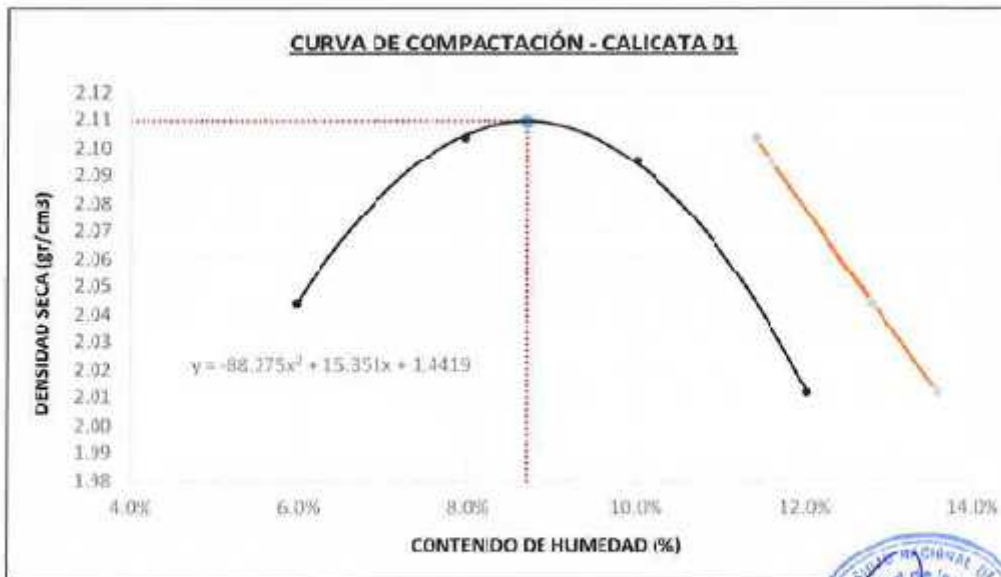


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2323"			
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.			
Muestra:	Calicata N° 02	Estrato	subrasante + 20% relave minero	Prefundidad: 1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024			Coordenadas: 8895461.5' m S - 216720.29 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6010.60	6010.60
2. Peso molde + muestra húmeda	10609.20	10832.50	10904.30	10755.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	4598.60	4821.90	4893.70	4784.60
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.166	2.271	2.305	2.253

CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	581.90	427.50	495.00	502.00
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	5155.70	5195.80	5200.00	5155.00
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	4898.20	4844.10	4772.00	4656.00
4. Peso agua (gr)	257.50	351.70	428.00	499.00
5. Peso Suelo seco (gr)	4316.30	4416.60	4277.00	4154.00
Contenido Humedad (%)	5.966%	7.963%	10.007%	12.013%
Densidad Seca (gr/cm³)	2.044	2.103	2.095	2.012



Densidad Máxima	2.103 gr/cm³
Humedad Óptima	8.69%

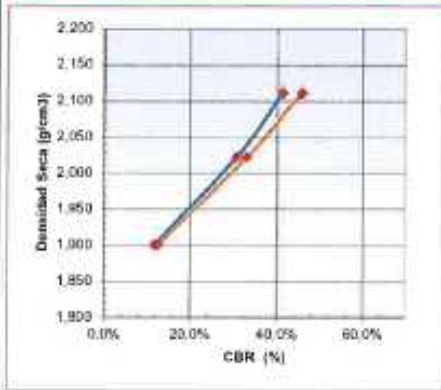


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						 UNS <small>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</small>								
Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub base de camino vecinal de Colapaco al adionar relave minero, Recay - 2023													
Localización:	Distrito de Colapaco, Provincia Recay, Ancash.													
Muestra:	Calicata N°	02+ 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m										
Fecha:	Marzo del 2024		Coordenadas:	885481.5' m S - 316724.0 m E										
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°	Molde 1		Molde 2		Molde 3									
Numero de capas	5		5		5									
Numero de Golpes por capa	56		25		10									
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO								
1. Peso del molde (gr)	4207.30		4210.40		4217.40									
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	9078.80		8879.80		8598.50									
3. Peso muestra húmeda (gr)	4871.50		4669.40		4381.10									
4. Volumen molde (cm ³)	2122.44		2122.44		2122.44									
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.30		2.20		2.06									
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Peso de la tara (gr)	71.300		210.700		240.500									
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	798.50		828.10		1373.30									
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	740.27		778.14		1283.71									
4. Peso agua (gr)	58.23		49.96		89.59									
5. Peso Suelo seco (gr)	668.97		567.44		1043.21									
Contenido Humedad (%)	8.70%		8.80%		8.59%									
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.111		2.022		1.901									
CONTROL DE EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				mm	%		mm	%		mm	%			
7/05/2024	14:30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
8/05/2024	14:30	24.00	10.00	0.25	0.20	12.00	0.30	0.24	5.00	0.13	0.10			
9/05/2024	14:30	48.00	12.00	0.30	0.24	15.00	0.38	0.30	8.00	0.20	0.16			
10/05/2024	14:30	72.00	15.00	0.38	0.30	16.00	0.41	0.32	9.00	0.23	0.18			
11/05/2024	14:30	96.00	16.00	0.41	0.32	18.00	0.46	0.36	14.00	0.36	0.28			
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg ²)	Molde 1 (56g)			Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)				
			CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN			
pulg.	mm.		LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025	0.635		229	76.33			185	61.67			81	27.00		
0.050	1.270		610	205.33			477	158.00			218	72.67		
0.075	1.905		1025	341.67			742	247.33			307	102.33		
0.100	2.540	1000.00	1329	443.00	413.48	41.35%	927	309.00	307.84	30.78%	375	125.00	118.67	11.87%
0.125	3.175		1532	510.67			1107	369.00			426	142.00		
0.150	3.810		1694	564.67			1237	412.33			472	157.33		
0.175	4.445		1874	624.67			1359	453.00			520	173.33		
0.200	5.080	1500.00	2003	667.67	684.86	45.65%	1473	491.00	495.85	33.06%	558	186.00	189.58	12.64%
0.225	5.715		2149	716.33			1581	520.33			594	198.00		
0.250	6.350		2274	758.00			1665	551.67			629	209.67		
0.275	6.985		2446	815.33			1726	575.33			660	223.00		
0.300	7.620	1900.00	2566	855.33			1812	604.00			692	230.67		
0.325	8.255		2725	908.33			1875	625.00			727	242.33		
0.350	8.890		2831	943.67			1954	651.33			750	250.00		
0.375	9.525		2973	991.00			2012	670.67			783	261.00		
0.400	10.160	2300.00	3082	1027.33			2088	696.00			812	270.67		
0.425	10.795		3214	1071.33			2144	714.67			842	280.67		
0.450	11.430		3300	1100.00			2218	739.33			864	288.00		
0.475	12.065		3424	1141.33			2270	756.67			892	297.33		
0.500	12.700	2600.00	3515	1171.67			2334	778.00			927	309.67		



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vehicular de Cotaperaco al adosar relieve minero, Recay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaperaco, Provincia Recay, Ancash,		
Muestra:	Calicata N°	02+ 20% Relieve Minero	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024		Coordenadas: 89848151 = S - 2187328 = E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



Máxima Densidad Seca (g/cm³): 2.109
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 5.69%
 95% máxima densidad seca (g/cm³): 2.004

RESULTADOS :

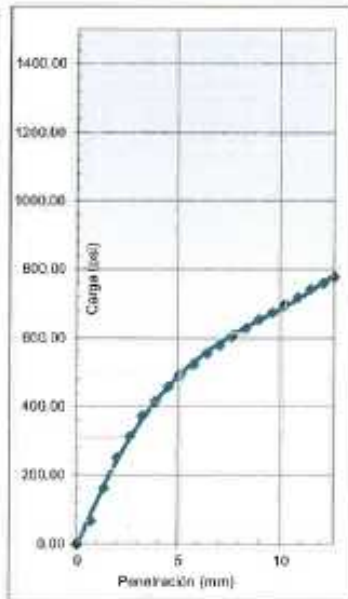
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:41,11% ; 0.2pulg:45,38%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:28,27% ; 0.2pulg:30,24%

OBSERVACIONES:

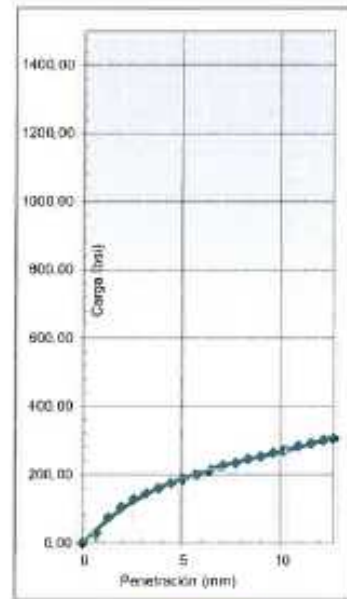
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



EC = 10 golpes

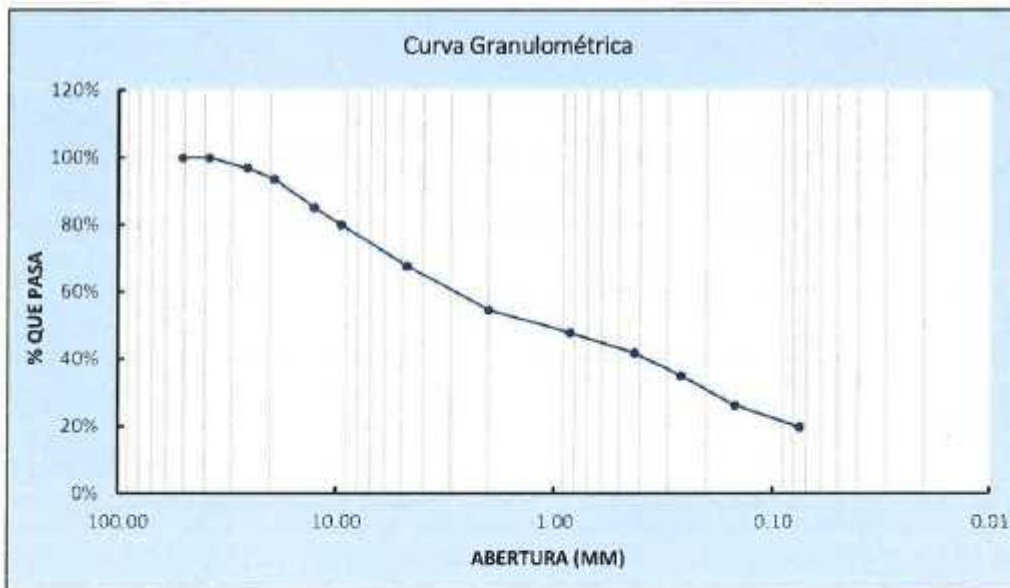


Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subrasante + 30% relave minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895481.51 m S - 216720.29 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5960.11	Peso final de la muestra (g)	5959.81	Variación	0.01%
------------------------------	---------	------------------------------	---------	-----------	-------

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	189.710	189.710	3.18%	96.82%
3/4"	19.000	194.750	384.460	6.45%	93.55%
1/2"	12.500	505.590	890.050	14.93%	85.07%
3/8"	9.500	300.200	1190.250	19.97%	80.03%
N°4	4.760	736.660	1926.910	32.33%	67.67%
N°10	2.000	778.650	2705.560	45.40%	54.60%
N°20	0.840	408.950	3114.510	52.26%	47.74%
N°40	0.425	355.850	3470.360	58.23%	41.77%
N°60	0.260	407.340	3877.700	65.06%	34.94%
N°100	0.149	523.300	4401.000	73.84%	26.16%
N°200	0.075	380.170	4781.170	80.22%	19.78%
> N°200		1178.640	5959.810	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	28.052	28.562	28.456
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	197.490	179.651	165.927
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	180.041	164.083	150.207
4. Peso agua (gr)	17.449	15.568	15.720
5. Peso Suelo seco (gr)	151.989	135.521	121.751
6. Contenido Humedad (%)	11.48%	11.49%	12.91%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)			11.96%

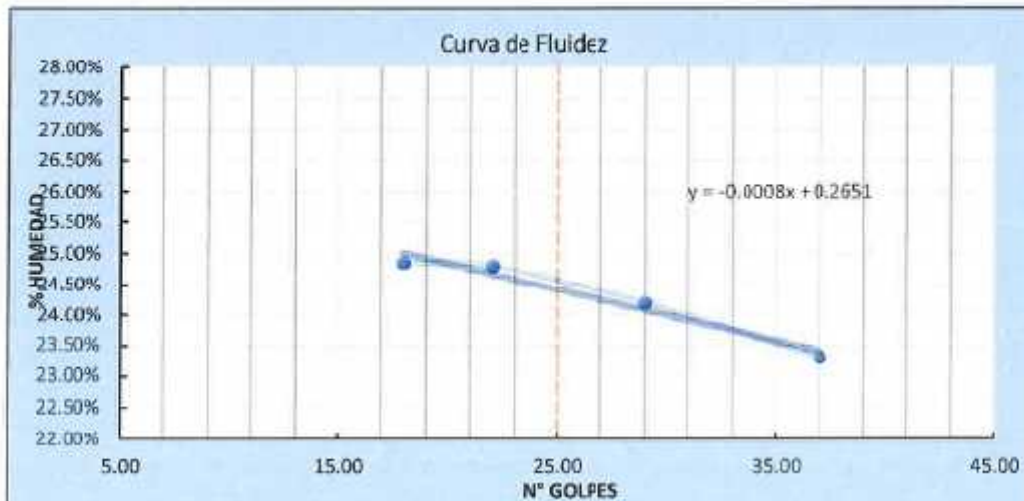


Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave mineral, Recuy - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuy, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subrasante + 30% relave mineral	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	09°54' 51" S - 76°20' 29" E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	37.000	29.000	22.000	18.000
2. Peso de la tara (gr)	27.192	28.445	26.553	29.237
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	44.037	43.243	42.048	42.733
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	40.852	40.360	38.969	40.047
5. Peso agua (gr)	3.185	2.883	3.079	2.686
6. Peso Suelo seco (gr)	13.660	11.915	12.416	10.810
7. Contenido Humedad (%)	23.32%	24.20%	24.80%	24.85%
8. Limite Liquido (%)	24.42%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.503	26.826	27.027
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	34.038	35.035	33.808
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	33.011	33.809	32.781
4. Peso agua (gr)	1.027	1.226	1.027
5. Peso Suelo seco (gr)	5.508	6.983	5.754
6. Contenido Humedad (%)	18.65%	17.56%	17.85%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	18.02%		

C. ÍNDICE PLASTICO

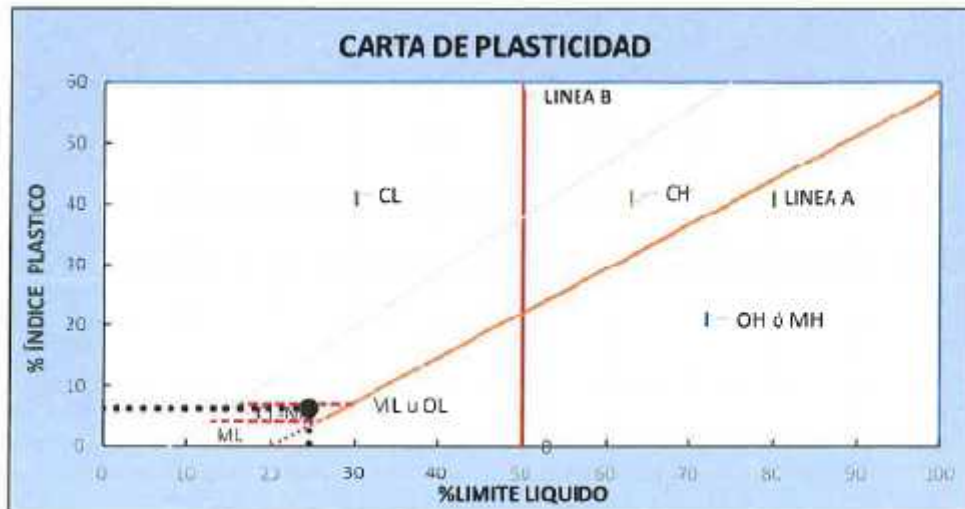
IP = Limite Líquido - Limite Plástico = 6%



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estrato subrasante + 30% relave minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895481.51 m S - 215720.21 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	19.78%	% FINOS < 50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	59.70%	% ARENA > 50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LÍMITES	CC: NP
		ATTEBEG	LL: 24%
			IP: 6%



En conclusión es un suelo: **SC-SM** ARENA LIMOSA ARCILLOSA GRAVOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-2
3. Sub Grupo	A-2-4	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-2-4	GRAVAS, ARENAS LIMOSAS Y ARCILLOSAS	EXCELENTE O BUENO

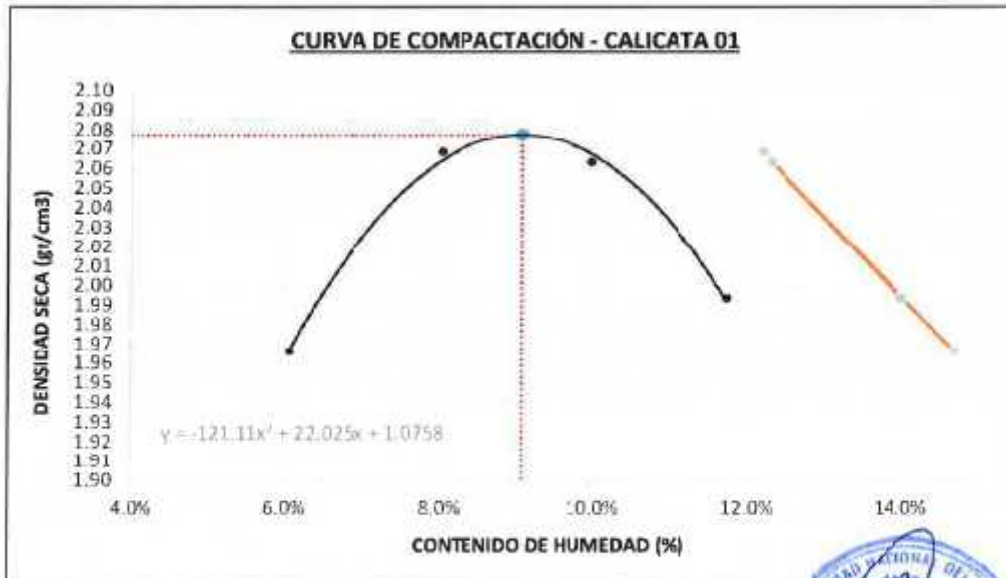
En conclusión es un suelo: **A-2-4(0)**



Tesis:	‘Compartimentó físico mecánico de la sub resante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023’		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02	Estrato	subrasante + 30% relave minero
Fecha:	Marzo del 2024	Profundidad:	1.50 m
		Coordenadas:	886541.51 m E 216720.20 m S

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1 Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6011.50	6011.60
2 Peso molde + muestra húmeda	10439.10	13755.20	10830.30	10741.20
3 Peso muestra húmeda (gr)	4428.50	4744.60	4818.70	4729.60
4 Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5 Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.086	2.235	2.269	2.227
CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1 Peso de la tara (gr)	356.20	525.90	211.50	179.60
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	5174.40	5191.80	5228.40	5182.00
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	4898.20	4844.10	4772.00	4656.00
4. Peso agua (gr)	276.20	347.70	456.40	526.00
5. Peso Suelo seco (gr)	4542.00	4318.20	4560.50	4476.40
Contenido Humedad (%)	6.081%	8.052%	10.008%	11.751%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.966	2.068	2.063	1.993



Densidad Máxima	2.077 gr/cm3
Humedad Óptima	9.09%

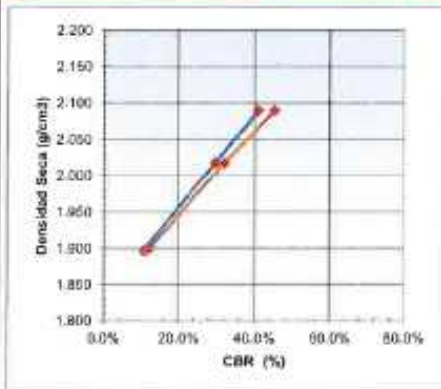


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA								
Tesis:		Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adlonar relieve minero, Recuay - 2023												
Localización:		Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.												
Muestra:		Calicata N° 02 Estrelo subrasante + 30% relieve minero			Profundidad:		1,50 m							
Fecha:		Marzo del 2024			Coordenadas:		88548131 m S - 2467028 m E							
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°	Molde 1			Molde 2			Molde 3							
Numero de capas	5			5			5							
Numero de Golpes por capa	56			25			10							
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	SATURADO							
1. Peso del molde (gr)	4221.40		4210.90		4206.50									
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	9072.20		8883.60		8607.50									
3. Peso muestra húmeda (gr)	4850.80		4672.70		4401.00									
4. Volumen molde (cm ³)	2122.44		2122.44		2122.44									
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.29		2.20		2.07									
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Peso de la tara (gr)	71.200		179.700		240.500									
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	1024.90		1379.00		1443.70									
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	942.70		1278.50		1341.00									
4. Peso agua (gr)	82.20		100.50		102.70									
5. Peso Suelo seco (gr)	871.50		1098.80		1100.50									
Contenido Humedad (%)	9.43%		9.15%		9.33%									
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.088		2.017		1.897									
CONTROL DE EXPANSION														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION				
				mm	%		mm	%		mm	%			
7/05/2024	14:30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
8/05/2024	14:30	24.00	7.50	0.19	0.15	7.10	0.18	0.14	5.00	0.13	0.10			
9/05/2024	14:30	48.00	9.60	0.24	0.19	9.60	0.24	0.19	6.90	0.18	0.14			
10/05/2024	14:30	72.00	10.60	0.27	0.21	12.50	0.32	0.25	8.90	0.23	0.18			
11/05/2024	14:30	96.00	15.40	0.39	0.31	13.60	0.35	0.27	10.60	0.27	0.21			
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (lb/plg ²)	Molde 1 (56g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
pulg.	mm.		LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00		0	0.00			0	0.00			
0.025	0.635		208	65.33		143	47.67			39	13.00			
0.050	1.270		598	199.33		435	145.00			176	58.67			
0.075	1.905		1004	334.67		700	231.33			265	88.33			
0.100	2.540	1000.00	1308	436.00	408.99	40.90%	885	295.00	297.13	29.71%	333	111.00	107.81	10.78%
0.125	3.175		1511	503.67		1005	355.00			384	128.00			
0.150	3.810		1673	557.67		1195	398.33			430	143.33			
0.175	4.445		1853	617.67		1317	439.00			478	159.33			
0.200	5.080	1500.00	1982	660.67	678.77	45.25%	1431	477.00	482.46	32.18%	516	172.00	176.11	11.74%
0.225	5.715		2128	709.33		1519	506.33			552	184.00			
0.250	6.350		2253	751.00		1613	537.67			587	195.67			
0.275	6.985		2425	808.33		1684	561.33			627	209.00			
0.300	7.620	1900.00	2545	848.33		1770	590.00			650	216.67			
0.325	8.255		2704	901.33		1833	611.00			685	228.33			
0.350	8.890		2810	936.67		1912	637.33			708	236.00			
0.375	9.525		2952	984.00		1970	656.67			741	247.00			
0.400	10.160	2300.00	3061	1020.33		2046	682.00			770	256.67			
0.425	10.795		3193	1064.33		2102	700.67			800	266.67			
0.450	11.430		3279	1093.00		2176	725.33			822	274.00			
0.475	12.065		3403	1134.33		2228	742.67			850	283.33			
0.500	12.700	2600.00	3494	1164.67		2292	764.00			875	291.67			



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Colapiraco al adicionar relieve mixero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotapiraco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 02 Estiote subrasante + 30% relieve mixero	Profundidad:	1,50 m
Fecha:	Mayo del 2024	Coordenadas:	8866481 S 116 E - 265720 25 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



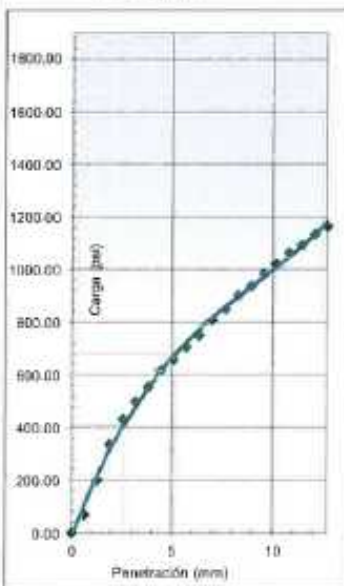
Máxima Densidad Seca (g/cm^3): 2.077
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 9.09%
 95% máxima densidad seca (g/cm^3): 1.873

RESULTADOS :

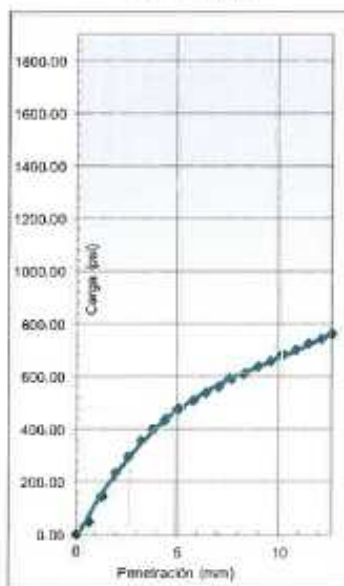
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:39,12% ; 0.2pulg:43,11%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:22,84% ; 0.2pulg:24,49%

OBSERVACIONES:

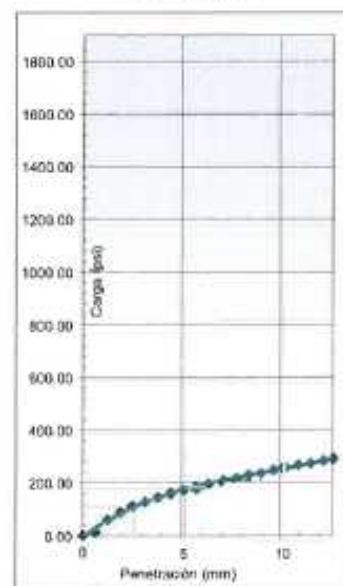
EC = 56 golpes




EC = 25 golpes



EC = 10 golpes



7.1.3. Calicata N° - 03

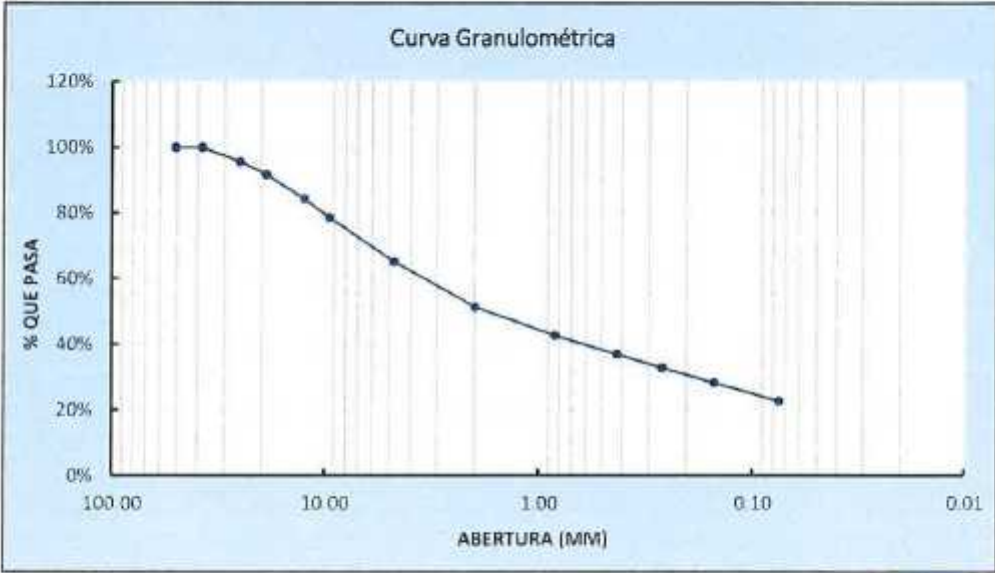
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS					
Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Colaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023*				
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.				
Muestra:	Calicata N° 03 Estrato 01	Profundidad:	1.50 m		
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	885015.00 m S - 217147.00 m E		

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5420.40	Peso final de la muestra (g)	5418.00	Varación	0.04%
------------------------------	---------	------------------------------	---------	----------	-------


MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	238.000	238.000	4.39%	95.61%
3/4"	19.000	218.800	456.800	8.43%	91.57%
1/2"	12.500	396.500	853.300	15.75%	84.25%
3/8"	9.500	309.900	1163.200	21.47%	78.53%
N°4	4.760	730.000	1893.200	34.94%	65.06%
N°10	2.000	742.400	2635.600	48.65%	51.35%
N°20	0.840	474.700	3110.300	57.41%	42.59%
N°40	0.425	303.000	3413.300	63.00%	37.00%
N°60	0.260	224.200	3637.500	67.14%	32.86%
N°100	0.149	245.000	3882.500	71.66%	28.34%
N°200	0.075	306.100	4188.600	77.31%	22.69%
> N°200		1229.400	5418.000	100.00%	0.00%

Curva Granulométrica



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.963	28.608	28.898
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	180.586	168.634	144.258
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	165.831	153.830	132.444
4. Peso agua (gr)	14.755	14.804	11.814
5. Peso Suelo seco (gr)	137.868	125.222	103.546
6. Contenido Humedad (%)	10.70%	11.82%	11.41%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	11.31%		

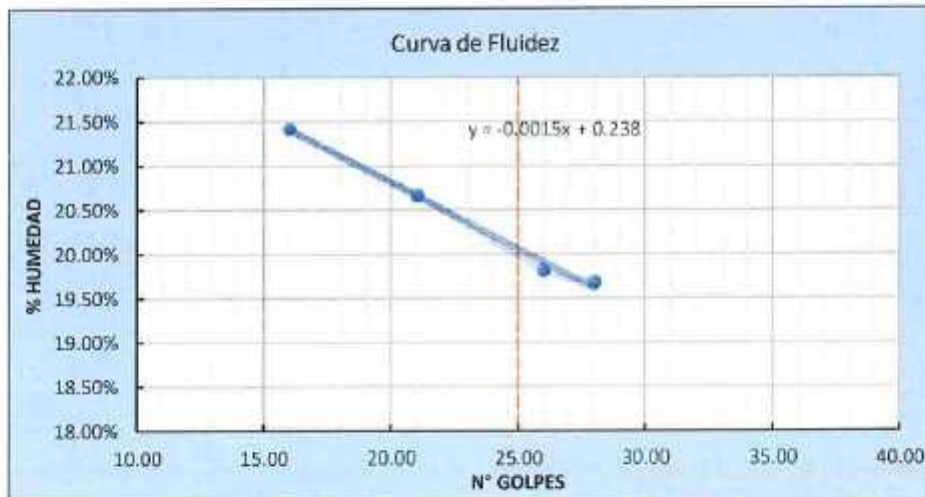


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub-rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recusy - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recusy, Arequipa.		
Muestra:	Calicata N° 03	Estrato 01	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024		Coordenadas: 868815.00 m S - 217147.00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	28	26	21	16
2. Peso de la tara (gr)	27.914	26.834	28.218	27.964
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	46.298	44.965	45.046	42.663
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	43.274	41.966	42.164	40.070
5. Peso agua (gr)	3.024	2.999	2.882	2.593
6. Peso Suelo seco (gr)	15.360	15.132	13.946	12.106
7. Contenido Humedad (%)	19.69%	19.82%	20.67%	21.42%
8. Límite Líquido (%)	20.06%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	28.139	27.506	27.450
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	34.036	35.455	35.268
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	33.222	34.348	34.153
4. Peso agua (gr)	0.814	1.107	1.115
5. Peso Suelo seco (gr)	5.083	6.842	6.703
6. Contenido Humedad (%)	16.01%	16.18%	16.63%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	16.28%		

C. ÍNDICE PLASTICO

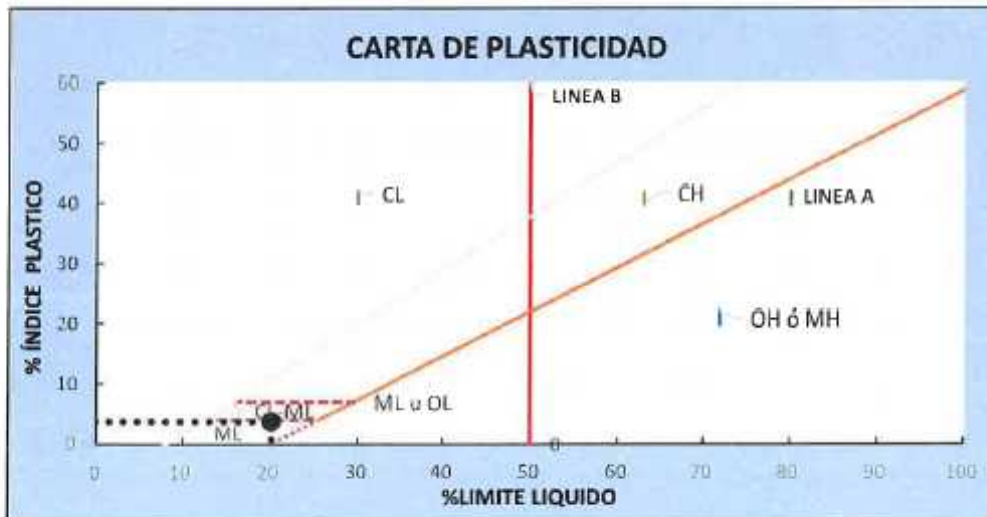
IP = Límite Líquido - Límite Plástico = 4%



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 03 Estrato 01	Profundidad:	1.50 m.
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8856013.00 m S - 217147.00 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	22.69%	% FINOS<50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	54.8%	% ARENA>50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS>12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LIMITES	CC: NP
		ATTERBEG	LL: 20%
			IP: 4%



En conclusión es un suelo: **SM** ARENA LIMOSA GRAVOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-1
3. Sub Grupo	A-1b	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-1b	FRAGMENTO DE PIEDRA, GRAVA Y ARENA	EXCELENTE O BUENO

En conclusión es un suelo: **A-1B(0)**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**




Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"				
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.				
Muestra:	Calicata N°	03	Estrato	subrasante	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024				Coordenadas:

Profundidad de Excavación:	1.50 m.
-----------------------------------	---------

Nivel Freático:	NP
------------------------	----

Prof. (m)	Descripción visual	CLASIFICACIÓN		SIMBOLOGÍA GRÁFICA	Hum. Nat.	LIMITES ATTERBEG			GRANULOMETRÍA %		
		SUCS	AASHTO			LL %	LP %	IP	GRAVAS	ARENAS	FINOS
0.00 0.10	Material escorbros (no considerado en la clasificación)										
1.50	con un espesor de 1.40 m, de arena arcillosa, color beige oscuro, en condición un poco húmedas, consistencia muy suave, cementación mediana y estructura homogénea.	S _m - ARENA LIMOSA GRAVOSA	A-1b(0)		11.31%	20.06%	16.28%	3.79%	34.94%	42.37%	22.69%



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		 UNS <small>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</small>	
Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N°: 0.3 Estrato: subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8855815.00 m S - 217147.00 m E

1. GRAVEDAD ESPECÍFICA (MTC E 206)

<i>AGREGADO</i>	<i>GRUESO</i>
Tamaño máximo de la muestra	1 1/2"
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr) (A)	5200
Masa de la muestra seca (gr) (B)	5000
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr) (C)	3271
Gravedad Específica A/(A-C)	2.70
Gravedad Específica Aparente, $Gea = B/(B - C)$	2.89
Gravedad Aparente, $Da = 0.9975B/(B - C)$	2.88

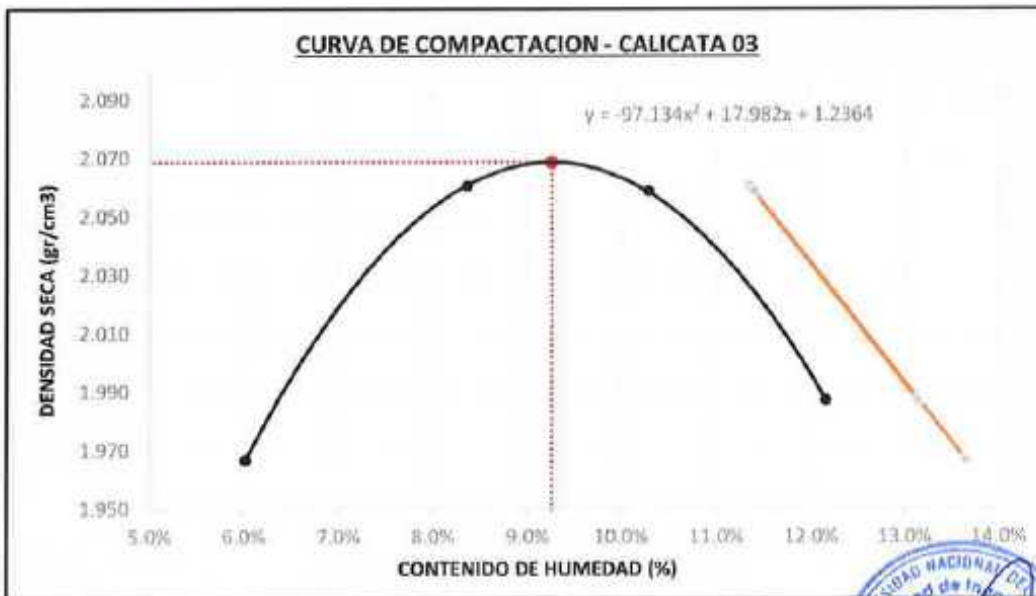
Observación:



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 03	Estrato 01	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024		Coordenadas: 886815.00 m S - 217147.00 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6011.60	6011.60
2. Peso molde + muestra húmeda	10437.10	10751.20	10832.30	10743.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	4426.50	4740.60	4820.70	4731.60
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.085	2.233	2.270	2.228
CONTENIDO HUMEDAD				
Porcion de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	240.50	80.20	179.60	210.60
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	1340.70	942.30	1180.10	1045.60
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	1278.30	875.80	1086.80	955.12
4. Peso agua (gr)	62.40	66.50	93.30	90.48
5. Peso Suelo seco (gr)	1037.80	795.60	907.20	744.52
Contenido Humedad (%)	6.013%	8.358%	10.284%	12.153%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.966	2.060	2.059	1.987



Densidad Maxima	2.069 gr/cm3
Humedad Optima	9.26%



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vicinal de Cotaparaco al adiccionar relieve minero, Recuary - 2023		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuary, Arecash		
Muestra:	Calicata N° 03 Estrato subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	WARR1830 N 5 - 21714700 mE

**VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR
(MTC E 132 - ASTM D 1883)**

COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR

Molde N°	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Numero de capas	5		5		5	
Numero de Golpes por capa	56		25		10	
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
1. Peso del molde (gr)	4206.60	4206.60	4217.00	4217.00	4217.50	4217.50
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	9002.70	9176.20	8838.90	9008.60	8523.10	8773.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	4796.10	4969.60	4621.90	4791.60	4305.60	4555.70
4. Volumen molde (cm³)	2122.44	2122.44	2122.44	2122.44	2122.44	2122.44
5. Densidad húmeda (gr/cm³)	2.26	2.34	2.18	2.26	2.03	2.15

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

1. Peso de la tara (gr)	240.500	211.500	80.200	210.700	179.500	213.400
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	535.30	1724.00	625.40	1144.10	1050.70	1439.30
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	511.30	1591.10	579.20	1051.10	980.70	1300.20
4. Peso agua (gr)	24.00	132.90	46.20	93.00	70.00	139.10
5. Peso Suelo seco (gr)	270.80	1379.60	499.00	840.40	801.20	1086.80
Contenido Humedad (%)	8.86%	9.63%	9.26%	11.07%	8.74%	12.80%
Densidad Seca (gr/cm³)	2.076	2.136	1.993	2.033	1.866	1.903

CONTROL DE EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
8/03/2024	15:30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9/03/2024	15:30	24	6.50	0.17	0.13	12.60	0.32	0.25	9.80	0.25	0.20
10/03/2024	15:30	48	12.20	0.31	0.24	23.10	0.59	0.46	19.20	0.49	0.38
11/03/2024	15:30	72	23.00	0.58	0.46	39.00	0.99	0.78	32.00	0.81	0.64
12/03/2024	15:30	96	32.00	0.81	0.64	43.20	1.10	0.86	41.50	1.05	0.83

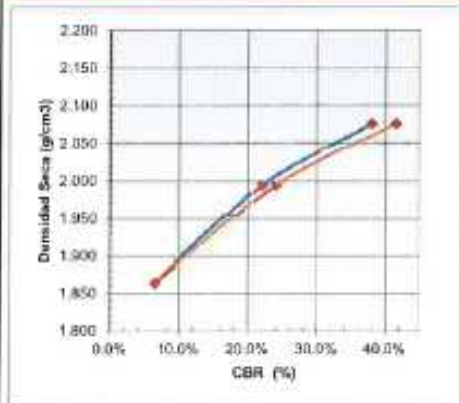
PRUEBA DE PENETRACION

PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg2)	Molde 1 (56g)			Molde 2 (25g)			Molde 3 (10g)					
pulg.	mm.		CARGA	CORRECCIÓN	%	CARGA	CORRECCIÓN	%	CARGA	CORRECCIÓN	%			
0.000	0.000		0	0.00		0	0.00		0	0.00				
0.025	0.635		385	128.33		102	34.00		64	21.33				
0.050	1.270		700	233.33		311	103.67		127	42.33				
0.075	1.905		938	312.67		524	174.67		170	56.67				
0.100	2.540	1000.00	1181	393.67	381.24	38.12%	606	202.00	219.29	21.93%	200	66.67	64.02	6.40%
0.125	3.175		1351	450.33		796	265.33		226	75.33				
0.150	3.810		1545	515.00		892	297.33		248	82.67				
0.175	4.445		1700	566.67		981	327.00		269	89.67				
0.200	5.080	1500.00	1844	614.67	623.88	41.59%	1056	352.00	357.55	23.84%	289	96.33	98.47	6.56%
0.225	5.715		1994	664.67		1128	376.00		306	102.00				
0.250	6.350		2111	703.67		1193	397.67		322	107.33				
0.275	6.985		2255	751.67		1252	417.33		339	113.00				
0.300	7.620	1900.00	2359	786.33		1310	436.67		353	117.67				
0.325	8.255		2493	831.00		1363	454.33		368	122.67				
0.350	8.890		2579	859.67		1419	473.00		383	127.67				
0.375	9.525		2707	902.33		1465	488.33		396	132.00				
0.400	10.160	2300.00	2788	929.33		1515	505.00		408	136.00				
0.425	10.795		2906	968.67		1558	519.33		421	140.33				
0.450	11.430		2982	994.00		1606	535.33		434	144.67				
0.475	12.065		3101	1033.67		1648	549.33		448	149.33				
0.500	12.700	2600.00	3178	1059.33		1696	565.33		461	153.67				



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub-base del camino vecinal de Cotapasco al adicionar relajo mineral, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotapasco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 03	Estrato	subrasante
Fecha:	Marzo del 2024	Profundidad:	1.50 m
		Coordenadas:	883045.00 m S - 717147.00 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



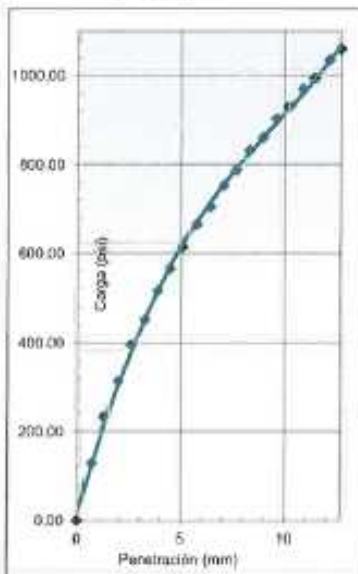
Máxima Densidad Seca (g/cm³): 2.069
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 9.26%
 95% máxima densidad seca (g/cm³): 1.965

RESULTADOS :

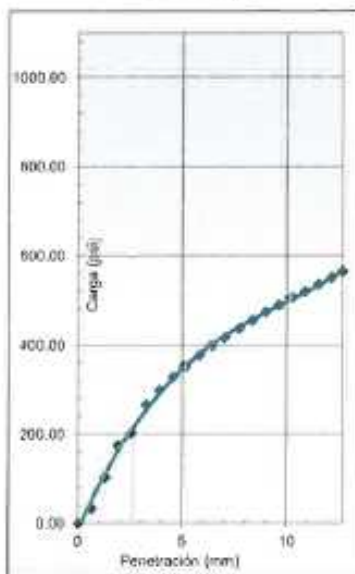
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:36.63% ; 0.2pulg:39.76%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:17.63% ; 0.2pulg:18.91%

OBSERVACIONES:

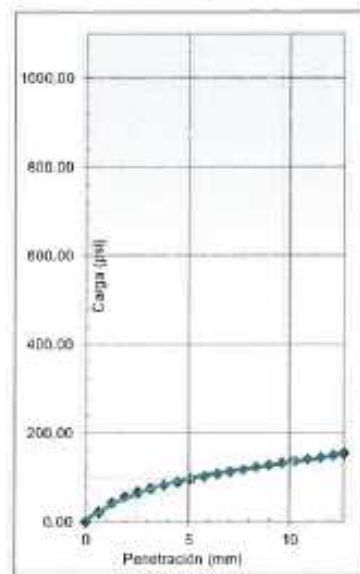
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



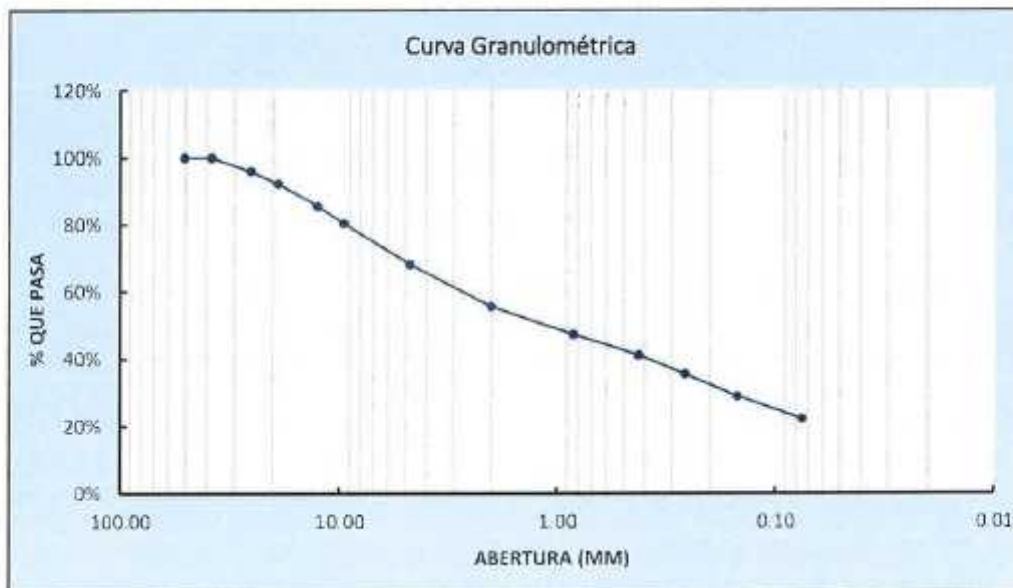
EC = 10 golpes



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 03 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895815.00 m S - 217147.00 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5546.53	Peso final de la muestra (g)	5545.07	Variación	0.03%
MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	221.360	221.360	3.99%	96.01%
3/4"	19.000	203.710	425.070	7.67%	92.33%
1/2"	12.500	368.590	793.660	14.31%	85.69%
3/8"	9.500	288.420	1082.080	19.51%	80.49%
N°4	4.760	679.200	1761.280	31.76%	68.24%
N°10	2.000	701.990	2463.270	44.42%	55.58%
N°20	0.840	460.570	2923.840	52.73%	47.27%
N°40	0.425	340.250	3264.090	58.86%	41.14%
N°60	0.260	315.090	3579.180	64.55%	35.45%
N°100	0.149	363.950	3943.130	71.11%	28.89%
N°200	0.075	365.770	4308.900	77.71%	22.29%
> N°200		1236.170	5545.070	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.235	27.689	27.369
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	192.661	164.846	166.355
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	175.257	150.181	151.369
4. Peso agua (gr)	17.404	14.665	14.986
5. Peso Suelo seco (gr)	148.022	122.492	124.000
6. Contenido Humedad (%)	11.76%	11.97%	12.09%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	11.94%		

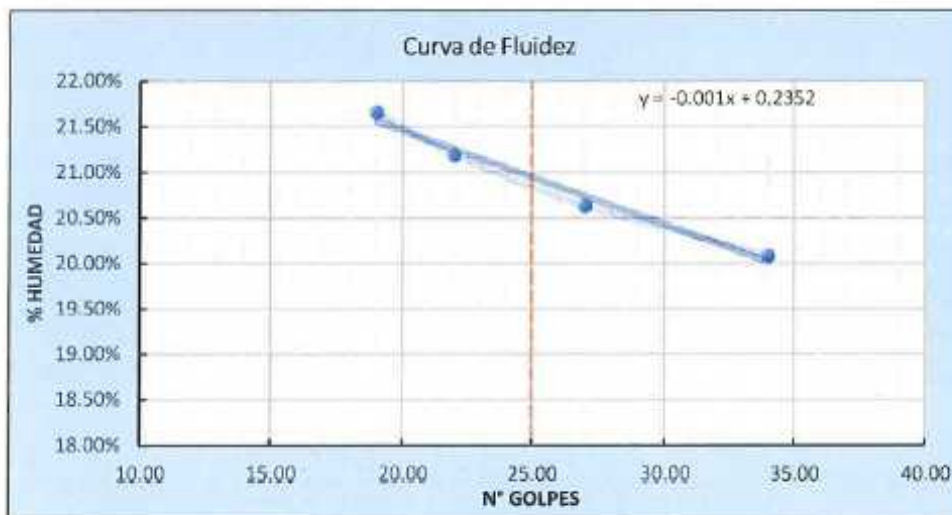


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub-rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Calicata N° 03 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895815.00 m S - 217142.00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	34	27	22	19
2. Peso de la tara (gr)	27.655	27.336	27.981	27.239
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	43.999	41.368	40.866	42.863
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	41.265	38.968	38.613	40.081
5. Peso agua (gr)	2.734	2.400	2.253	2.782
6. Peso Suelo seco (gr)	13.610	11.632	10.632	12.842
7. Contenido Humedad (%)	20.09%	20.63%	21.19%	21.66%
8. Límite Líquido (%)	20.95%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.468	27.936	27.122
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	36.236	34.165	36.358
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	35.022	33.259	35.056
4. Peso agua (gr)	1.214	0.906	1.302
5. Peso Suelo seco (gr)	7.554	5.323	7.934
6. Contenido Humedad (%)	16.07%	17.02%	16.41%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	16.50%		

C. ÍNDICE PLASTICO

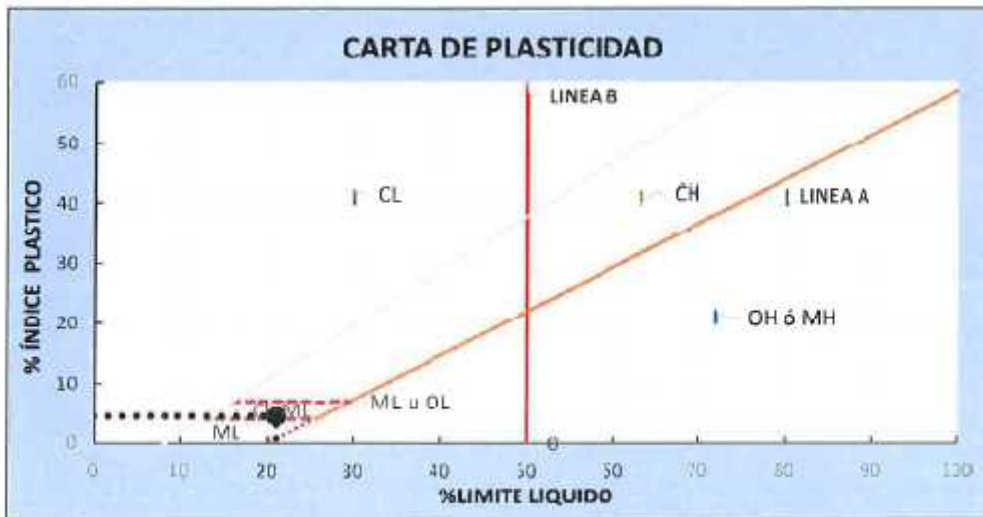
$$IP = \text{Limite Líquido} - \text{Limite Plástico} = 4\%$$



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotapaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotapaco, Provincia Recuay, Arecash.		
Muestra:	Calicata N° 03 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	88958.500 m S - 21747.00 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUGS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	22.29%	% FINOS<50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	59.12%	% ARENA>50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS>12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LÍMITES	CC: NP
		ATTEBEG	LL: 21%
			IP: 4%



En conclusión es un suelo: **SC-SM** ARENA LIMOSA ARCILLOSA GRAVOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-1
3. Sub Grupo	A-1b	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-1b	FRAGMENTO DE PIEDRA, GRAVA Y ARENA	EXCELENTE O BUENO

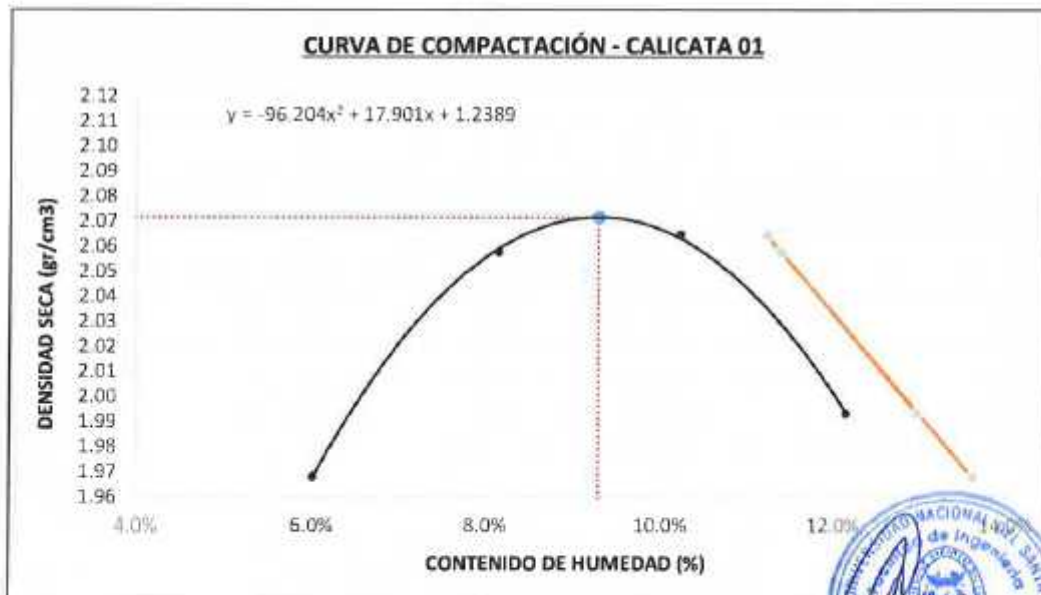
En conclusión es un suelo: **A-1B(0)**



Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relieve minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 03 + 10% Relieve Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895815.00 m S - 217147.00 m E


ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6010.60	6010.60
2. Peso molde + muestra húmeda	10441.10	10736.20	10843.30	10757.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	4430.50	4725.60	4832.70	4746.60
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.087	2.226	2.276	2.235
CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	581.90	427.50	495.00	502.00
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	5153.70	5195.80	5200.00	5155.00
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	4894.20	4836.10	4763.00	4651.00
4. Peso agua (gr)	259.50	359.70	437.00	504.00
5. Peso Suelo seco (gr)	4312.30	4408.60	4268.00	4149.00
Contenido Humedad (%)	6.018%	8.159%	10.239%	12.148%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.968	2.058	2.065	1.993



Densidad Máxima	2.072 gr/cm3
Humedad Óptima	9.30%

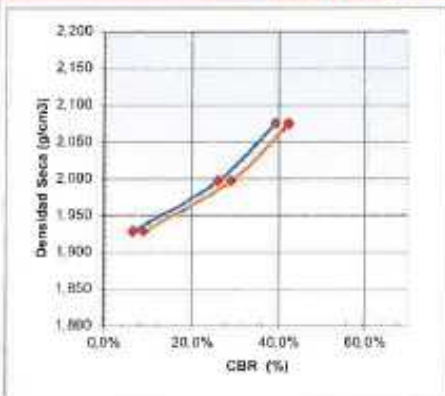


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA								
Testis:		Comportamiento físico mecánico de la sub-casante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar releve minero, Recuay - 2023												
Localización:		Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.												
Muestra:		Calicata N° 03 + 10% Relave Minero				Profundidad:		1.50 m						
Fecha:		Marzo del 2024				Coordenadas:		889513.00 m E - 10747.00 m E						
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACION DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°	Molde 1				Molde 2				Molde 3					
Numero de capas	5				5				5					
Numero de Golpes por capa	56				25				10					
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO			NO SATURADO	SATURADO			NO SATURADO	SATURADO				
1. Peso del molde (gr)	4207.80				4218.10				4218.70					
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	8958.70				8798.40				8631.80					
3. Peso muestra húmeda (gr)	4750.90				4580.30				4413.10					
4. Volumen molde (cm ³)	2122.44				2122.44				2122.44					
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.24				2.16				2.08					
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Peso de la tara (gr)	72.600				210.700				213.400					
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	1133.70				1471.40				1601.40					
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	1056.30				1377.70				1500.80					
4. Peso agua (gr)	77.40				93.70				100.60					
5. Peso Suelo seco (gr)	983.70				1167.00				1287.40					
Contenido Humedad (%)	7.87%				8.03%				7.81%					
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.075				1.998				1.929					
CONTROL DE EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				mm	%		mm	%		mm	%			
8/03/2024	13:30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
9/03/2024	13:30	24	14.50	0.37	0.29	1.50	0.04	0.03	11.00	0.28	0.22			
10/03/2024	13:30	48	15.60	0.40	0.31	3.60	0.09	0.07	13.60	0.35	0.27			
11/03/2024	13:30	72	18.90	0.48	0.38	9.50	0.24	0.19	15.40	0.39	0.31			
12/03/2024	13:30	96	20.60	0.52	0.41	13.50	0.34	0.27	16.20	0.41	0.32			
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg ²)	Molde 1 (56g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
pulg.	mm.		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN	
			LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025	0.635		421	140.33			147	48.00			23	7.67		
0.050	1.270		736	245.33			272	90.67			73	24.33		
0.075	1.905		974	324.67			451	150.33			123	41.00		
0.100	2.540	1000.00	1217	405.67	392.89	39.29%	785	261.67	261.10	26.11%	172	57.33	66.92	6.69%
0.125	3.175		1387	462.33			965	321.67			225	75.00		
0.150	3.810		1581	527.00			1054	351.33			278	92.67		
0.175	4.445		1736	578.67			1176	392.00			332	110.67		
0.200	5.080	1500.00	1880	626.67	636.91	42.46%	1290	430.00	436.20	29.08%	385	128.33	137.37	9.16%
0.225	5.715		2030	676.67			1378	459.33			441	147.00		
0.250	6.350		2147	715.67			1472	490.67			494	164.67		
0.275	6.985		2291	763.67			1543	514.33			552	184.00		
0.300	7.620	1900.00	2395	798.33			1629	543.00			605	201.67		
0.325	8.255		2529	843.00			1692	564.00			656	218.67		
0.350	8.890		2615	871.67			1771	590.33			709	236.33		
0.375	9.525		2743	914.33			1829	609.67			754	251.33		
0.400	10.160	2300.00	2824	941.33			1905	635.00			805	268.33		
0.425	10.795		2942	980.67			1961	653.67			849	283.00		
0.450	11.430		3018	1006.00			2035	678.33			904	301.33		
0.475	12.065		3137	1045.67			2087	695.67			947	315.67		
0.500	12.700	2600.00	3214	1071.33			2151	717.00			1000	333.33		



Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Colapiraco al adicionar relave minero, Recuay - 2023		
Localización:	Distrito de Colapiraco, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Caliccia N° 03 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	883213.00 m. O. - 217147.00 m. E.

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



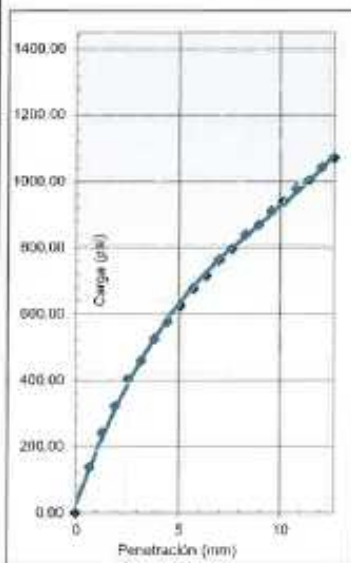
Máxima Densidad Seca (g/cm³): **2.072**
 Óptimo Contenido de Humedad (%): **9.30%**
 95% máxima densidad seca (g/cm³): **1.968**

RESULTADOS :

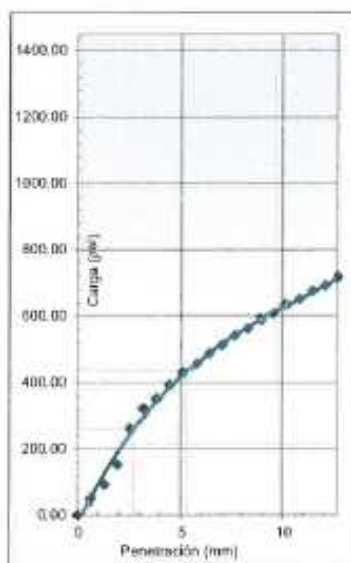
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:38.83% ; 0.2pulg:42.01%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:18.61% ; 0.2pulg:21.42%

OBSERVACIONES:

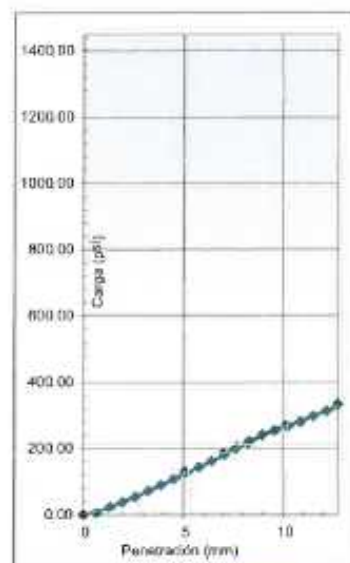
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



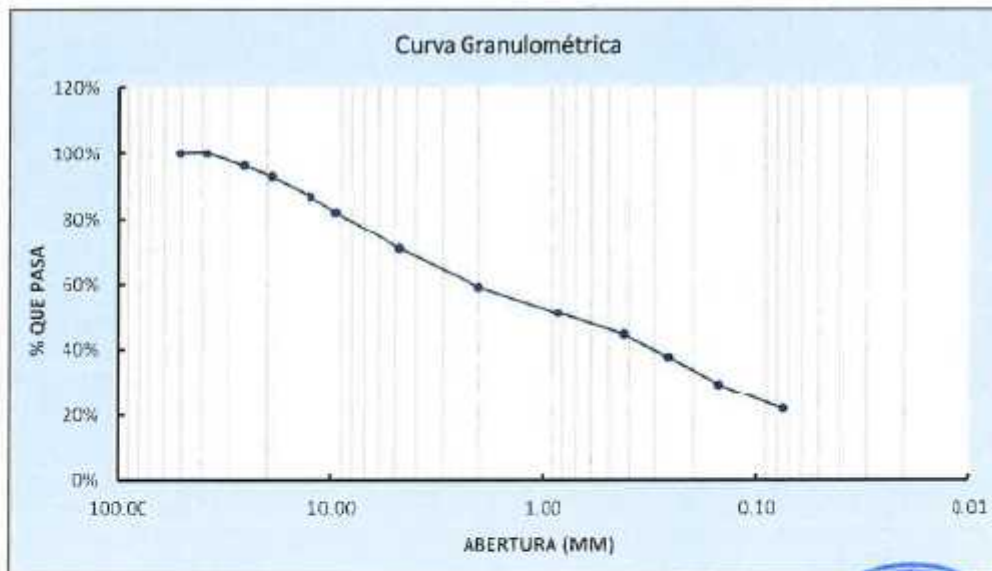
EC = 12 golpes



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relieve minero, Recuy - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuy, Arequipa.		
Muestra:	Calicata N° 03 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	88958 6 00 m S - 217° 47,00 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5583.91	Peso final de la muestra (g)	5582.82	Variación	0.02%
MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
Z'	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	204.280	204.280	3.66%	96.34%
3/4"	19.000	187.990	392.270	7.03%	92.97%
1/2"	12.500	340.150	732.420	13.12%	86.88%
3/8"	9.500	266.170	998.590	17.89%	82.11%
N°4	4.760	626.790	1625.380	29.12%	70.88%
N°10	2.000	658.160	2283.540	40.90%	59.10%
N°20	0.840	442.440	2725.980	48.83%	51.17%
N°40	0.425	367.890	3093.870	55.42%	44.58%
N°80	0.260	388.910	3482.780	62.39%	37.61%
N°100	0.149	461.420	3944.200	70.65%	29.35%
N°200	0.075	412.190	4356.390	78.03%	21.97%
> N°200		1226.230	5582.620	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.356	27.256	28.365
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	191.265	152.261	156.268
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	173.835	136.598	142.235
4. Peso agua (gr)	17.430	15.663	14.033
5. Peso Suelo seco (gr)	146.479	109.342	113.870
6. Contenido Humedad (%)	11.90%	14.32%	12.32%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	12.85%		

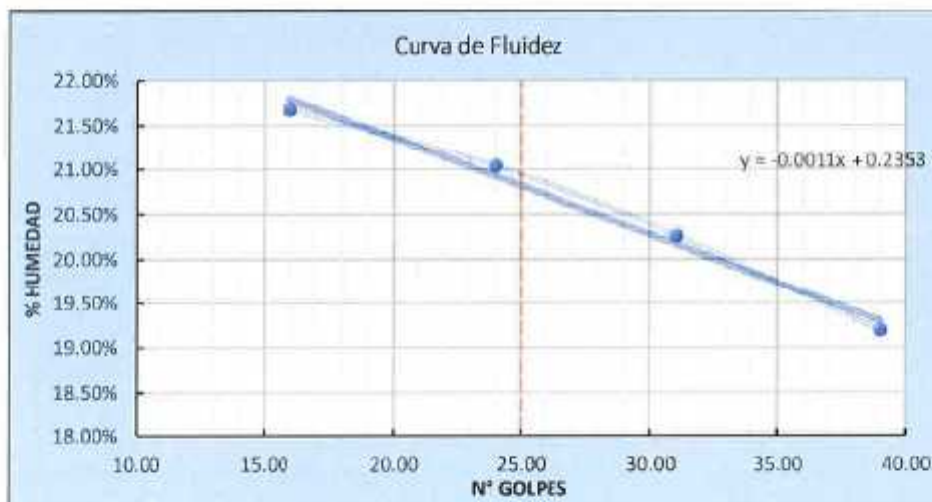


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vicinal de Cotaparaco al adionar relave minero. Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calcaña N° 03 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	835815.00 m S - 217147.00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	39	31	24	16
2. Peso de la tara (gr)	28.029	27.687	27.568	27.569
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	43.469	41.596	43.122	40.111
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	40.983	39.252	40.418	37.376
5. Peso agua (gr)	2.486	2.344	2.704	2.235
6. Peso Suelo seco (gr)	12.954	11.565	12.850	10.307
7. Contenido Humedad (%)	19.19%	20.27%	21.04%	21.68%
8. Límite Líquido (%)	20.82%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.125	28.123	27.856
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	39.835	37.235	36.235
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	38.112	35.684	35.136
4. Peso agua (gr)	1.723	1.551	1.099
5. Peso Suelo seco (gr)	10.987	7.561	7.280
6. Contenido Humedad (%)	15.68%	20.51%	15.10%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	17.10%		

C. ÍNDICE PLASTICO

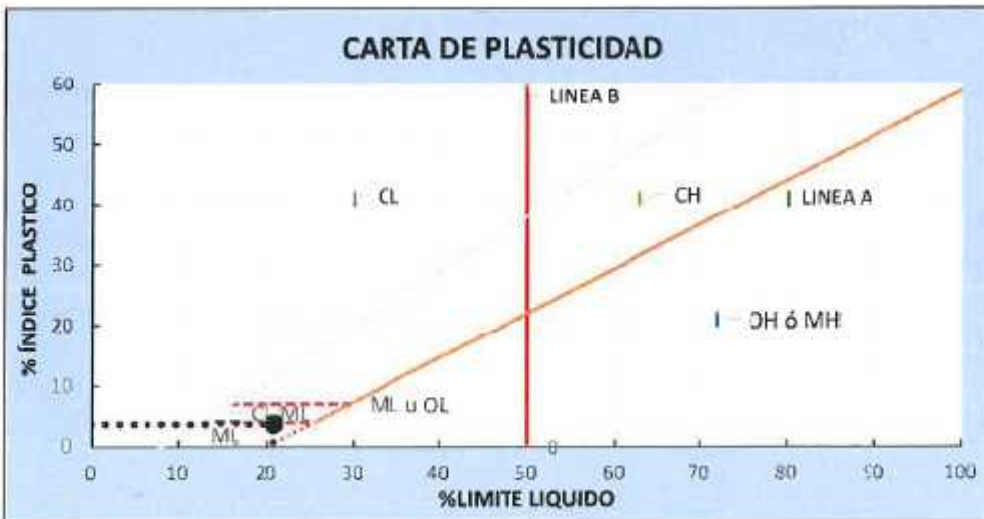
$$IP = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico} = 4\%$$



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 03 + 20% Relave Minero	Profundidad:	150 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	885815.00 m S. - 217147.00 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	21.97%	% FINOS<50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	62.69%	% ARENA>50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS>12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LÍMITES	CC: NP
		ATTERBEG	LL: 21%
			IP: 4%



En conclusión es un suelo: **SM** ARENA LIMOSA CON GRAVA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-1
3. Sub Grupo	A-1b	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-1b	FRAGMENTO DE PIEDRA, GRAVA Y ARENA	EXCELENTE O BUENO

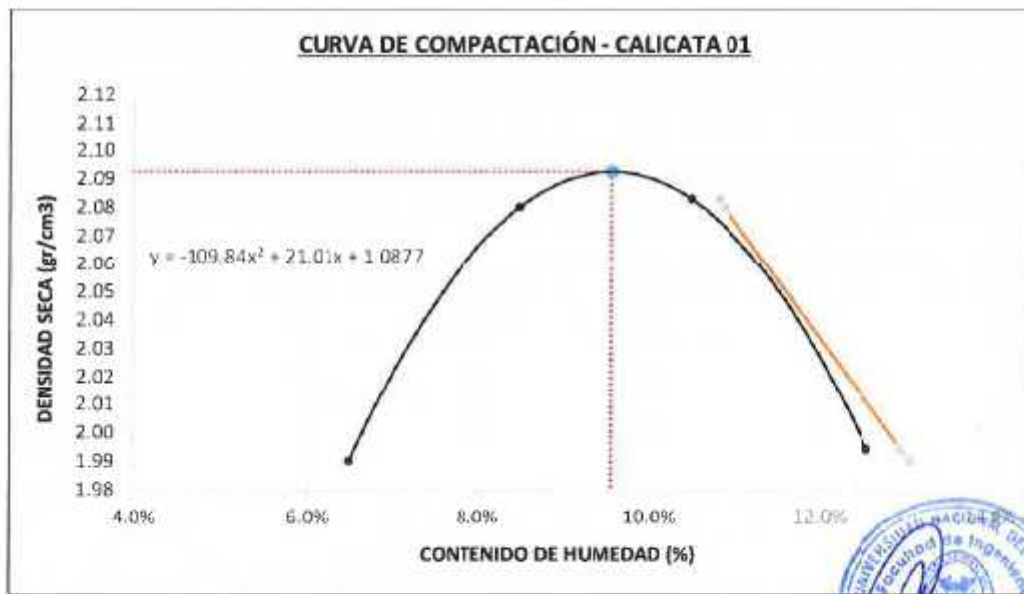
En conclusión es un suelo: **A-1B(0)**



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 03 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8856818.00 m S - 217147.00 m E


ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6010.60	6010.60
2. Peso molde + muestra húmeda	10511.20	10802.50	10897.30	10776.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	4500.60	4791.90	4886.70	4765.60
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.120	2.257	2.301	2.244
CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	560.90	406.50	474.00	481.00
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	5132.70	5174.80	5179.00	5134.00
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	4853.20	4801.10	4732.00	4615.00
4. Peso agua (gr)	279.50	373.70	447.00	519.00
5. Peso Suelo seco (gr)	4292.30	4394.60	4258.00	4134.00
Contenido Humedad (%)	6.512%	8.504%	10.498%	12.554%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.990	2.080	2.083	1.994



Densidad Máxima	2.092 gr/cm³
Humedad Óptima	9.56%

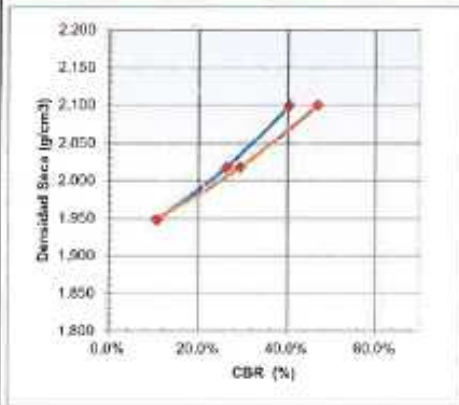


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS							 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA							
Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vecinal de Cotaparaico al adicionar relave minero, Recusay - 2023													
Localización:	Distrito de Cotaparaico, Provincia Recusay, Arequipa.													
Muestra:	Calicata N°	03 + 20% Relave Minero	Profundidad:		1.50 m									
Fecha:	Marzo del 2024		Coordenadas:		885013.00 mE - 117147.00 mE									
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACION DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°	Molde 1			Molde 2			Molde 3							
Numero de capas	5			5			5							
Numero de Golpes por capa	56			25			10							
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO						
1. Peso del molde (gr)	4207.30			4210.40			4217.40							
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	9095.80			8902.80			8767.50							
3. Peso muestra húmeda (gr)	4888.50			4692.40			4550.10							
4. Volumen molde (cm³)	2122.44			2122.44			2122.44							
5. Densidad húmeda (gr/cm³)	2.30			2.21			2.14							
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Peso de la tara (gr)	92.300			231.700			261.500							
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	819.50			849.10			1394.30							
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	755.27			795.14			1291.10							
4. Peso agua (gr)	64.23			53.96			103.20							
5. Peso Suelo seco (gr)	662.97			563.44			1029.60							
Contenido Humedad (%)	9.69%			9.58%			10.02%							
Densidad Seca (gr/cm³)	2.100			2.018			1.949							
CONTROL DE EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				mm	%		mm	%		mm	%			
12/03/2024	16:30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
13/03/2024	16:30	24	12.60	0.32	0.25	12.50	0.32	0.25	16.50	0.42	0.33			
14/03/2024	16:30	48	14.80	0.38	0.30	13.90	0.35	0.28	18.90	0.48	0.38			
15/03/2024	16:30	72	16.70	0.42	0.33	15.80	0.40	0.32	21.50	0.55	0.43			
16/03/2024	16:30	96	18.70	0.47	0.37	16.80	0.43	0.34	26.40	0.67	0.53			
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg2)	Molde 1 (56g)			Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)				
pulg.	mm.		CARGA	CORRECCION	%	CARGA	CORRECCION	%	CARGA	CORRECCION	%			
0.000	0.000		0	0.00		0	0.00		0	0.00				
0.025	0.635		209	69.67		186	62.00		162	54.00				
0.050	1.270		555	185.00		304	101.33		255	85.00				
0.075	1.905		981	327.00		526	175.33		306	102.00				
0.100	2.540	1000.00	1269	423.00	404.86	40.49%	785.5	261.83	263.36	26.34%	344	114.67	109.66	10.97%
0.125	3.175		1338	446.00		965.5	321.83		374	124.67				
0.150	3.810		1640	546.67		1075	358.33		402	134.00				
0.175	4.445		1871	623.67		1197	399.00		427	142.33				
0.200	5.080	1500.00	2121	707.00	703.19	46.88%	1311	437.00	439.70	29.31%	462	154.00	156.87	10.46%
0.225	5.715		2266	755.33		1399	466.33		471	157.00				
0.250	6.350		2471	823.67		1493	497.67		493	164.33				
0.275	6.985		2590	863.33		1564	521.33		519	173.00				
0.300	7.620	1900.00	2757	919.00		1650	550.00		539	179.67				
0.325	8.255		2867	955.67		1713	571.00		566	188.67				
0.350	8.890		3016	1005.33		1792	597.33		585	195.00				
0.375	9.525		3127	1042.33		1850	616.67		604	201.33				
0.400	10.160	2300.00	3260	1086.67		1926	642.00		623	207.67				
0.425	10.795		3381	1127.00		1982	660.67		645	215.00				
0.450	11.430		3490	1163.33		2056	685.33		665	221.67				
0.475	12.065		3609	1203.00		2108	702.67		686	228.67				
0.500	12.700	2600.00	3703	1234.33		2172	724.00		707	235.67				



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vecinal de Colaparco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Colaparco; Provincia Recuay, Arecah.		
Muestra:	Calicota N° 03 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	885815.00 n S - 207147.00 n E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



Máxima Densidad Seca (g/cm³): 2.092
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 9.56%
 95% máxima densidad seca (g/cm³): 1.988

RESULTADOS :

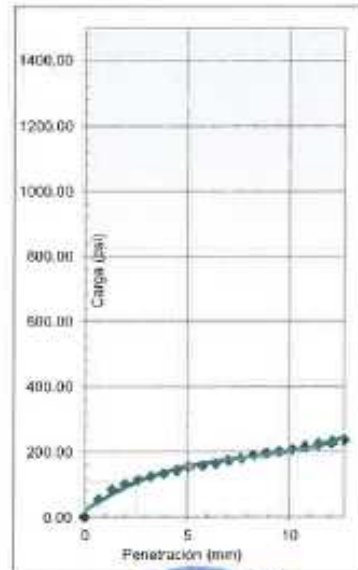
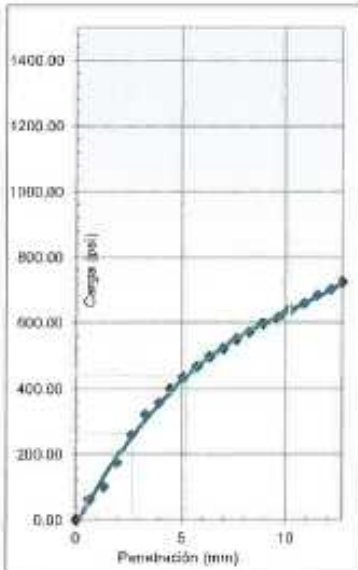
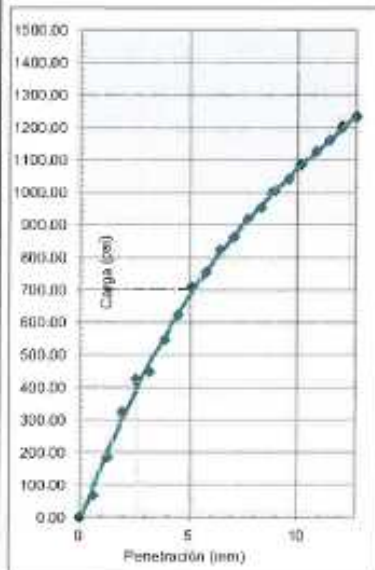
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:39.42% ; 0.2pulg:45.55%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:20.11% ; 0.2pulg:21.67%

OBSERVACIONES:

EC = 56 golpes

EC = 25 golpes

EC = 10 golpes

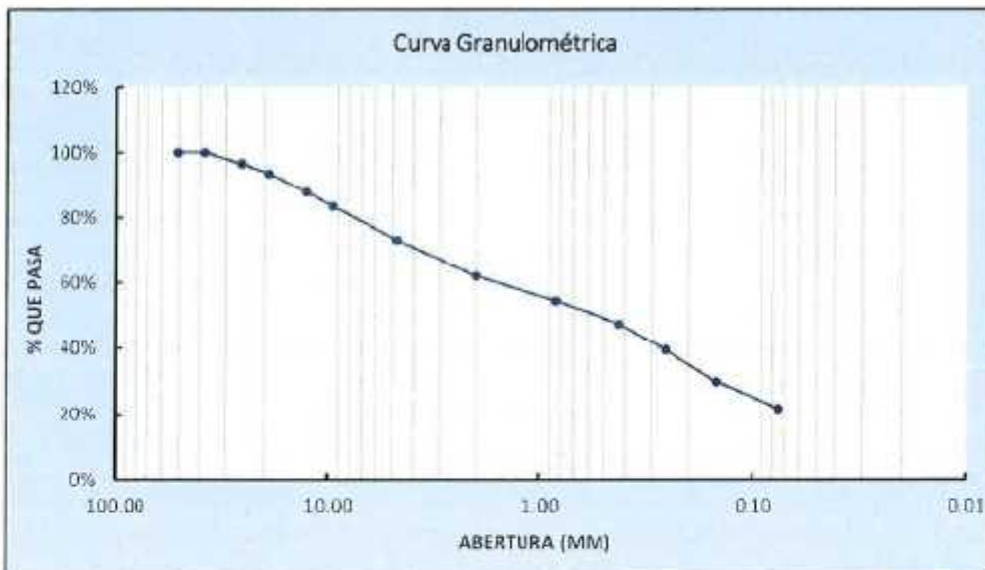


Tesis:	*Comportamiento físico-mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaxaraco al adionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 03 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	895615.0 m S - 217147.00 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g) | 5900.57 | Peso final de la muestra | 5899.35 | Variación | 0.02%

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	199.263	199.260	3.38%	96.62%
3/4"	19.000	183.373	382.630	6.49%	93.51%
1/2"	12.500	331.793	714.420	12.11%	87.89%
3/8"	9.500	259.633	974.050	15.51%	83.49%
N°4	4.750	611.393	1585.440	23.87%	73.13%
N°10	2.000	652.063	2237.500	37.93%	62.07%
N°20	0.840	448.540	2686.040	45.53%	54.47%
N°40	0.425	411.400	3097.440	52.50%	47.50%
N°60	0.250	475.090	3572.530	60.56%	39.44%
N°100	0.149	572.540	4145.070	70.26%	29.74%
N°200	0.075	474.860	4619.930	78.31%	21.69%
> N°200		1279.420	5899.350	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.265	27.658	27.259
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	192.368	156.358	161.781
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	175.652	141.239	143.823
4. Peso agua (gr)	16.716	15.119	17.958
5. Peso Suelo seco (gr)	148.387	113.581	116.564
6. Contenido Humedad (%)	11.27%	13.31%	15.4%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	13.33%		

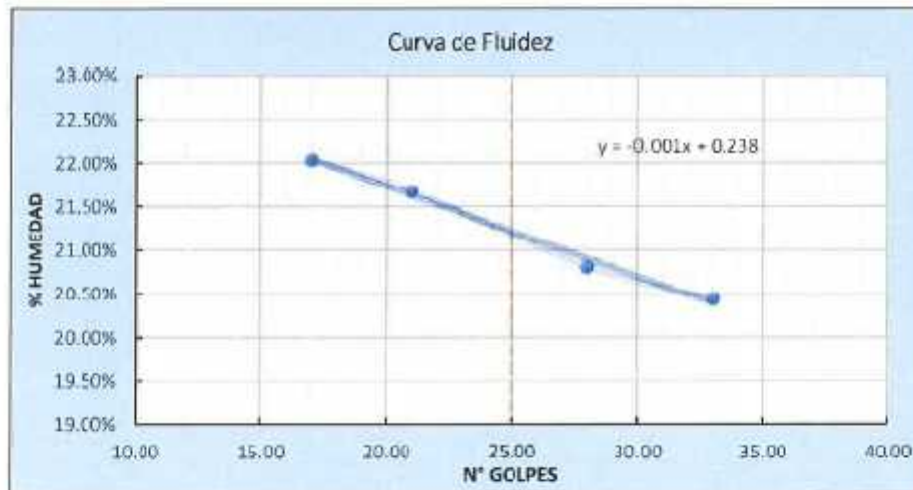


Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Celaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Coayaco, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Calicata N° 03 + 30% Relave Mineo	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordnadas:	8058216.00 m E - 2 7747 00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	33	28	21	17
2. Peso de la tara (gr)	27.285	27.658	27.369	27.250
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	41.425	43.454	40.198	44.225
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	39.025	40.733	37.912	41.160
5. Peso agua (gr)	2.400	2.721	2.286	3.065
6. Peso Suelo seco (gr)	11.740	13.075	10.543	13.910
7. Contenido Humedad (%)	20.44%	20.81%	21.68%	22.03%
8. Limite Liquido (%)	21.22%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.015	27.685	28.281
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	37.355	33.258	36.854
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	36.072	32.573	35.669
4. Peso agua (gr)	1.333	0.680	1.185
5. Peso Suelo seco (gr)	9.007	4.893	7.388
6. Contenido Humedad (%)	14.80%	13.90%	16.04%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	14.91%		

C. ÍNDICE PLASTICO

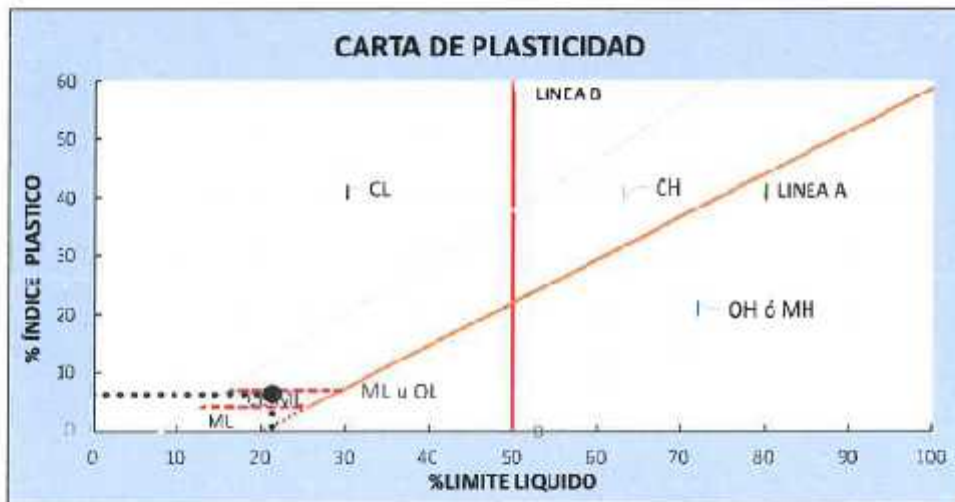
$$IP = \text{Limite Liquido} - \text{Limite Plástico} = 6\%$$



Tesis:	Comportamiento físico-mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Resuary - 2023		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 03 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	805815.0 m S - 277147.00 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	21.69%	% FINOS < 50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	65.68%	% ARENA > 50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	% FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LIMITES	CC: NP
		LL:	21%
		IP:	6%



En conclusión es un suelo: **SC-SM** ARENA LIMOSA ARCILLOSA GRAVOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-2
3. Sub Grupo	A-2-1	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERÍSTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-2-4	GRAVAS, ARENAS LIMOSAS Y ARCILLOSAS	EXCELENTE O BUENO

En conclusión es un suelo: **A-2-4(0)**

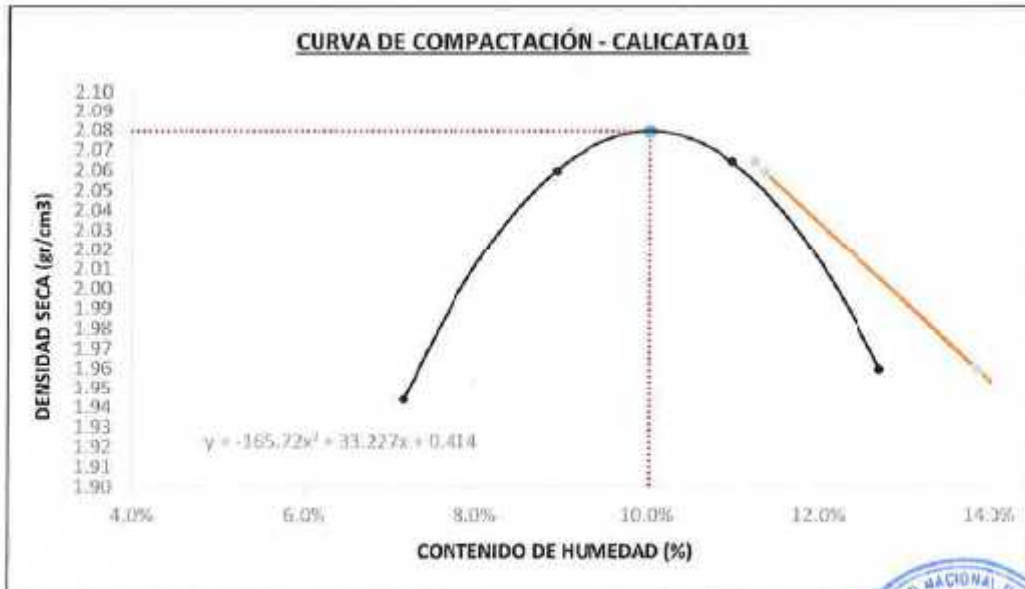


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub resante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 03 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8695815.00 m S - 217147.00 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6011.60	6011.60
2. Peso molde + muestra húmeda	10433.50	10774.30	10876.70	10701.10
3. Peso muestra húmeda (gr)	4422.50	4763.70	4865.10	4689.50
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.083	2.244	2.291	2.209

CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	323.20	432.90	178.50	146.60
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	4793.90	5024.00	612.50	699.80
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	4495.10	4652.20	569.50	637.40
4. Peso agua (gr)	298.80	371.80	43.00	62.40
5. Peso Suelo seco (gr)	4171.90	4159.30	391.00	490.80
Contenido Humedad (%)	7.162%	8.939%	10.997%	12.714%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.944	2.059	2.064	1.959



Densidad Máxima	2.080 gr/cm³
Humedad Óptima	10.03%

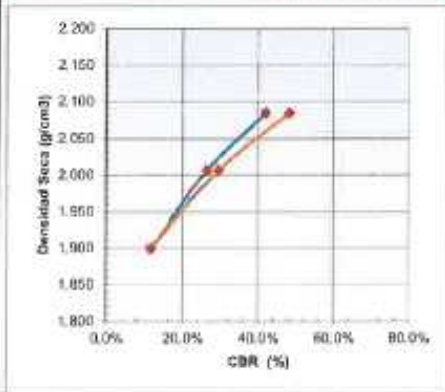


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS														
Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Colapiraco al adionar relave minero, Recusay - 2023"													
Localización:	Distrito de Colapiraco, Provincia Recusay, Ancash.													
Muestra:	Calicata N°	03 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m										
Fecha:	Marzo del 2024		Coordenadas:	009810.00 m S - 717117.00 m E										
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°	Molde 1			Molde 2			Molde 3							
Numero de capas	5			5			5							
Numero de Golpes por capa	56			25			10							
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO						
1. Peso del molde (gr)	4221.40			4210.90			4206.50							
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	9096.00			8896.60			8656.50							
3. Peso muestra húmeda (gr)	4874.60			4685.70			4450.00							
4. Volumen molde (cm ³)	2122.44			2122.44			2122.44							
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.30			2.21			2.10							
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Peso de la tara (gr)	83.200			191.700			252.500							
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	1036.90			1391.00			1455.70							
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	948.70			1281.50			1343.20							
4. Peso agua (gr)	88.20			109.50			112.50							
5. Peso Suelo seco (gr)	865.50			1089.80			1090.70							
Contenido Humedad (%)	10.19%			10.05%			10.31%							
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.084			2.006			1.901							
CONTROL DE EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				mm	%		mm	%		mm	%			
12/03/2024	15:30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
13/03/2024	15:30	24	6.50	0.17	0.13	6.90	0.18	0.14	3.00	0.08	0.06			
14/03/2024	15:30	48	10.20	0.26	0.20	12.50	0.32	0.25	6.50	0.17	0.13			
15/03/2024	15:30	72	20.60	0.52	0.41	62.90	1.60	1.26	15.40	0.39	0.31			
16/03/2024	15:30	96	31.30	0.80	0.63	35.40	0.90	0.71	23.50	0.60	0.47			
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg2)	Molde 1 (56g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
pulg.	mm.		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION		
0.000	0.000		LECTURA/PRESION	PRESION	%	LECTURA/PRESION	PRESION	%	LECTURA/PRESION	PRESION	%			
0.025	0.635		0	0.00		0	0.00		0	0.00				
0.050	1.270		292	97.33		225	75.00		120	40.00				
0.075	1.905		638	212.67		336	112.00		214	71.33				
0.100	2.540	1000.00	1064	354.67		601	200.33		306	102.00				
0.125	3.175		1352	450.67	422.49	42.25%	786	262.00	265.57	26.56%				
0.150	3.810		1421	473.67		966	322.00		430	143.33				
0.175	4.445		1723	574.33		1096	365.33		458	152.67				
0.200	5.080	1500.00	1954	651.33		1218	406.00		483	161.00				
0.225	5.715		2204	734.67	726.41	48.43%	1332	444.00	443.16	29.54%				
0.250	6.350		2349	783.00		1420	473.33		527	175.67				
0.275	6.985		2554	851.33		1514	504.67		549	183.00				
0.300	7.620	1900.00	2673	891.00		1585	528.33		575	191.67				
0.325	8.255		2840	946.67		1671	557.00		595	198.33				
0.350	8.890		2950	983.33		1734	578.00		622	207.33				
0.375	9.525		3089	1033.00		1813	604.33		641	213.67				
0.400	10.160	2300.00	3210	1070.00		1871	623.67		660	220.00				
0.425	10.795		3343	1114.33		1947	649.00		679	226.33				
0.450	11.430		3464	1154.67		2003	667.67		701	233.67				
0.475	12.065		3573	1191.00		2077	692.33		721	240.33				
0.500	12.700	2600.00	3692	1230.67		2129	709.67		746	248.00				
			3786	1262.00		2193	731.00		767	254.67				



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotarpo al adionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotarpo, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Calicata N° 03 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	MSM508 m S - 21714700 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1893)



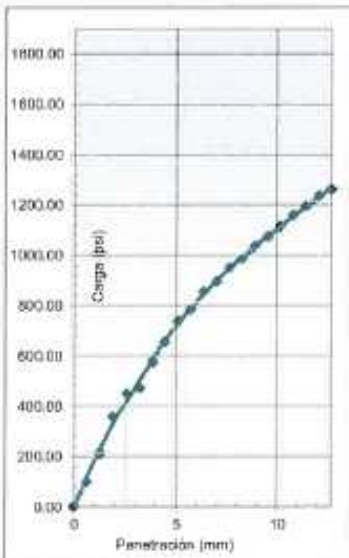
Máxima Densidad Seca (g/cm³): 2.080
Óptimo Contenido de Humedad (%): 10.03%
95% máxima densidad seca (g/cm³): 1.976

RESULTADOS :

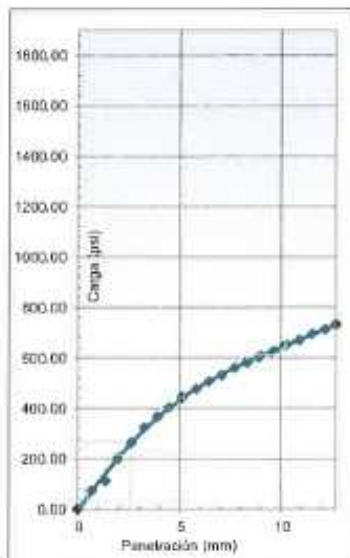
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0,1pulg:41.09% ; 0,2pulg:47.06%
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0,1pulg:21.46% ; 0,2pulg:23.4%

OBSERVACIONES :

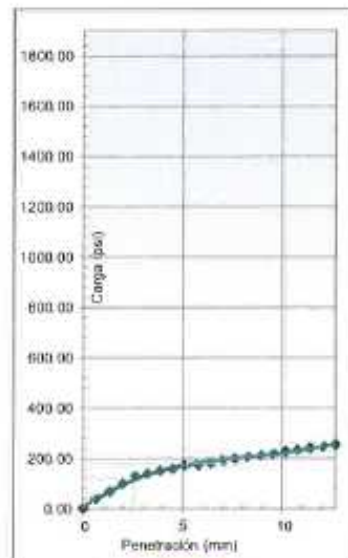
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



EC = 10 golpes



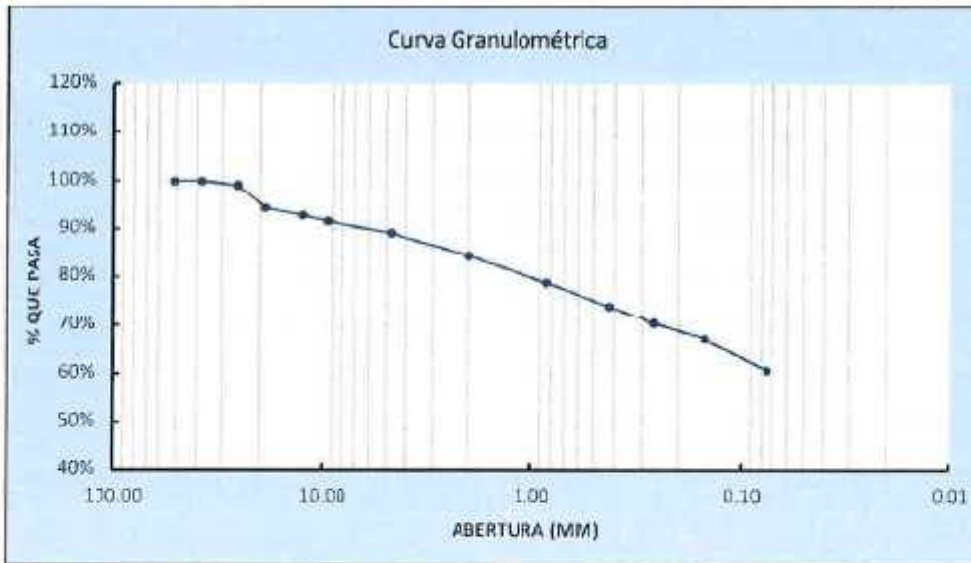
7.1.4. Calicata N° - 04

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS				 UNS <small>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</small>	
Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vicinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023				
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.				
Muestra:	Calicata N°	04	Fstrato	01	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024			Coordenadas:	885710 m S - 21852500 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5251.00	Peso final de la muestra (5250.50	Varacion	0.01%
------------------------------	---------	----------------------------	---------	----------	-------

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.30%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.30%	100.00%
1"	25.400	47.000	47.000	0.90%	99.10%
3/4"	19.000	248.800	295.800	5.53%	94.37%
1/2"	12.500	81.200	377.000	7.18%	92.82%
3/8"	9.500	60.600	437.600	8.33%	91.67%
N°4	4.760	130.200	567.800	10.81%	89.19%
N°10	2.000	251.100	818.900	15.60%	84.40%
N°20	0.840	292.000	1110.900	21.16%	76.84%
N°40	0.425	256.700	1367.600	26.05%	73.95%
N°60	0.260	180.900	1548.500	29.49%	70.51%
N°100	0.149	174.800	1723.300	32.82%	67.16%
N°200	0.075	335.200	2058.500	39.21%	60.76%
> N°200		3192.000	5250.500	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	28.199	28.872	27.138
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	199.315	189.722	187.741
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	187.253	178.750	175.344
4. Peso agua (gr)	12.062	10.972	12.397
5. Peso Suelo seco (gr)	159.054	149.878	148.206
6. Contenido Humedad (%)	7.58%	7.32%	8.36%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	7.76%		

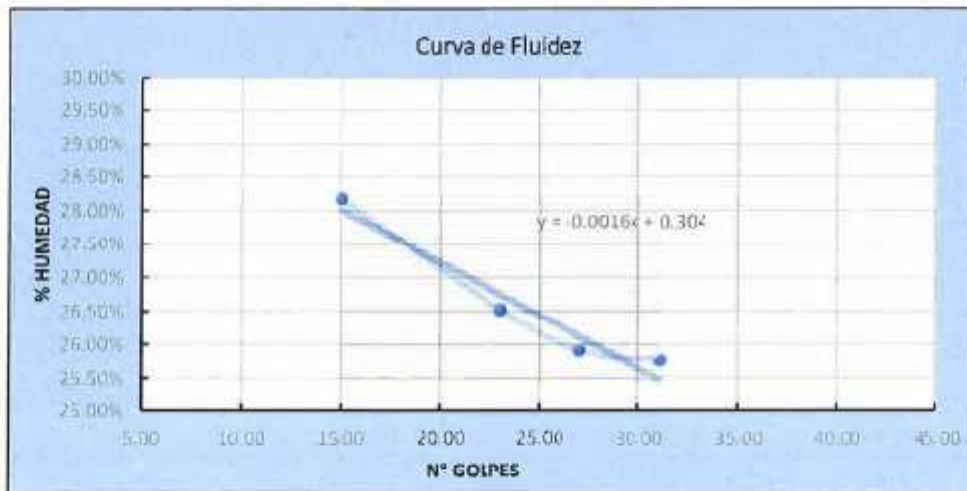


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relieve minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Calicata N° 04	Estrato 01	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024		Coordenadas: 8895709 m S - 21650560 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	31	27	23	15
2. Peso de la tara (gr)	28.087	28.321	26.725	27.902
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	44.502	41.531	40.906	42.464
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	41.143	38.830	37.933	39.262
5. Peso agua (gr)	3.362	2.801	2.973	3.202
6. Peso Suelo seco (gr)	13.053	10.809	11.208	11.360
7. Contenido Humedad (%)	25.76%	25.91%	26.53%	28.19%
8. Limite Líquido (%)	26.44%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	28.298	27.478	27.474
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	34.347	34.601	34.594
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	33.366	33.452	33.443
4. Peso agua (gr)	0.981	1.149	1.151
5. Peso Suelo seco (gr)	5.068	5.974	5.969
6. Contenido Humedad (%)	19.36%	19.23%	19.28%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	19.29%		

C. ÍNDICE PLASTICO

$$IP = \text{Limite Líquido} - \text{Limite Plástico} = 7\%$$



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relieve minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 Estrato 01	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	005709-3-210500-11 E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	60.79%	% FINOS > 50%	SUELO DE PARTÍCULAS FINAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	72.42%	% ARENA > 50%	LIMOS Y ARCILLAS LL < 50%
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	% FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LÍMITES	CC: NP
		ATTERBEG	LL: 26%
			IP: 7%



En conclusión es un suelo: **CL** ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD ARENOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS	2. Grupos	A-4
3. Sub Grupo	-	4. Índice de Grupo (IG)	2

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-4	SUELOS LIMOSOS	REGULAR O DEFICIENTE



En conclusión es un suelo: **A-4(2)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relieve minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N°	01	Estrato subrasante
Fecha:	Marzo del 2024	Profundidad:	1.50 m
		Coordenadas:	8895709 m.S - 21659500 m.E

Profundidad de Excavación:	1.50 m.
-----------------------------------	---------

Nivel Freático:	NP
------------------------	----

Prof. (m)	Descripción visual	CLASIFICACIÓN		SIMBOLOGÍA GRÁFICA	Hum. Nat.	LIMITES ATTERBEG			GRANULOMETRÍA %			
		SUCS	AASHTO			LL %	LP %	IP	GRAVAS	ARENAS	FINOS	
0.00	Material escombros (no considerado en la clasificación)	/	/		/	/	/	/	/	/	/	/
0.10												
1.50	con un espesor de 1.40 m, de arena arcillosa, color beige oscuro, en condición un poco húmedas, consistencia muy suave, cementación mediana y estructura homogénea.	CL - ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD ARENOSA	A-4(2)		7.76%	26.44%	19.29%	7.15%	10.81%	28.39%	60.79%	



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	
Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Arecash.		
Muestra:	Calicata N°: 04 Estrato subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895709 m S - 2169500 m E

1. GRAVEDAD ESPECÍFICA (MTC E 206)

AGREGADO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra	1 1/2"
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr) (A)	5099
Masa de la muestra seca (gr) (B)	5000
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr) (C)	3230
Gravedad Especifica $A/(A-C)$	2.73
Gravedad Especifica Aparente, $G_{ea} = B/(B - C)$	2.82
Gravedad Aparente, $D_a = 0.9975B/(B - C)$	2.82

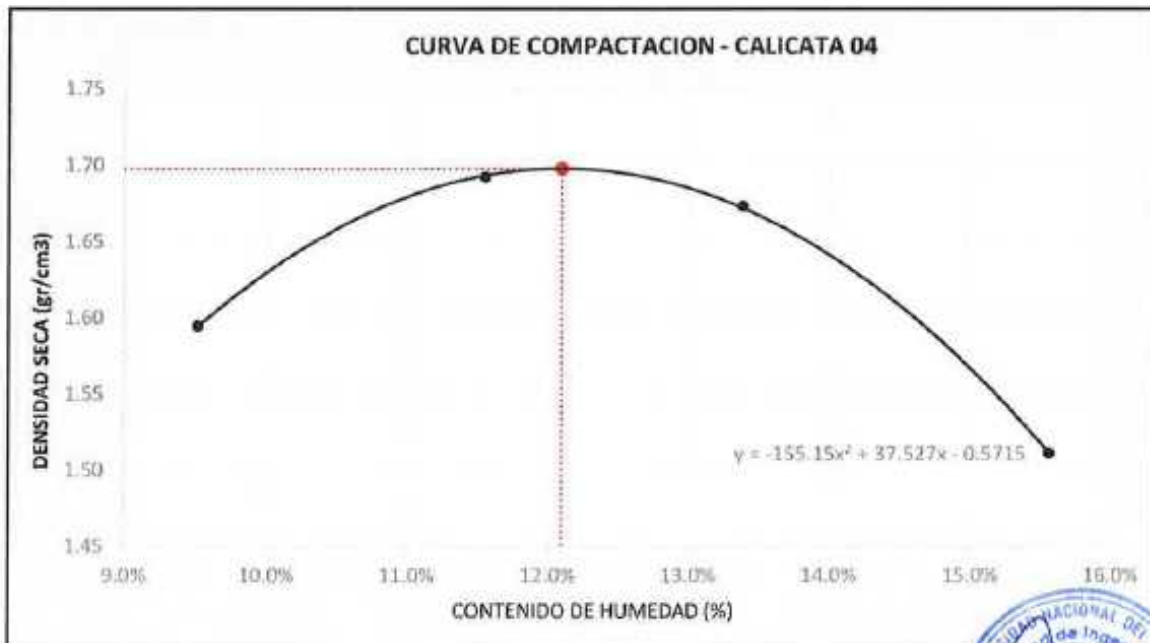
Observación:



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04	Estrato 01	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024		Coordenadas: 8865709 m S - 21658500 m E


ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6010.60	6010.60
2. Peso molde + muestra humeda	9718.20	10018.20	10038.20	9718.20
3. Peso muestra humeda (gr)	3707.60	4007.60	4027.60	3707.60
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad humeda (gr/cm ³)	1.746	1.887	1.897	1.746
CONTENIDO HUMEDAD				
Porcion de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	179.50	210.60	213.40	211.50
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	691.90	848.90	833.50	705.40
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	647.40	782.80	760.30	638.90
4. Peso agua (gr)	44.50	66.10	73.20	66.50
5. Peso Suelo seco (gr)	467.90	572.20	546.90	427.40
Contenido Humedad (%)	9.511%	11.552%	13.385%	15.559%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.594	1.692	1.673	1.511



Densidad Maxima	1.698 gr/cm3
Humedad Optima	12.09%

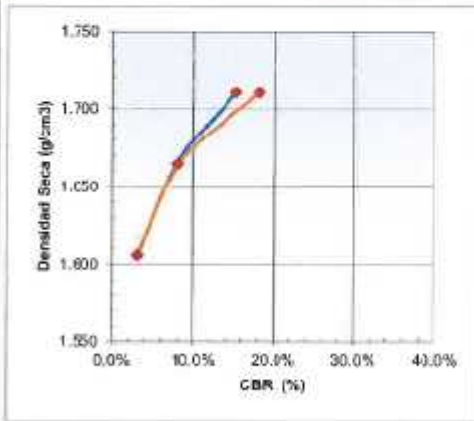


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA								
Tesis:	"Comportamiento físico-mecánico de la sub-rasante del camino secundario de Cotaparaco al adicionar relave mineral, Recray - 2023"													
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recay, Ancash.													
Muestra:	Calicata N°	04	Estrato	subrasante	Profundidad:	1.50 m								
Fecha:	Marzo del 2024				Coordenadas:	6665703 m S - 1165920 m E								
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°	Molde 1			Molde 2			Molde 3							
Numero de capas:	5			5			5							
Numero de Golpes por capa	55			25			10							
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO		SATURADO	NO SATURADO		SATURADO	NO SATURADO							
1. Peso del molde (gr)	4206.50			4216.70			4217.10							
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	8268.00			8188.00			8038.00							
3. Peso muestra húmeda (gr)	4061.50			3971.30			3820.90							
4. Volumen molde (cm ³)	2122.44			2122.44			2122.44							
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.914			1.871			1.800							
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Peso de la tara (gr)	211.400			210.500			213.400							
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	745.90			741.30			773.40							
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	689.10			682.70			712.90							
4. Peso agua (gr)	56.80			58.60			60.50							
5. Peso Suelo seco (gr)	477.70			472.10			495.50							
Contenido Humedad (%)	11.85%			12.41%			12.11%							
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.710			1.664			1.606							
CONTROL DE EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				mm	%		mm	%		mm	%			
19/03/2024	13:32:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
20/03/2024	14:32:00	24	29.43	0.75	0.59	64.80	1.65	1.30	57.30	1.45	1.15			
22/03/2024	15:28:00	48	33.80	0.86	0.68	70.50	1.79	1.41	60.20	1.53	1.20			
23/03/2024	09:30:00	72	34.53	0.88	0.69	75.70	1.92	1.51	62.90	1.63	1.26			
24/03/2024	09:30:00	96	36.80	0.93	0.74	78.87	2.00	1.58	69.80	1.77	1.40			
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg ²)	Molde 1 (50g)			Molde 2 (25g)			Molde 3 (10g)					
			CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN				
pulg.	mm.		LECTURA	PRESION	%	LECTURA	PRESION	%	LECTURA	PRESION	%			
0.000	0.000		22	7.33		28	9.33		20	6.67				
0.025	0.635		112	37.33		78	26.33		46	15.44				
0.050	1.270		221	73.67		145	48.33		69	23.00				
0.075	1.905		344	114.67		203	67.67		88	29.33				
0.100	2.540	1000.00	454	151.33	154.09	154.1%	249	83.00	79.59	7.96%	101	33.67	32.79	3.28%
0.125	3.175		566	188.33		286	95.33		114	38.00				
0.150	3.810		657	219.00		315	105.00		124	41.33				
0.175	4.445		752	250.67		340	113.33		134	44.67				
0.200	5.080	1500.00	820	275.33	273.58	282.4%	363	121.00	123.51	8.28%	144	48.00	48.55	3.24%
0.225	5.715		900	300.00		390	130.00		152	50.67				
0.250	6.350		970	323.33		410	136.67		160	53.33				
0.275	6.985		1037	345.67		431	143.67		168	56.00				
0.300	7.620	1900.00	1097	365.67		451	150.33		177	59.00				
0.325	8.255		1160	386.67		471	157.00		187	62.33				
0.350	8.890		1217	405.67		489	163.00		193	64.33				
0.375	9.525		1274	424.67		505	168.33		202	67.33				
0.400	10.160	2800.00	1330	443.33		528	176.00		211	70.33				
0.425	10.795		1384	461.33		540	180.00		218	72.67				
0.450	11.430		1439	479.67		557	185.67		226	75.33				
0.475	12.065		1492	497.33		573	191.00		235	78.33				
0.500	12.700	2600.00	1549	516.33		590	196.67		241	80.33				



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vecinal de Cotaparaco al aflorar el valle minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04	Estrato subrasante	Profundidad: 1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024		Coordenadas: 8985.09 m S - 710200.00 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



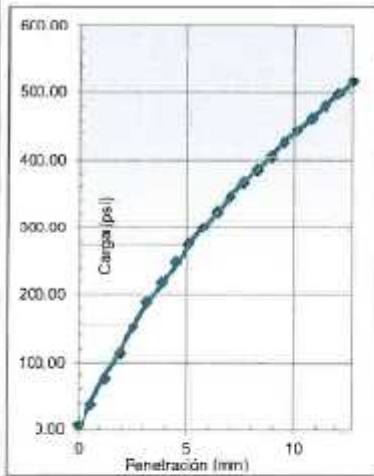
Máxima Densidad Seca (g/cm³): 1.698
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 12.09%
 95% máxima densidad seca (g/cm³): 1.613

RESULTADOS :

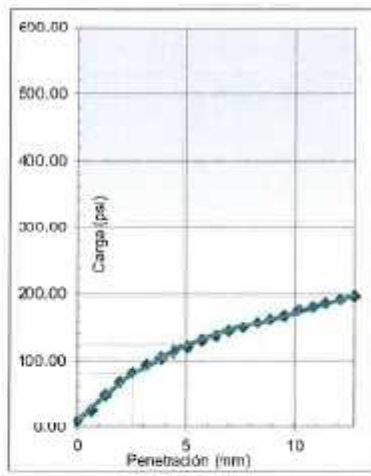
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:13.07% ; 0.2pulg:15.05%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:3.58% ; 0.2pulg:3.45%

OBSERVACIONES:

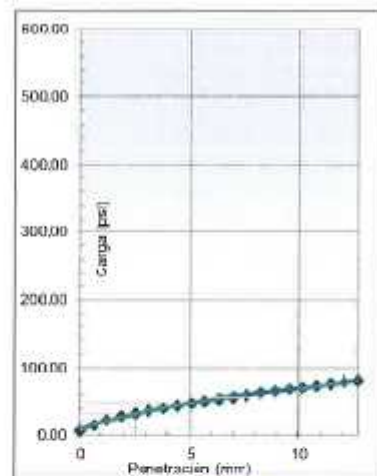
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



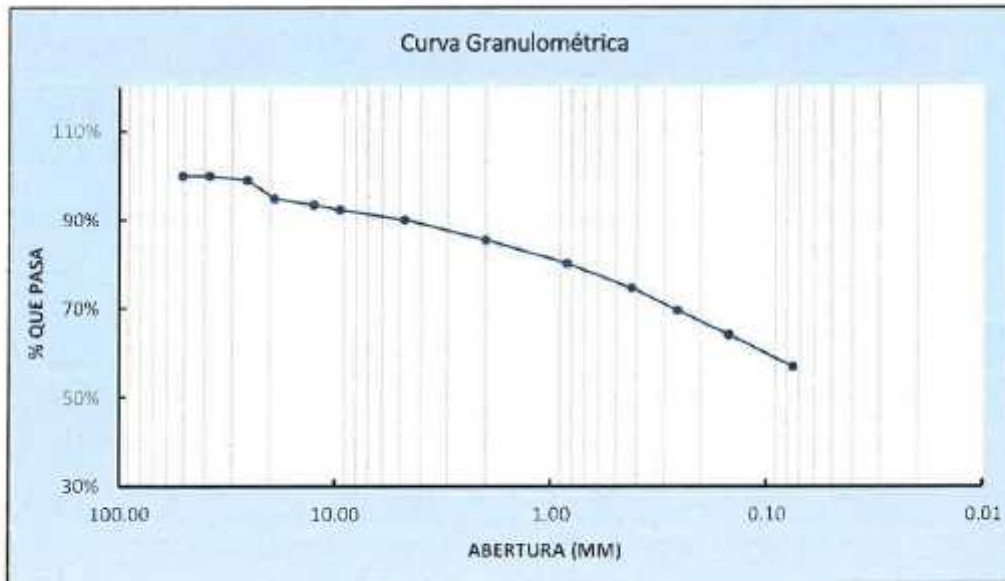
EC = 10 golpes



Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04+10% Relave minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895709 m S - 21659600 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5500.00	Peso final de la muestra (g)	5499.97	Variación	0.00%
MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	44.980	44.980	0.82%	99.18%
3/4"	19.000	236.980	281.960	5.13%	94.87%
1/2"	12.500	77.480	359.440	6.54%	93.46%
3/8"	9.500	57.480	416.920	7.58%	92.42%
N°4	4.760	124.000	540.920	9.83%	90.17%
N°10	2.000	250.100	791.020	14.38%	85.62%
N°20	0.840	296.700	1087.720	19.78%	80.22%
N°40	0.425	302.400	1390.120	25.28%	74.72%
N°60	0.260	277.950	1668.070	30.33%	69.67%
N°100	0.149	301.400	1969.470	35.81%	64.19%
N°200	0.075	399.200	2368.670	43.07%	56.93%
> N°200		3131.300	5499.970	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	28.144	28.612	27.468
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	197.258	191.722	189.645
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	183.102	179.768	176.344
4. Peso agua (gr)	14.156	11.954	13.301
5. Peso Suelo seco (gr)	154.958	151.156	148.876
6. Contenido Humedad (%)	9.14%	7.91%	8.93%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	8.66%		

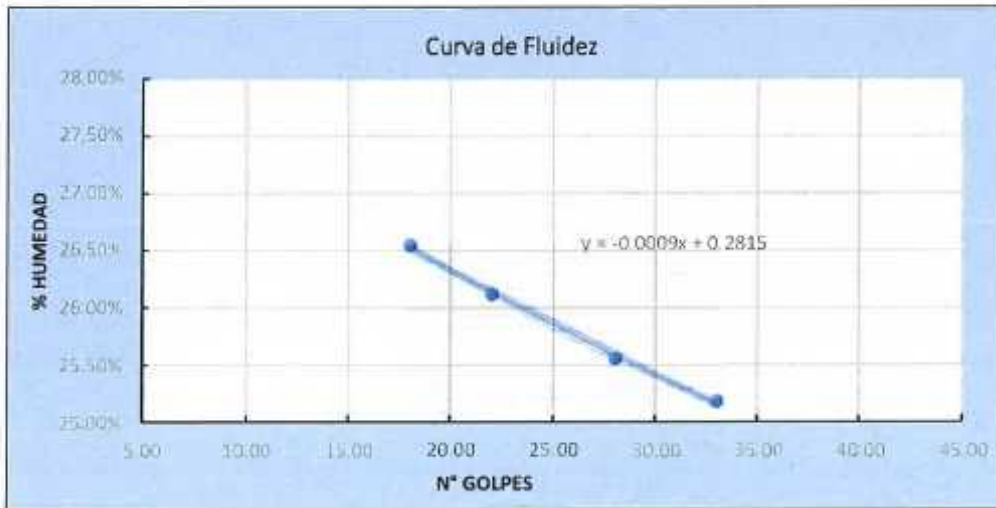


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04+10% Relave minero.	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8693706 m S - 2°1659500 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	33	28	22	18
2. Peso de la tara (gr)	28.123	28.564	27.189	27.697
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	45.698	41.964	42.856	42.206
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	42.162	39.236	39.611	39.162
5. Peso agua (gr)	3.536	2.728	3.245	3.044
6. Peso Suelo seco (gr)	14.039	10.672	12.422	11.465
7. Contenido Humedad (%)	25.19%	25.56%	26.12%	26.55%
8. Límite Líquido (%)	25.88%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.254	27.874	27.635
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	37.354	36.596	34.956
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	35.901	35.323	33.866
4. Peso agua (gr)	1.453	1.273	1.090
5. Peso Suelo seco (gr)	8.647	7.449	6.231
6. Contenido Humedad (%)	16.80%	17.09%	17.49%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	17.13%		

C. ÍNDICE PLASTICO

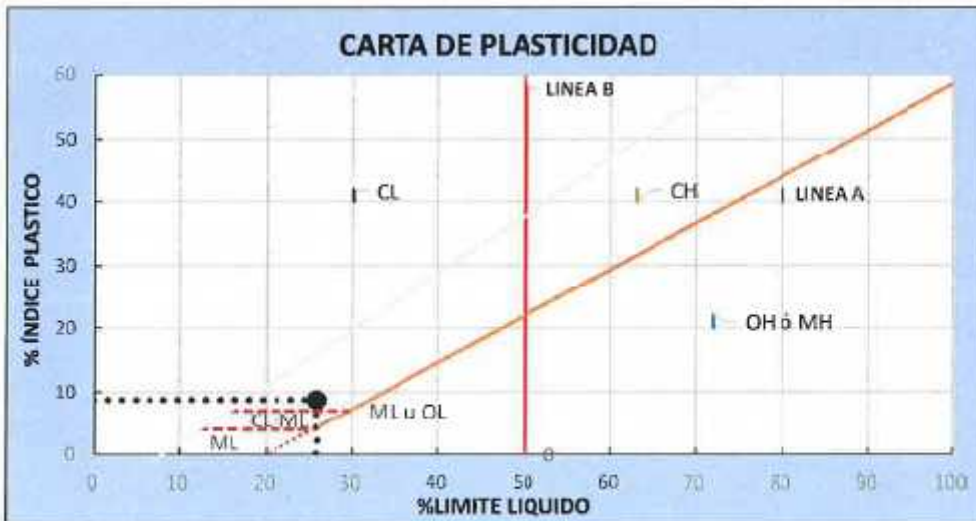
$$IP = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico} = 9\%$$



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al edicioner relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04+10% Relave minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	886709 m S - 21619500 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	56.93%	% FINOS > 50%	SUELO DE PARTÍCULAS FINAS	
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	77.16%	% ARENA > 50%	LIMOS Y ARCILLAS LL < 50%	
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU:	NP
		CRITERIO LIMITES	CC:	NP
		ATTERBEG	LL:	26%
			IP:	9%



En conclusión es un suelo: **CL** *ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD ARENOSA*

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS	2. Grupos	A-4
3. Sub Grupo	-	4. Índice de Grupo (IG)	2

CARACTERÍSTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-4	SUELOS LIMOSOS	REGULAR O DEFICIENTE

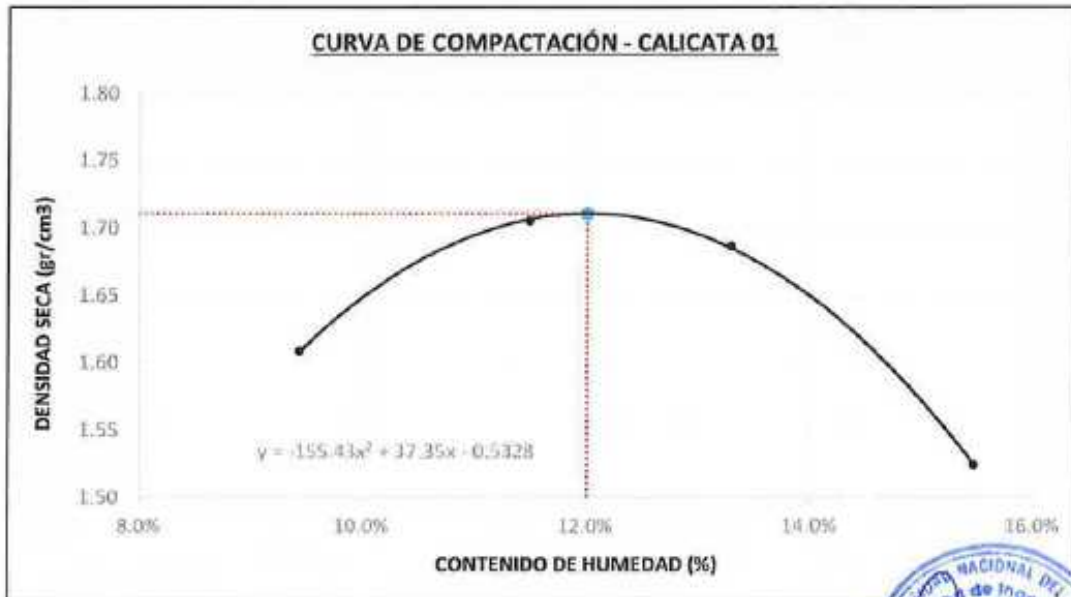
En conclusión es un suelo: **A-4(2)**



Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895709 m S - 25559500 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6010.60	6010.60
2. Peso molde + muestra húmeda	9748.20	10048.20	10068.20	9748.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	3737.60	4037.60	4057.60	3737.60
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.760	1.902	1.911	1.760
CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	149.50	180.60	183.40	181.50
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	661.90	818.90	803.50	675.40
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	617.70	753.10	730.70	609.20
4. Peso agua (gr)	44.20	65.80	72.80	66.20
5. Peso Suelo seco (gr)	468.20	572.50	547.30	427.70
Contenido Humedad (%)	9.440%	11.493%	13.302%	15.478%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.608	1.706	1.687	1.524



Densidad Máxima	1.711 gr/cm3
Humedad Óptima	12.02%

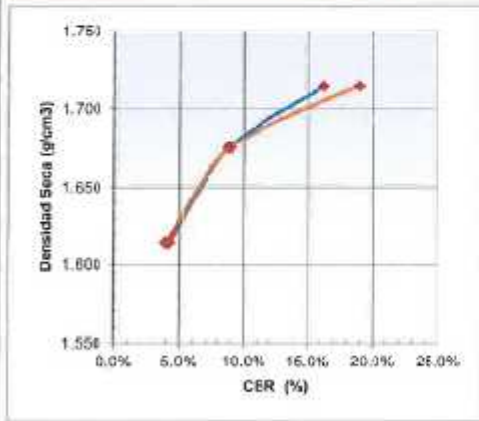


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS														
Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotapiraco al adionar relave minero, Recuay - 2023"													
Localización:	Distrito de Cotapiraco, Provincia Recuay Ancash,													
Muestra:	Calicata N° 04 + 12% Relave Minero			Profundidad:	1.50 m									
Fecha:	Marzo del 2024			Coordenadas	893708 n S - 2698600 n E									
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°	Molde 1			Molde 2			Molde 3							
Numero de capas	5			5			5							
Numero de Golpes por capa	56			25			10							
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	SATURADO							
1. Peso del molde (gr)	4307.80		4318.10		1218.70									
2. Peso molde + muestra húmeda (g)	8288.00		8208.00		3058.00									
3. Peso muestra húmeda (gr)	4080.20		3989.90		3839.30									
4. Volumen molde (cm ³)	2122.44		2122.44		2122.44									
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.92		1.88		1.81									
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Peso de la tara (gr)	386.400		185.600		188.400									
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	720.90		716.30		748.40									
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	563.10		658.50		668.30									
4. Peso agua (gr)	57.80		57.80		60.10									
5. Peso Suelo seco (gr)	476.70		472.90		499.90									
Contenido Humedad (%)	12.13%		12.22%		12.02%									
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.715		1.675		1.615									
CONTROL DE EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN			DIAL	EXPANSIÓN			DIAL	EXPANSIÓN		
				mm	%			mm	%			mm	%	
19/03/2024	16:40:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20/03/2024	16:40:00	24	16.80	0.43	0.34	22.50	0.57	0.45	21.50	0.55	0.43	0.55	0.43	
22/03/2024	16:40:00	48	20.63	0.52	0.41	28.60	0.73	0.57	26.50	0.68	0.54	0.68	0.54	
23/03/2024	16:40:00	72	26.93	0.68	0.54	29.80	0.76	0.60	29.80	0.76	0.60	0.76	0.60	
24/03/2024	16:40:00	96	30.53	0.77	0.51	30.60	0.78	0.61	33.50	0.85	0.67	0.85	0.67	
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg2)	Molde 1 (56g)			Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)				
plg.	mm.		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN			
			LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025	0.635		140	46.67			107	35.67			74	24.67		
0.050	1.270		249	83.00			173	57.67			97	32.33		
0.075	1.905		372	124.00			231	77.00			116	38.67		
0.100	2.540	1000.00	482	160.67	163.39	16.34%	277	92.33	88.45	8.85%	129	43.00	41.71	4.17%
0.125	3.175		593	197.67			314	104.67			141	47.33		
0.150	3.810		685	228.33			343	114.33			152	50.67		
0.175	4.445		780	260.00			368	122.67			162	54.00		
0.200	5.080	1500.00	854	284.67	284.67	18.97%	391	130.33	134.45	8.96%	172	57.33	59.27	5.95%
0.225	5.715		928	309.33			418	139.33			180	60.00		
0.250	6.350		998	332.67			438	146.00			188	62.67		
0.275	6.985		1065	355.00			459	153.00			194	65.33		
0.300	7.620	1900.00	1125	375.00			479	159.67			205	68.33		
0.325	8.255		1188	396.00			499	166.33			215	71.67		
0.350	8.890		1245	415.00			517	172.33			221	73.67		
0.375	9.525		1302	434.00			533	177.67			230	76.67		
0.400	10.160	2300.00	1356	452.67			555	185.33			239	79.67		
0.425	10.795		1412	470.67			563	189.33			246	82.00		
0.450	11.430		1467	489.00			585	195.00			254	84.67		
0.475	12.065		1520	506.67			601	200.33			263	87.67		
0.500	12.700	2600.00	1577	525.67			613	206.00			269	89.67		



Tesis:	"Comportamiento físico-mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al accionar relave mineral, Recuay - 2823"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicleta N° 04 + 10% Relave Mineral	Profundidad:	1,30 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	0835700 m S - 2166660 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1833)



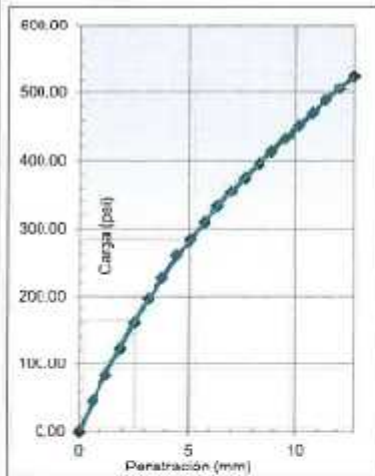
Máxima Densidad Seca (g/cm³): 1.711
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 12.02%
 95% máxima densidad seca (g/cm³): 1.625

RESULTADOS:

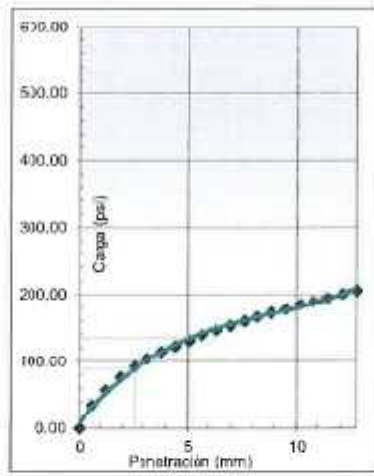
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.: 0.1pulg:15.49% ; 0.2pulg:18.07%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.: 0.1pulg:4.36% ; 0.2pulg:4.11%

OBSERVACIONES:

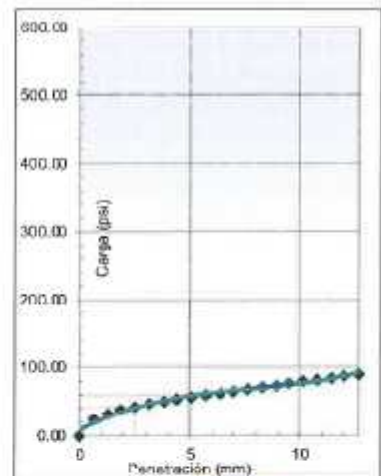
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



EC = 12 golpes

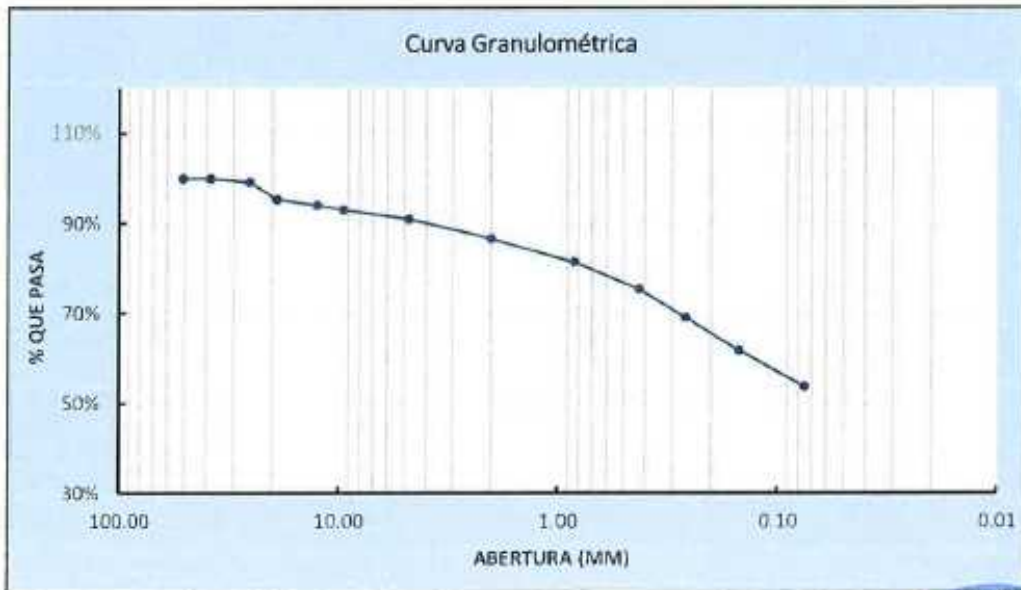


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895709 m S. - 21459500 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5400.00	Peso final de la muestra (g)	5399.93	Variación	0.00%
------------------------------	----------------	------------------------------	----------------	-----------	--------------

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	40.460	40.460	0.75%	99.25%
3/4"	19.000	213.260	253.720	4.70%	95.30%
1/2"	12.500	69.710	323.430	5.99%	94.01%
3/8"	9.500	51.710	375.140	6.95%	93.05%
N°4	4.760	111.600	486.740	9.01%	90.99%
N°10	2.000	235.080	721.820	13.37%	86.63%
N°20	0.840	283.860	1005.680	18.62%	81.38%
N°40	0.425	324.270	1329.950	24.63%	75.37%
N°60	0.260	345.060	1675.010	31.02%	68.98%
N°100	0.149	392.670	2067.680	38.29%	61.71%
N°200	0.075	431.460	2499.140	46.28%	53.72%
> N°200		2900.790	5399.930	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.125	27.536	28.168
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	189.361	175.963	192.632
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	176.336	163.750	177.933
4. Peso agua (gr)	13.025	12.213	14.699
5. Peso Suelo seco (gr)	149.211	136.214	149.765
6. Contenido Humedad (%)	8.73%	8.97%	9.81%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	9.17%		

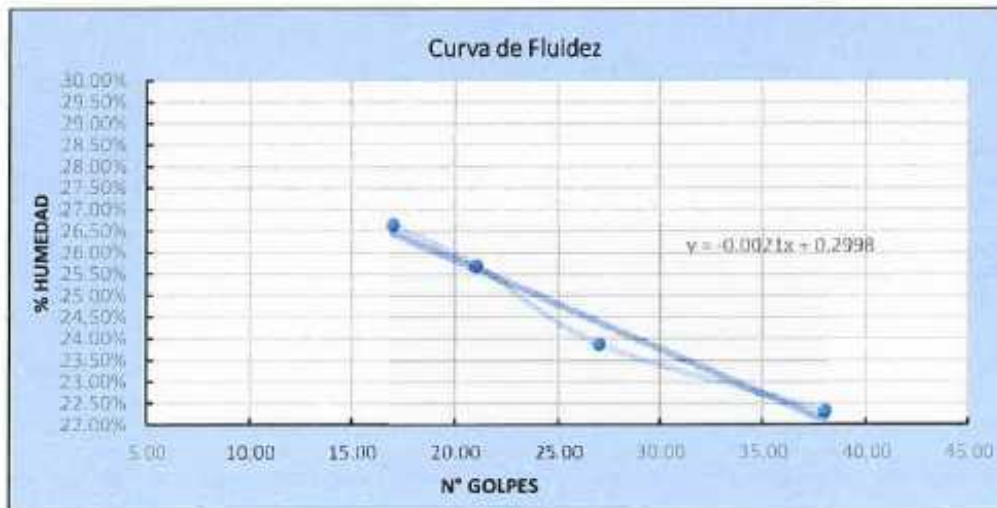


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8915703 m S - 21859600 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	38	27	21	17
2. Peso de la tara (gr)	27.152	27.006	27.256	28.102
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	45.303	41.496	41.809	42.103
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	41.989	38.702	38.833	39.156
5. Peso agua (gr)	3.314	2.794	2.976	2.947
6. Peso Suelo seco (gr)	14.837	11.696	11.577	11.054
7. Contenido Humedad (%)	22.34%	23.89%	25.71%	26.66%
8. Límite Líquido (%)	24.80%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.156	27.563	27.235
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	36.124	35.709	36.991
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	34.738	34.449	35.516
4. Peso agua (gr)	1.386	1.260	1.475
5. Peso Suelo seco (gr)	7.582	6.886	8.281
6. Contenido Humedad (%)	18.27%	18.30%	17.81%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	18.13%		

C. ÍNDICE PLASTICO

$$IP = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico} = 7\%$$



Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895769 m S ; 21639602 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	53.72%	% FINOS > 50%	SUELO DE PARTÍCULAS FINAS	
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	80.52%	% ARENA > 50%	LIMOS Y ARCILLAS LL < 50%	
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU:	NP
		CRITERIO LÍMITES	CC:	NP
		ATTERBEG	LL:	25%
			IP:	7%



En conclusión es un suelo: **CL-ML** *ARCILLA LIMOSA DE BAJA PLASTICIDAD ARENOSA*

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS	2. Grupos	A-4
3. Sub Grupo	-	4. Índice de Grupo (IG)	1

CARACTERÍSTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-4	SUELOS LIMOSOS	REGULAR O DEFICIENTE

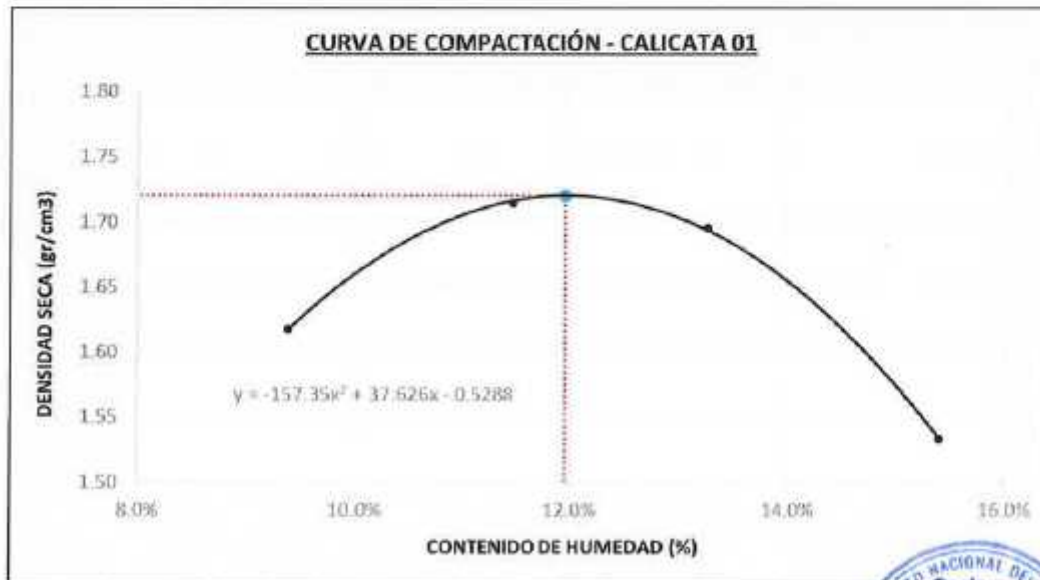
En conclusión es un suelo: **A-4(1)**



Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8805709 m S - 21692500 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6010.60	6010.60
2. Peso molde + muestra húmeda	9768.20	10068.20	10088.20	9768.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	3757.60	4057.60	4077.60	3757.60
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.770	1.911	1.920	1.770
CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	107.50	138.60	141.40	139.50
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	619.90	776.90	761.50	633.40
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	575.90	711.30	688.90	567.50
4. Peso agua (gr)	44.00	65.60	72.60	65.90
5. Peso Suelo seco (gr)	468.40	572.70	547.50	428.00
Contenido Humedad (%)	9.394%	11.455%	13.260%	15.397%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.618	1.715	1.696	1.534



Densidad Máxima	1.721 gr/cm3
Humedad Óptima	11.96%



Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	805728 m S - 2163250 m E

**VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR
(MTC E 132 - ASTM D 1883)**

COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR

Molde N°	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Numero de capas	5		5		5	
Numero de Golpes por capa	56		25		10	
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
1. Peso del molde (gr)	4207.80		4218.10		4218.70	
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	8308.00		8228.00		8078.00	
3. Peso muestra húmeda (gr)	4100.20		4009.90		3859.30	
4. Volumen molde (cm³)	2122.44		2122.44		2122.44	
5. Densidad húmeda (gr/cm³)	1.93		1.89		1.82	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

1. Peso de la tara (gr)	160.400		159.600		162.400	
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	694.90		690.30		722.40	
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	637.70		632.70		662.80	
4. Peso agua (gr)	57.20		57.60		59.60	
5. Peso Suelo seco (gr)	477.30		473.10		500.40	
Contenido Humedad (%)	11.98%		12.18%		11.91%	
Densidad Seca (gr/cm³)	1.725		1.684		1.625	

CONTROL DE EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/03/2024	12:40:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27/03/2024	12:40:00	24	22.80	0.58	0.46	17.50	0.44	0.35	15.50	0.42	0.33
28/03/2024	12:40:00	48	26.60	0.68	0.53	23.60	0.60	0.47	21.90	0.56	0.44
29/03/2024	12:40:00	72	32.90	0.84	0.66	24.80	0.63	0.50	24.80	0.63	0.50
30/03/2024	12:40:00	96	36.50	0.93	0.73	25.60	0.65	0.51	23.50	0.72	0.57

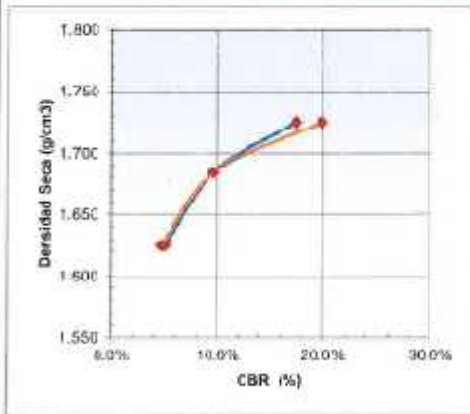
PRUEBA DE PENETRACION

PENETRACION		Carga Estándar [Lb/(kg²)]	Molde 1 (5kg)			Molde 2(25g)				Molde 3 (10g)				
			CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN				
pulg.	mm.		LECTURA	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	
0.000	0.000		0	0.00		0	0.00			0	0.00			
0.025	0.635		140	46.67		98	32.67			74	24.67			
0.050	1.270		277	92.33		182	60.67			125	41.67			
0.075	1.905		400	133.33		253	86.33			144	48.00			
0.100	2.540	1000.00	510	170.00	175.68	17.57%	306	103.67	96.88	9.59%	157	53.33	50.09	5.01%
0.125	3.175		621	207.00		342	114.00			170	56.67			
0.150	3.810		713	237.57		371	123.67			180	60.00			
0.175	4.445		808	269.33		395	132.00			190	63.33			
0.200	5.080	1500.00	940	313.33	299.44	19.36%	413	139.67	144.65	9.64%	200	66.67	69.60	4.64%
0.225	5.715		990	330.00		445	148.67			208	69.33			
0.250	6.350		1026	342.00		465	155.33			216	72.00			
0.275	6.985		1093	364.33		487	162.33			224	74.67			
0.300	7.620	1900.00	1153	384.33		507	169.00			233	77.67			
0.325	8.255		1216	405.33		527	175.67			243	81.00			
0.350	8.890		1273	424.33		545	181.67			249	83.00			
0.375	9.525		1330	443.33		561	187.00			258	86.00			
0.400	10.160	2300.00	1386	462.00		584	194.67			267	89.00			
0.425	10.795		1440	480.00		596	198.67			274	91.33			
0.450	11.430		1495	498.33		613	204.33			282	94.00			
0.475	12.065		1548	516.00		629	209.67			291	97.00			
0.500	12.700	2600.00	1605	535.00		646	215.33			297	99.00			



Título:	"Comportamiento físico mecánico de la subrasante dolomítica volcánica de Cotapazco al adicionar relleno mineral, Recuy - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotapazco, Provincia Recuy, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 + 20% Relleno Mineral	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	889579 m S - 2189940 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E.132 - ASTM D.1883)



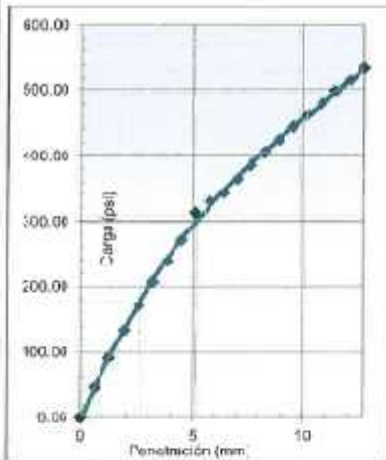
Máxima Densidad Seca (g/cm^3): 1.721
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 11.96%
 95% máxima densidad seca (g/cm^3): 1.634

RESULTADOS :

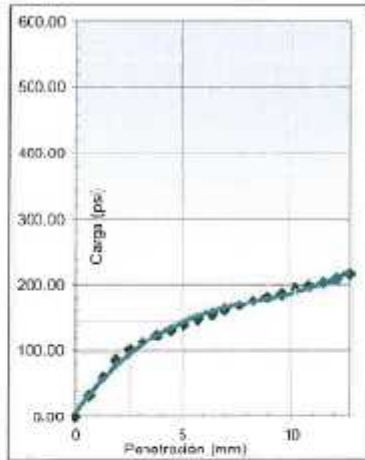
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S : 0.1pulg:16.57% ; 0.2pulg:18.61%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S : 0.1pulg:5.27% ; 0.2pulg:4.73%

OBSERVACIONES:

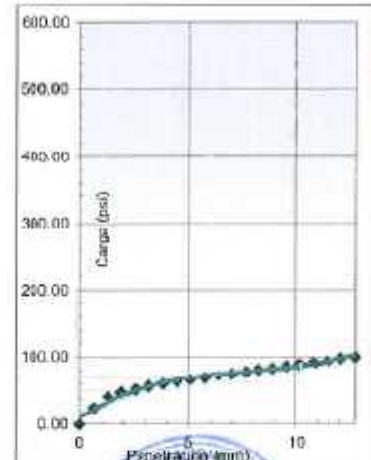
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



EC = 10 golpes

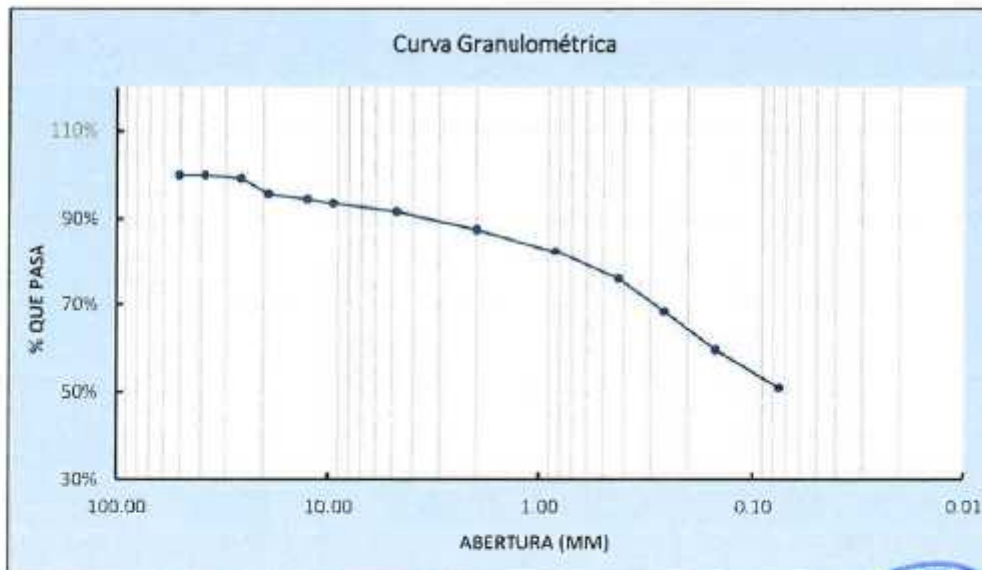


Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relieve minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8865703 m S - 21692500 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5850.00	Peso final de la muestra (g)	5849.86	Variación	0.00%
------------------------------	---------	------------------------------	---------	-----------	-------

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.009	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	40.430	40.430	0.69%	99.31%
3/4"	19.000	213.230	253.660	4.34%	95.66%
1/2"	12.500	69.680	323.340	5.53%	94.47%
3/8"	9.500	51.680	375.020	6.41%	93.59%
N°4	4.750	111.600	486.620	8.32%	91.68%
N°10	2.000	245.070	731.690	12.51%	87.49%
N°20	0.840	300.690	1032.380	17.65%	82.35%
N°40	0.425	376.360	1408.760	24.08%	75.92%
N°60	0.260	439.970	1848.730	31.60%	68.40%
N°100	0.149	514.080	2362.810	40.39%	59.61%
N°200	0.075	503.640	2866.450	49.00%	51.00%
> N°200		2983.410	5849.860	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.055	27.356	27.698
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	181.268	191.521	169.741
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	167.601	176.950	157.360
4. Peso agua (gr)	13.667	14.571	12.381
5. Peso Suelo seco (gr)	140.546	149.594	129.662
6. Contenido Humedad (%)	9.72%	9.74%	9.55%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	9.67%		

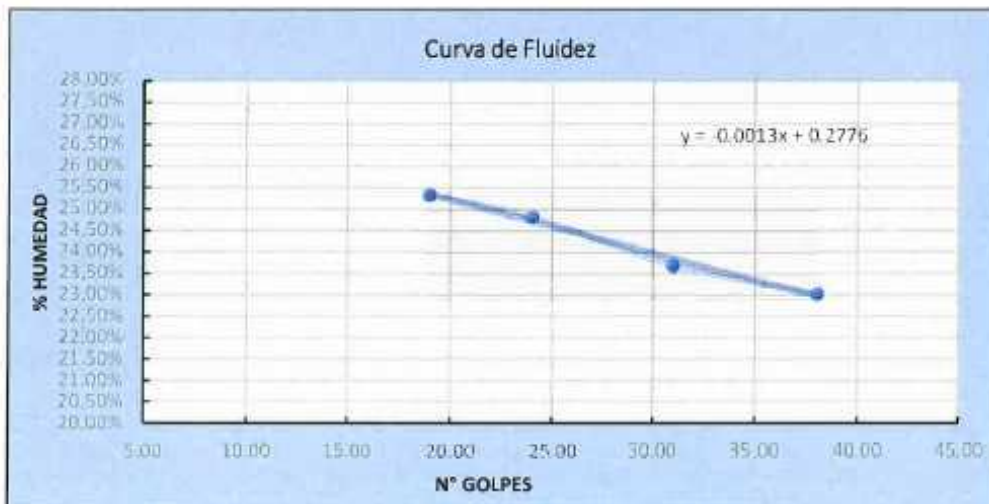


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	9856709 m S - 21658500 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	38	31	24	19
2. Peso de la tara (gr)	27.265	27.128	27.652	28.174
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	42.366	41.924	43.139	39.185
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	39.538	39.089	40.058	36.958
5. Peso agua (gr)	2.828	2.835	3.081	2.227
6. Peso Suelo seco (gr)	12.273	11.961	12.406	8.784
7. Contenido Humedad (%)	23.04%	23.70%	24.83%	25.35%
8. Limite Líquido (%)	24.61%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.726	27.698	27.102
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	36.369	37.059	35.387
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	35.086	35.697	34.265
4. Peso agua (gr)	1.283	1.362	1.122
5. Peso Suelo seco (gr)	7.360	7.999	7.163
6. Contenido Humedad (%)	17.43%	17.03%	15.66%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	16.71%		

18.13

C. ÍNDICE PLASTICO

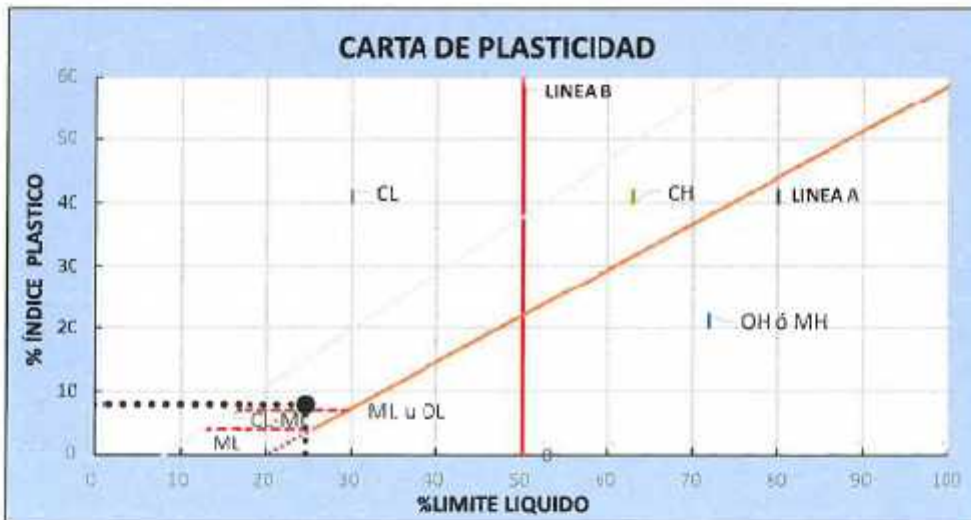
IP = Límite Líquido - Límite Plástico = 8%



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8991700 m S - 2163500 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	51.00%	% FINOS > 50%	SUELO DE PARTÍCULAS FINAS	
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	83.02%	% ARENA > 50%	LIMOS Y ARCILLAS LL < 50%	
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	% FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU:	NP
		CRITERIO LÍMITES	CC:	NP
		ATTERBEG	LL:	25%
			IP:	8%



En conclusión es un suelo: **CL** ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD ARENOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS	2. Grupos	A-4
3. Sub Grupo	-	4. Índice de Grupo (IG)	1

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-4	SUELOS LIMOSOS	REGULAR O DEFICIENTE

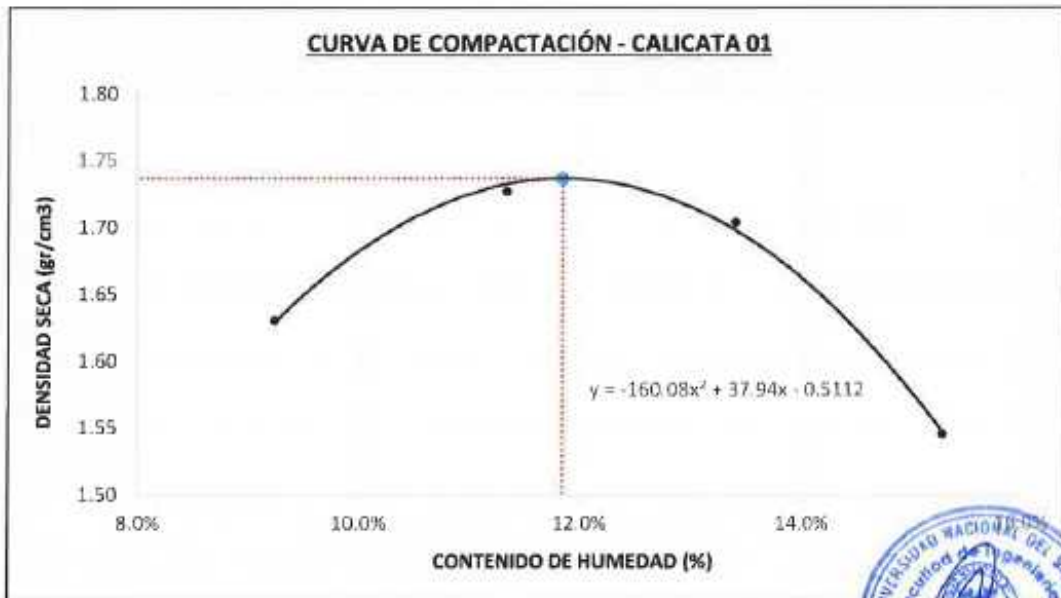


En conclusión es un suelo: **A-4(1)**

Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 04 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895.703 m S - 21638920 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECÍFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6010.60	6010.60
2. Peso molde + muestra húmeda	9793.20	10093.20	10113.20	9793.20
3. Peso muestra húmeda (gr)	3782.60	4082.60	4102.60	3782.60
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.781	1.923	1.932	1.781
CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	120.50	151.60	154.40	152.50
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	632.90	789.90	774.50	646.40
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	589.50	724.90	701.20	580.90
4. Peso agua (gr)	43.40	65.00	73.30	65.50
5. Peso Suelo seco (gr)	469.00	573.30	546.80	428.40
Contenido Humedad (%)	9.254%	11.338%	13.405%	15.289%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.631	1.727	1.704	1.545



Densidad Máxima	1.737 gr/cm³
Humedad Óptima	11.85%



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vecinal de Cotaparac al adicionar relave minero, Recay - 2023"		
Localización:	URBMO de Cotaparac, Provincia Recay, Ancash.		
Muestra:	Calcaza N° 04 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Mazo del 2024	Coordenadas:	886709 m 3 - 2160260 m E

**VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR
(MTC E 132 - ASTM D 1883)**

COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR

Molde N°	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Numero de capas	5		5		5	
Numero de Golpes por capa	56		25		10	
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
1. Peso del molde (gr)	4207.80		4218.00		4218.70	
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	8341.00		8231.00		8080.30	
3. Peso muestra húmeda (gr)	4133.20		4012.90		3861.30	
4. Volumen molde (cm ³)	2122.44		2122.44		2122.44	
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.95		1.89		1.82	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

1. Peso de la tara (gr)	167.400		159.600		162.400	
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	694.90		690.30		722.40	
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	637.90		633.50		663.80	
4. Peso agua (gr)	57.00		56.80		58.60	
5. Peso Suelo seco (gr)	477.50		473.90		501.40	
Contenido Humedad (%)	11.94%		11.99%		11.69%	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.740		1.688		1.629	

CONTROL DE EXPANSIÓN

FECHA	HCRA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
25/03/2024	15:40:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27/03/2024	15:40:00	24	21.80	0.55	0.44	27.50	0.70	0.15	26.50	0.67	0.53
28/03/2024	15:40:00	48	25.60	0.65	0.51	33.60	0.85	0.67	31.90	0.31	0.64
29/03/2024	15:40:00	72	31.90	0.81	0.64	34.80	0.38	0.70	34.80	0.88	0.70
30/03/2024	15:40:00	96	35.50	0.90	0.71	35.60	0.90	0.71	38.50	0.98	0.77

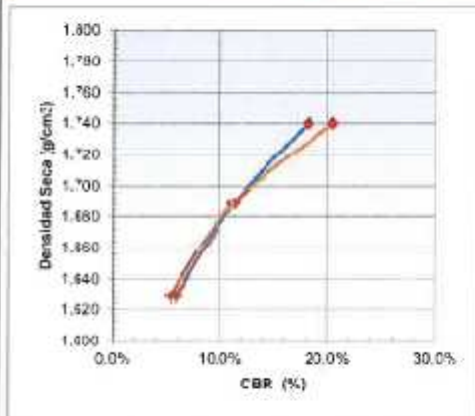
PRUEBA DE PENETRACION

PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg ²)	Molde 1 (56g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
plg.	mm.		CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN		
			LECTURA	PRESION	%	LECTURA	PRESION	%		LECTURA	PRESION	%		
0.000	0.000		0	0.00		0	0.00			0	0.00			
0.025	0.635		168	56.00		102	34.00			85	28.33			
0.050	1.270		305	101.67		210	70.00			153	51.00			
0.075	1.905		428	142.67		287	95.67			177	57.99			
0.100	2.540	3000.00	538	179.33	182.72	18.27%	373	124.33	113.00	11.30%	185	61.67	58.75	5.87%
0.125	3.175		649	215.33		410	136.67			198	66.00			
0.150	3.810		741	247.00		439	146.33			208	69.33			
0.175	4.445		836	278.67		464	154.67			218	72.67			
0.200	5.080	1500.00	968	322.67	308.14	20.54%	487	162.33	168.35	11.22%	228	76.00	79.86	5.32%
0.225	5.715		1018	339.33		514	171.33			236	78.67			
0.250	6.350		1054	351.33		534	178.00			244	81.33			
0.275	6.985		1121	373.67		555	185.00			254	84.00			
0.300	7.620	1900.00	1181	393.67		575	191.67			261	87.00			
0.325	8.255		1244	414.67		595	198.33			271	90.33			
0.350	8.890		1301	433.67		613	204.33			277	92.33			
0.375	9.525		1358	452.67		625	209.67			286	95.33			
0.400	10.160	2300.00	1414	471.33		652	217.33			295	98.33			
0.425	10.795		1468	489.33		664	221.33			304	100.67			
0.450	11.430		1523	507.67		681	227.00			310	103.33			
0.475	12.065		1576	525.33		697	232.33			315	106.33			
0.500	12.700	2600.00	1633	544.33		714	238.00			320	108.00			



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Calcaña N° 04 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	886576 m S - 2499500 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



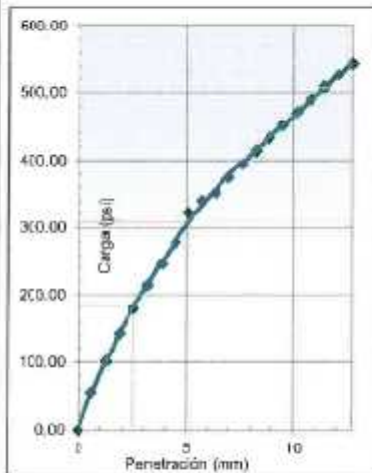
Máxima Densidad Seca (g/cm³): 1.737
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 11.85%
 95% máxima densidad seca (g/cm³): 1.650

RESULTADOS:

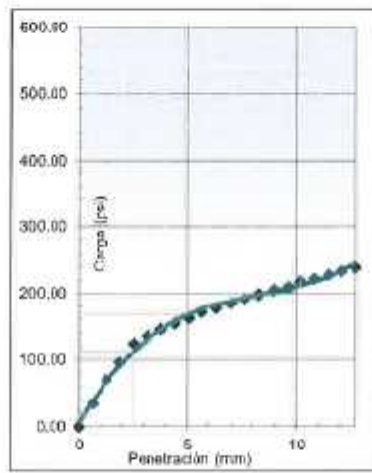
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.: 0.1pulg:17.82% ; 0.2pulg:19.98%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.: 0.1pulg:7.47% ; 0.2pulg:6.68%

OBSERVACIONES:

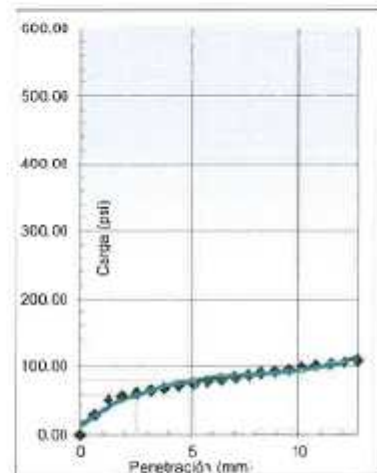
EC = 56 golpes




EC = 25 golpes

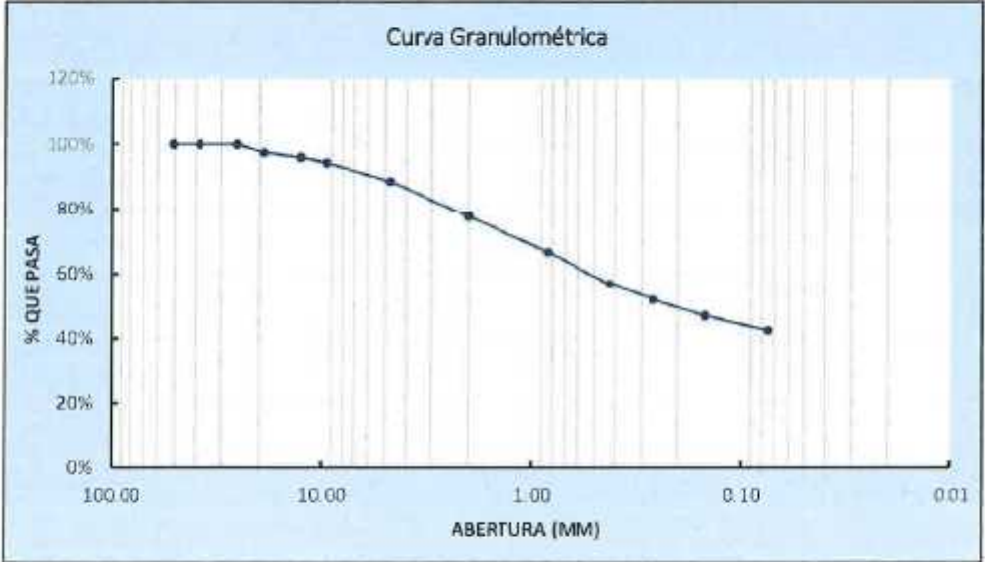


EC = 10 golpes




7.1.5. Calicata N° - 05

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS					
Tesis:		Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicional relave minero, Recuay - 2023*			
Localización:		Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.			
Muestra:	Calicata N° 05	Profundidad:	1.50 m		
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	809532.00 m S - 219301.00 m E		
1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)					
Peso total de la muestra (g): 4694.60		Peso final de la muestra: 4693.50		Variación: 0.02%	
MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	0.000	0.000	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	117.500	117.500	2.50%	97.50%
1/2"	12.500	74.900	192.400	4.10%	95.90%
3/8"	9.500	77.600	270.000	5.75%	94.25%
N°4	4.760	266.100	536.100	11.42%	88.58%
N°10	2.000	506.200	1042.300	22.21%	77.79%
N°20	0.840	520.600	1562.900	33.30%	66.70%
N°40	0.425	459.800	2022.700	43.10%	56.90%
N°60	0.260	232.300	2255.000	48.05%	51.95%
N°100	0.149	231.000	2486.000	52.97%	47.03%
N°200	0.075	209.700	2694.700	57.41%	42.59%
> N°200		1998.800	4693.500	100.00%	0.00%



DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.316	27.327	28.496
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	148.741	168.837	175.842
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	137.013	155.499	161.402
4. Peso agua (gr)	11.728	13.333	14.440
5. Peso Suelo seco (gr)	109.697	128.172	132.906
6. Contenido Humedad (%)	10.69%	10.41%	10.86%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	10.65%		

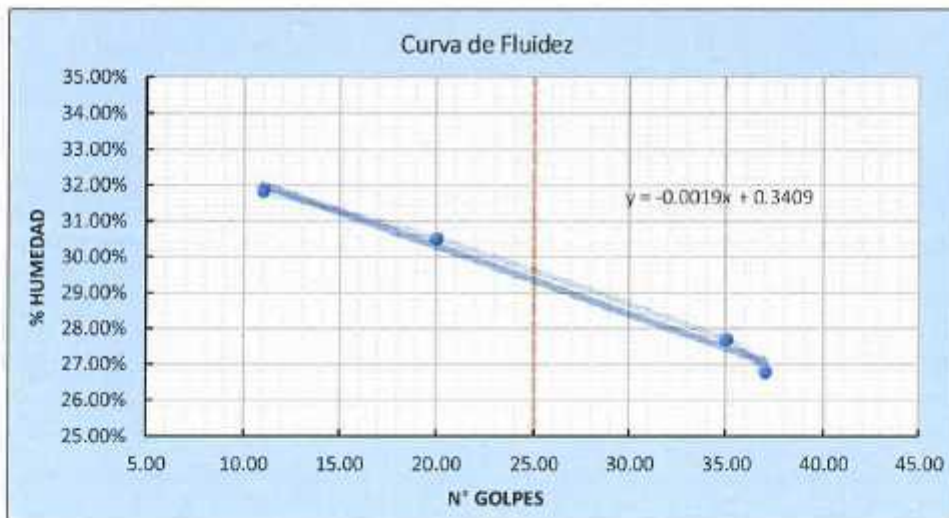


Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	889352.00 m S - 210061.00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	37.000	35.000	20.000	11.000
2. Peso de la tara (gr)	28.463	28.278	28.516	28.567
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	40.483	38.716	38.764	40.101
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	37.943	36.452	36.368	37.315
5. Peso agua (gr)	2.540	2.264	2.396	2.786
6. Peso Suelo seco (gr)	9.480	8.174	7.852	8.748
7. Contenido Humedad (%)	26.79%	27.70%	30.51%	31.85%
8. Limite Liquido (%)	29.36%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.016	27.341	27.458
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	32.630	33.472	32.797
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	31.663	32.430	31.837
4. Peso agua (gr)	0.967	1.042	0.960
5. Peso Suelo seco (gr)	4.647	5.089	4.379
6. Contenido Humedad (%)	20.81%	20.48%	21.92%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	21.07%		

C. ÍNDICE PLASTICO

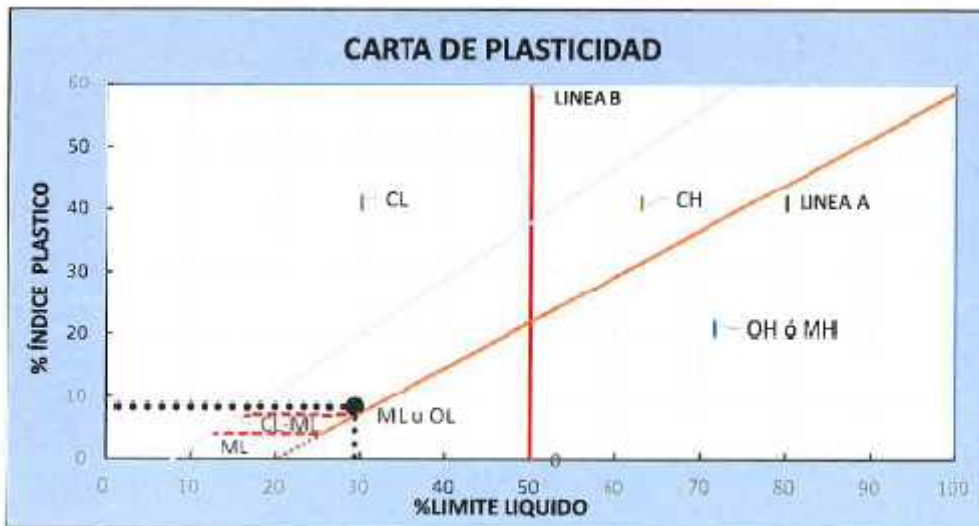
$$IP = \text{Limite Liquido} - \text{Limite Plástico} = 8\%$$



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8895532.00 m S - 718061.00 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	42.59%	% FINOS < 50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	80.11%	% ARENA > 50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LIMITES	CC: NP
		ATTEBEG	LL: 29%
			IP: 8%



En conclusión es un suelo: **SC** ARENA ARCILLOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS	2. Grupos	A-4
3. Sub Grupo	-	4. Índice de Grupo (IG)	1

CARACTERÍSTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-4	SUELOS LIMOSOS	REGULAR O DEFICIENTE



En conclusión es un suelo: **A-4(1)**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS						 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	
Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adiccionar relave minero, Recuay - 2023"						
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash,						
Muestra:	Celicata N°	05	Estrato	subrasante	Profundidad:	1.50 m	
Fecha:	Marzo del 2024				Coordenadas:	8856532.00 m S - 216061.00 m E	

Profundidad de Excavación:	1.50 m.
-----------------------------------	---------

Nivel Freático:	NP
------------------------	----

Prof. (m)	Descripción visual	CLASIFICACIÓN		SIMBOLOGÍA GRÁFICA	Hum. Nat.	LIMITES ATTERBEG			GRANULOMETRÍA %		
		SUCS	AASHTO			L %	LP %	IP	GRAVAS ARENAS	FINOS	
0.00	Material escombros (no considerado en la clasificación)										
0.10											
1.50	con un espesor de 1.40 m, de arena arcillosa, color beige oscuro, en condición un poco hurradas, consistencia muy suave, cementación mediana y estructura homogénea.	SC - ARENA ARCILLOSA	A-4(1)		10.65%	29.36%	21.07%	8.29%	11.42%	45.99%	42.59%



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		 UNS <small>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</small>	
Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N°: 05	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8896522.00 m S - 216061.00 m E

1. GRAVEDAD ESPECÍFICA (MTC E 206)

AGREGADO		GRUESO
Tamaño máximo de la muestra		1 1/2"
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	(A)	5092
Masa de la muestra seca (gr)	(B)	5000
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr)	(C)	3236
Gravedad Específica A/(A-C)		2.74
Gravedad Específica Aparente, $G_{es} = B/(B - C)$		2.83
Gravedad Aparente, $D_a = 0.9975B/(B - C)$		2.83

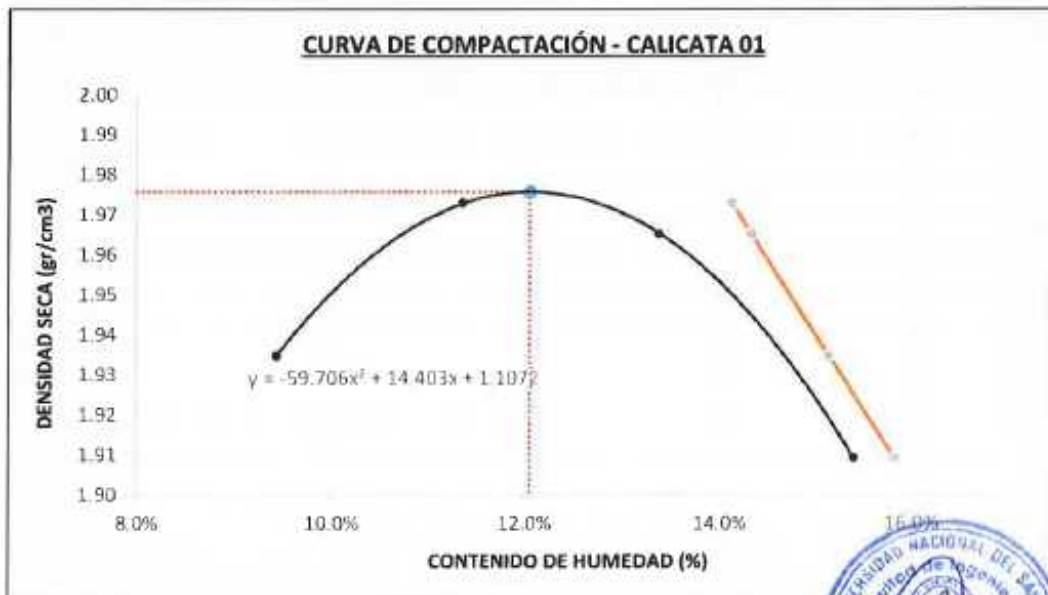
Observación:



Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuy - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuy, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8996532.00 m S - 210051.00 m E


ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6011.80	6012.60	6013.40	6043.00
2. Peso molde + muestra húmeda	10507.70	10677.50	10744.50	10721.30
3. Peso muestra húmeda (gr)	4495.90	4664.90	4731.10	4678.30
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.117	2.197	2.228	2.203
CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	208.60	179.50	213.30	475.70
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	807.90	597.30	678.60	2860.80
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	756.20	554.70	623.70	2542.50
4. Peso agua (gr)	51.70	42.60	54.90	318.30
5. Peso Suelo seco (gr)	547.60	375.20	410.40	2066.80
Contenido Humedad (%)	9.441%	11.354%	13.377%	15.401%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.935	1.973	1.965	1.909



Densidad Máxima	1.976 gr/cm³
Humedad Óptima	12.06%

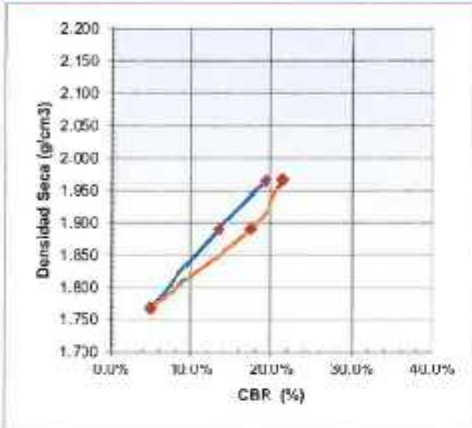


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA								
Tesis:		*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recusy - 2023*												
Localización:		Distrito de Cotaparaco, Provincia Focuy, Ancash.												
Muestra:		Calicata N° 05				Profundidad:		1.50 m						
Fecha:		Marzo del 2024				Coordenadas:		889332.00 n S - 21061.00 n E						
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°	Molde 1			Molde 2			Molde 3							
Numero de capas	5			5			5							
Numero de Golpes por capa	55			25			10							
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO			
1. Peso del molde (gr)	4207.10			4217.80			4217.70			4217.70				
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	8886.10			8704.40			8411.30			8411.30				
3. Peso muestra húmeda (gr)	4675.00			4486.60			4193.60			4193.60				
4. Volumen molde (cm³)	2122.44			2122.44			2122.44			2122.44				
5. Densidad húmeda (gr/cm³)	2.20			2.11			1.93			1.93				
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Peso de la tara (gr)	27.305			27.450			28.210			28.210				
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	164.54			163.26			189.93			189.93				
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	149.80			148.90			172.90			172.90				
4. Peso agua (gr)	14.74			14.36			17.03			17.03				
5. Peso Suelo seco (gr)	122.50			121.45			144.57			144.57				
Contenido Humedad (%)	12.03%			11.82%			11.77%			11.77%				
Densidad Seca (gr/cm³)	1.968			1.890			1.768			1.768				
CONTROL DE EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				mm	%		mm	%		mm	%			
28/02/2024	16:13:00	0	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
29/02/2024	16:13:00	24	14.90	0.33	0.30	8.10	0.21	0.16	17.10	0.43	0.30			
1/03/2024	14:33:00	48	15.30	0.39	0.31	10.00	0.25	0.20	17.90	0.45	0.31			
2/03/2024	11:10:00	72	17.90	0.45	0.36	11.40	0.29	0.23	18.60	0.47	0.36			
3/03/2024	11:10:00	96	21.10	0.54	0.42	15.20	0.39	0.30	19.60	0.50	0.39			
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg2)	Molde 1 (56g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
pulg.	mm.		LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025	0.635		122	40.67			51	17.00			56	18.67		
0.050	1.270		307	102.33			126	42.00			97	32.33		
0.075	1.905		477	159.00			206	68.67			129	43.00		
0.100	2.540	1000.00	606	202.00	194.14	19.41%	375	125.00	135.34	13.53%	145	48.33	50.69	5.07%
0.125	3.175		707	235.67			469	156.33			190	61.33		
0.150	3.810		798	264.33			575	191.67			198	66.00		
0.175	4.445		852	284.00			662	220.67			210	70.00		
0.200	5.080	1500.00	998	332.67	319.87	21.32%	757	252.33	261.92	17.46%	217	72.33	74.24	4.95%
0.225	5.715		1037	345.67			831	277.00			227	75.67		
0.250	6.350		1078	359.33			920	306.67			235	78.33		
0.275	6.985		1110	370.00			1001	333.67			240	80.00		
0.300	7.620	1900.00	1161	387.00			1085	361.67			248	82.67		
0.325	8.255		1219	409.67			1154	384.67			255	85.00		
0.350	8.890		1312	437.33			1184	394.67			263	87.67		
0.375	9.525		1368	456.00			1217	405.67			268	89.33		
0.400	10.160	2300.00	1444	481.33			1247	415.67			271	91.33		
0.425	10.795		1495	498.33			1278	426.00			281	93.67		
0.450	11.430		1554	518.00			1306	435.33			285	95.33		
0.475	12.065		1570	523.33			1334	444.67			291	97.00		
0.500	12.700	2600.00	1589	529.67			1345	448.33			293	95.67		



Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2021	Coordenadas:	88663220 m S - 716061 00 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



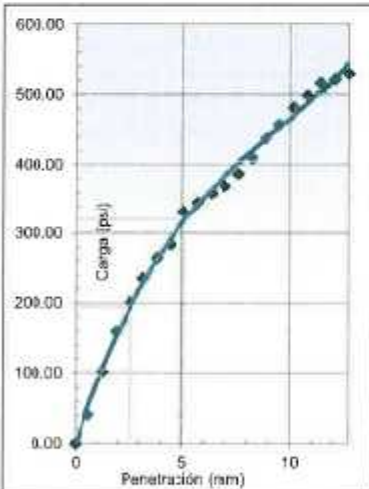
Máxima Densidad Seca (g/cm³): 1.976
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 12.06%
 95% máxima densidad seca (g/cm³): 1.877

RESULTADOS:

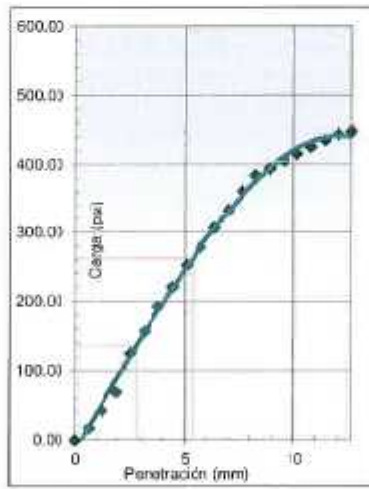
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.: 0.1pulg:20.04% ; 0.2pulg:21.51%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.: 0.1pulg:12.55% ; 0.2pulg:16.44%

OBSERVACIONES:

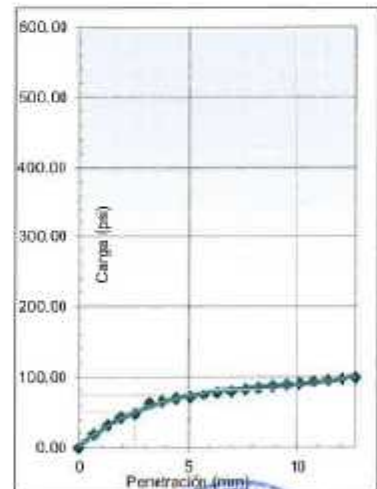
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



EC = 10 golpes

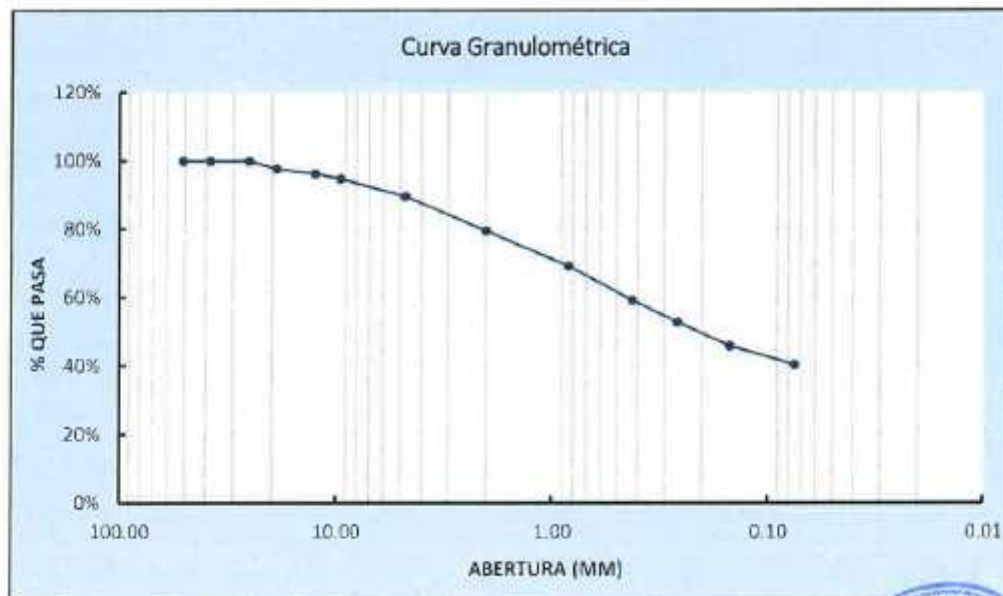


Tesis:	"Compartamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	889532.00 m S - 216061.00 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5276.04	Peso final de la muestra (g)	5275.87	Variación	0.00%
------------------------------	----------------	------------------------------	----------------	-----------	--------------

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	0.000	0.000	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	119.210	119.210	2.26%	97.74%
1/2"	12.500	76.740	195.950	3.71%	96.29%
3/8"	9.500	79.140	275.090	5.21%	94.79%
N°4	4.760	271.960	547.050	10.37%	89.63%
N°10	2.000	528.180	1075.230	20.38%	79.62%
N°20	0.840	549.860	1625.090	30.80%	69.20%
N°40	0.425	525.590	2150.680	40.76%	59.24%
N°60	0.260	338.580	2489.260	47.18%	52.82%
N°100	0.149	365.390	2854.650	54.11%	45.89%
N°200	0.075	290.370	3145.020	59.61%	40.39%
> N°200		2130.850	5275.870	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	28.321	27.645	27.517
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	150.201	168.156	178.228
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	138.013	153.451	162.653
4. Peso agua (gr)	12.188	14.705	15.575
5. Peso Suelo seco (gr)	109.692	125.806	135.136
6. Contenido Humedad (%)	11.11%	11.69%	11.53%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	11.44%		

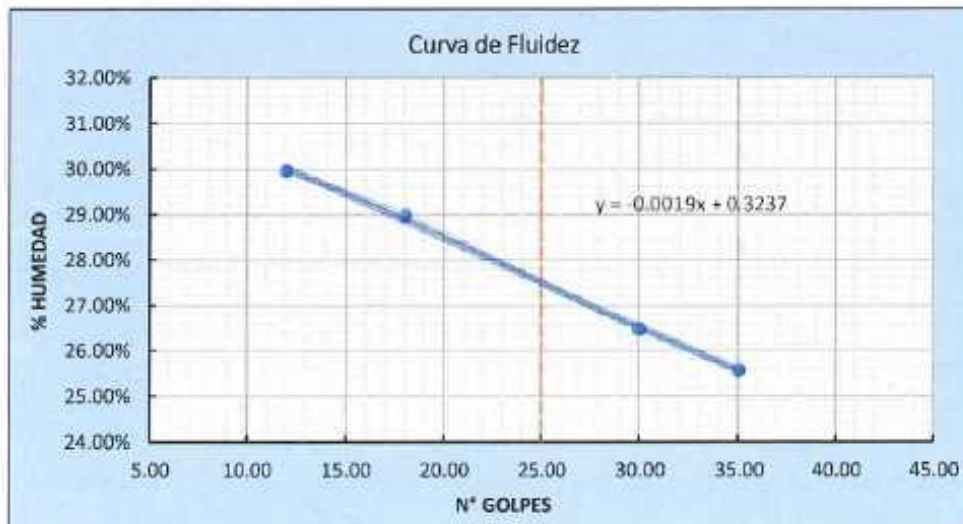


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8899532.00 m S - 219001.00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	35.000	30.000	18.000	12.000
2. Peso de la tara (gr)	27.895	27.589	27.856	27.567
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	40.475	38.799	38.848	40.223
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	37.913	36.452	36.378	37.305
5. Peso agua (gr)	2.562	2.347	2.470	2.918
6. Peso Suelo seco (gr)	10.018	8.863	8.522	9.738
7. Contenido Humedad (%)	25.57%	26.48%	28.98%	29.97%
8. Limite Líquido (%)	27.51%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	28.016	28.341	28.547
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	33.580	34.585	33.814
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	32.663	33.546	32.979
4. Peso agua (gr)	0.917	1.039	0.835
5. Peso Suelo seco (gr)	4.647	5.205	4.432
6. Contenido Humedad (%)	19.73%	19.96%	18.84%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	19.51%		

C. ÍNDICE PLASTICO

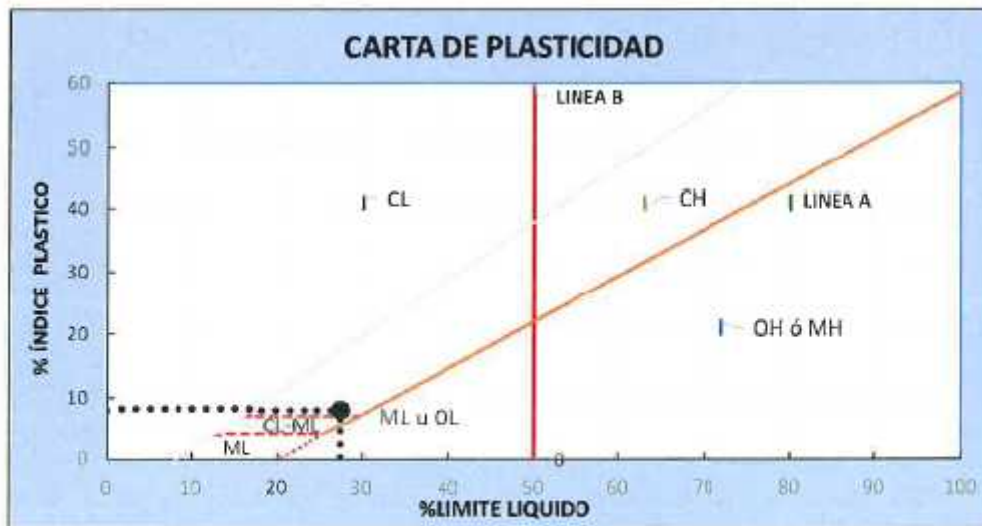
$$IP = \text{Limite Líquido} - \text{Limite Plástico} = 8\%$$



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8996532.00m S - 218061.00 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	40.39%	% FINOS<50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS	
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	82.61%	% ARENA>50%	ARENA	
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS>12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU:	NP
		CRITERIO LIMITES ATTERBEG	CC:	NP
			LL:	28%
			IP:	8%



En conclusión es un suelo: **SC** ARENA ARCILLOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS	2. Grupos	A-4
3. Sub Grupo	-	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERÍSTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-4	SUELOS LIMOSCS	REGULAR O DEFICIENTE

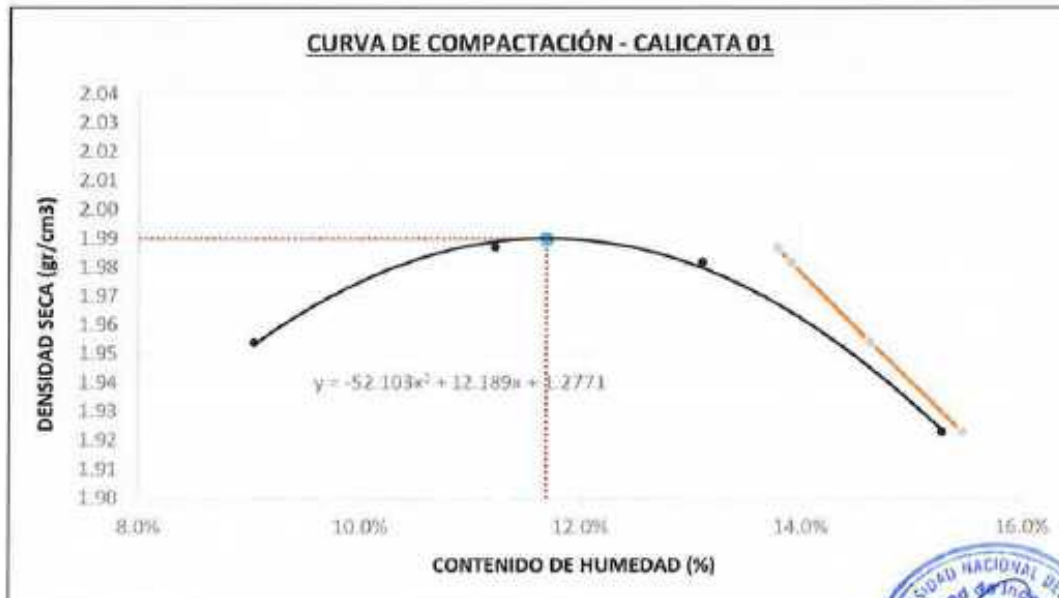
En conclusión es un suelo: **A-4(0)**



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recusy - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recusy, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 10% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	869532.09 m S - 216051.00 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6011.80	6012.60	6013.40	6043.00
2. Peso molde + muestra húmeda	10535.70	10705.50	10772.50	10749.30
3. Peso muestra húmeda (gr)	4523.90	4692.90	4759.10	4706.30
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.131	2.210	2.241	2.216
CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	153.60	124.50	158.30	420.70
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	752.90	542.30	623.60	2805.80
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	703.20	500.10	569.70	2489.80
4. Peso agua (gr)	49.70	42.20	53.90	316.00
5. Peso Suelo seco (gr)	549.60	375.60	411.40	2069.10
Contenido Humedad (%)	9.043%	11.235%	13.102%	15.272%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.954	1.987	1.982	1.923



Densidad Máxima	1.990 gr/cm³
Humedad Óptima	11.70%

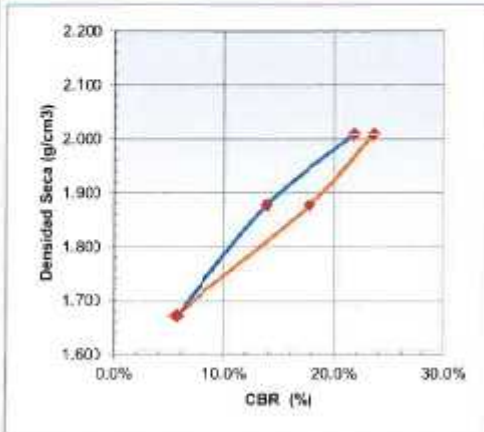


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS														
Tesis:		"Comportamiento físico mecánico de la subrasante del camino vial de Colapiraco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"												
Localización:		Distrito de Colapiraco, Provincia Recuay, Ancash.												
Muestra:		Calicata N° 05 + 10% Relave Minero				Profundidad:		1.50 m						
Fecha:		Marzo de 2024				Coordenadas:		496522.06 m S - 219561.90 m E						
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°		Molde 1				Molde 2				Molde 3				
Numero de capas		5				5				5				
Numero de Golpes por capa		56				25				10				
Condiciones de la Muestra		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		
1. Peso del molde (gr)		4207.10				4217.80				4217.70				
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)		8965.10				8680.40				8180.30				
3. Peso muestra húmeda (gr)		4758.00				4462.50				3962.60				
4. Volumen molde (cm ³)		2122.44				2122.44				2122.44				
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)		2.24				2.10				1.87				
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Peso de la tara (gr)		92.305				92.450				93.230				
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)		229.54				228.26				254.93				
3. Peso tara + Suelo seco (gr)		215.20				213.70				238.10				
4. Peso agua (gr)		14.34				14.55				16.83				
5. Peso Suelo seco (gr)		122.90				121.25				144.87				
Contenido Humedad (%)		11.67%				12.00%				11.62%				
Densidad Seca (gr/cm³)		2.008				1.877				1.673				
CONTROL DE EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				mm	%		mm	%		mm	%			
28/02/2024	16:20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
29/02/2024	16:20	24.00	8.90	0.23	0.18	2.10	0.05	0.04	11.10	0.28	0.30			
1/03/2024	16:20	48.00	9.30	0.24	0.19	4.00	0.10	0.08	11.90	0.30	0.31			
2/03/2024	16:20	72.00	11.90	0.30	0.24	5.40	0.14	0.11	12.60	0.32	0.36			
3/03/2024	16:20	96.00	15.20	0.39	0.30	9.20	0.23	0.18	13.60	0.35	0.27			
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg2)	Molde 1 (56g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
pulg.	mm.		CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN		
			LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025	0.635		143	47.67			72	24.00			45	15.00		
0.050	1.270		328	105.33			147	49.00			118	39.33		
0.075	1.905		498	166.00			227	75.67			150	50.00		
0.100	2.540	1000.00	728	242.67	216.91	21.69%	396	132.00	138.59	13.86%	166	55.33	56.69	5.67%
0.125	3.175		814	271.33			490	163.33			211	70.33		
0.150	3.810		873	291.00			596	198.67			219	73.00		
0.175	4.445		1019	339.67			683	227.67			231	77.00		
0.200	5.080	1500.00	1058	352.67	351.25	23.42%	778	259.33	266.24	17.75%	238	79.33	82.07	5.47%
0.225	5.715		1099	366.33			852	284.00			248	82.67		
0.250	6.350		1131	377.00			941	313.67			256	85.33		
0.275	6.985		1182	394.00			1022	340.67			261	87.00		
0.300	7.620	1900.00	1250	416.67			1106	368.67			269	89.67		
0.325	8.255		1333	444.33			1175	391.67			276	92.00		
0.350	8.890		1389	463.00			1205	401.67			284	94.67		
0.375	9.525		1465	488.33			1238	412.67			289	96.33		
0.400	10.160	2300.00	1516	505.33			1268	422.67			295	98.33		
0.425	10.795		1575	525.00			1299	433.00			302	100.67		
0.450	11.430		1591	530.33			1327	442.33			307	102.33		
0.475	12.065		1610	536.67			1355	451.67			312	104.00		
0.500	12.700	2600.00	1625	541.67			1366	455.33			319	106.33		



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub base de la carretera vecinal de Cotaparaco al adicionar relave mineral, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Arequipa.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 10% Relave Mineral	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	588632 00 m S - 216091 00 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



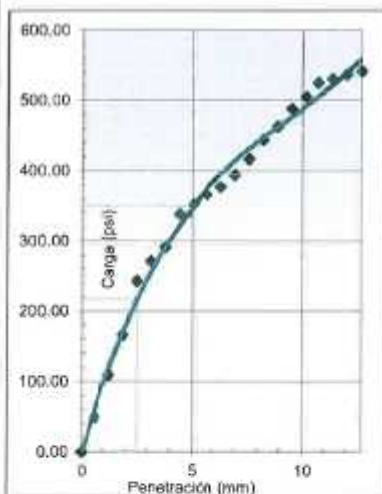
Máxima Densidad Seca (g/cm³): 1.990
Óptimo Contenido de Humedad (%): 11.70%
95% máxima densidad seca (g/cm³): 1.890

RESULTADOS :

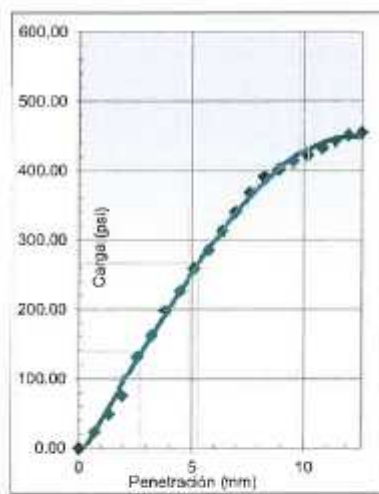
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:20.51% ; 0.2pulg:22.76%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:14.56% ; 0.2pulg:18.41%

OBSERVACIONES:

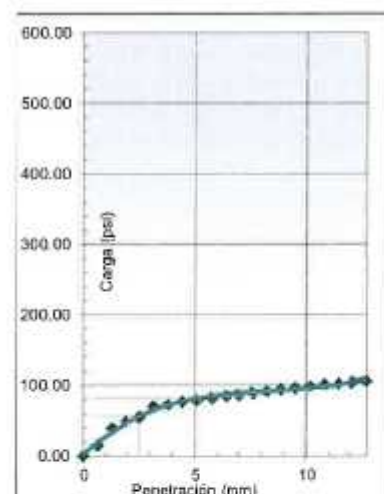
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



EC = 12 golpes

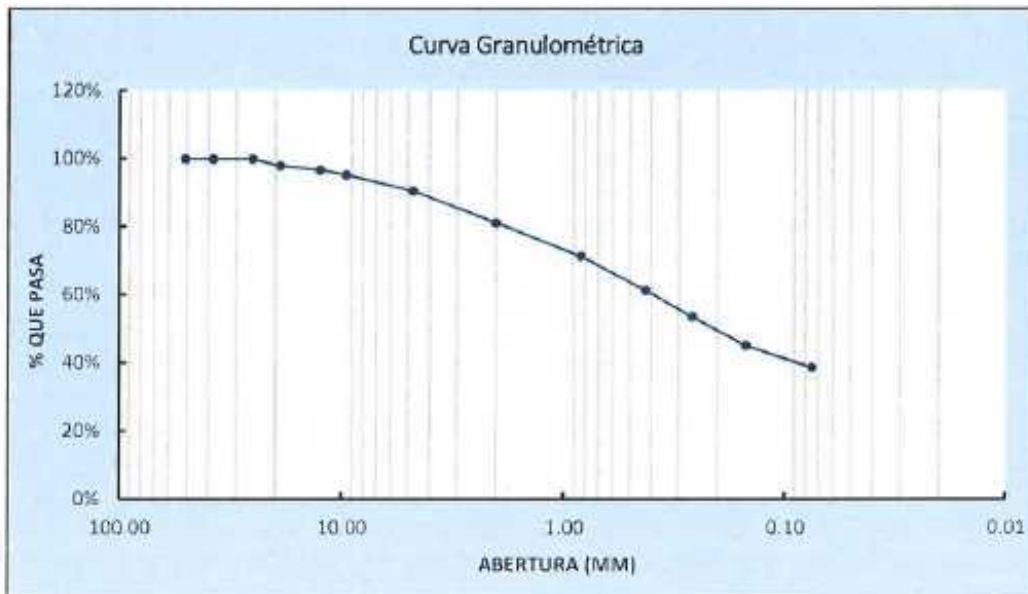


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	889532.00 m S - 216081.00 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5438.52	Peso final de la muestra (g)	5437.45	Variación	0.02%
------------------------------	---------	------------------------------	---------	-----------	-------

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	0.000	0.000	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	112.800	112.800	2.07%	97.93%
1/2"	12.500	72.010	184.810	3.40%	96.60%
3/8"	9.500	74.480	259.290	4.77%	95.23%
N°4	4.760	256.670	515.960	9.49%	90.51%
N°10	2.000	509.130	1025.090	18.85%	81.15%
N°20	0.840	536.510	1561.600	28.72%	71.28%
N°40	0.425	549.110	2110.710	38.82%	61.18%
N°60	0.260	415.500	2526.210	46.46%	53.54%
N°100	0.149	467.530	2993.740	55.06%	44.94%
N°200	0.075	347.070	3340.810	61.44%	38.56%
> N°200		2096.640	5437.450	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.815	27.678	28.726
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	158.193	179.645	182.668
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	144.013	163.015	166.029
4. Peso agua (gr)	14.180	16.630	16.639
5. Peso Suelo seco (gr)	116.198	135.337	137.303
6. Contenido Humedad (%)	12.20%	12.29%	12.12%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)		12.20%	

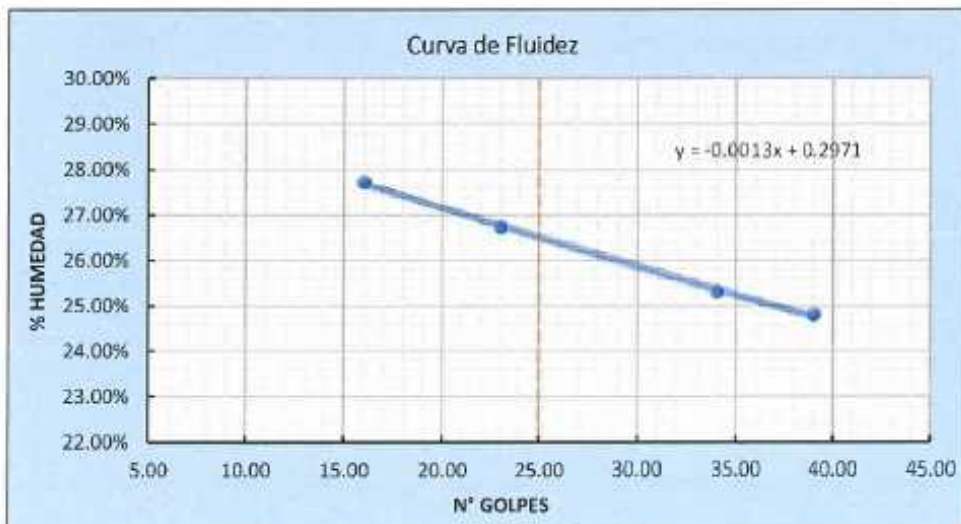


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero. Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8960532.00 m 3 - 210061.00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	39.000	34.000	23.000	16.000
2. Peso de la tara (gr)	28.536	28.847	28.615	28.711
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	39.615	37.016	37.200	39.445
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	37.412	35.366	35.389	37.115
5. Peso agua (gr)	2.203	1.650	1.811	2.330
6. Peso Suelo seco (gr)	8.876	6.519	6.774	8.404
7. Contenido Humedad (%)	24.82%	25.31%	26.73%	27.72%
8. Límite Líquido (%)	26.53%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.411	27.698	27.101
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	32.512	33.371	32.603
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	31.683	32.489	31.737
4. Peso agua (gr)	0.829	0.882	0.866
5. Peso Suelo seco (gr)	4.272	4.791	4.636
6. Contenido Humedad (%)	19.41%	18.41%	18.68%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	18.83%		

C. ÍNDICE PLASTICO

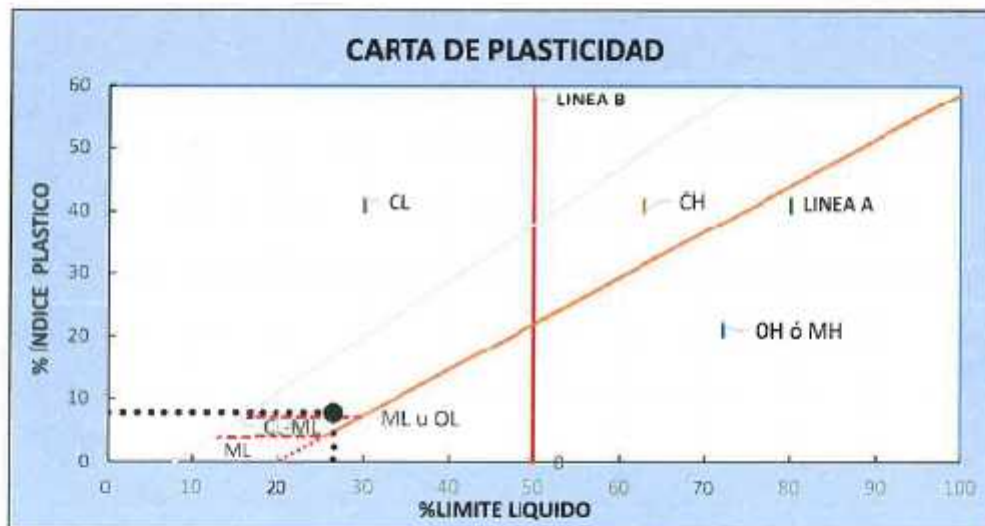
$$IP = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico} = 8\%$$



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	860532.00 m S - 216051.00 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	38.56%	% FINOS < 50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	84.56%	% ARENA > 50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LIMITES ATTERBEG	CC: NP LL: 27% IP: 8%



En conclusión es un suelo: **SC** ARENA ARCILLOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS	2. Grupos	A-4
3. Sub Grupo	-	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-4	SUELOS LIMOSOS	REGULAR O DEFICIENTE

En conclusión es un suelo: **A-4(0)**

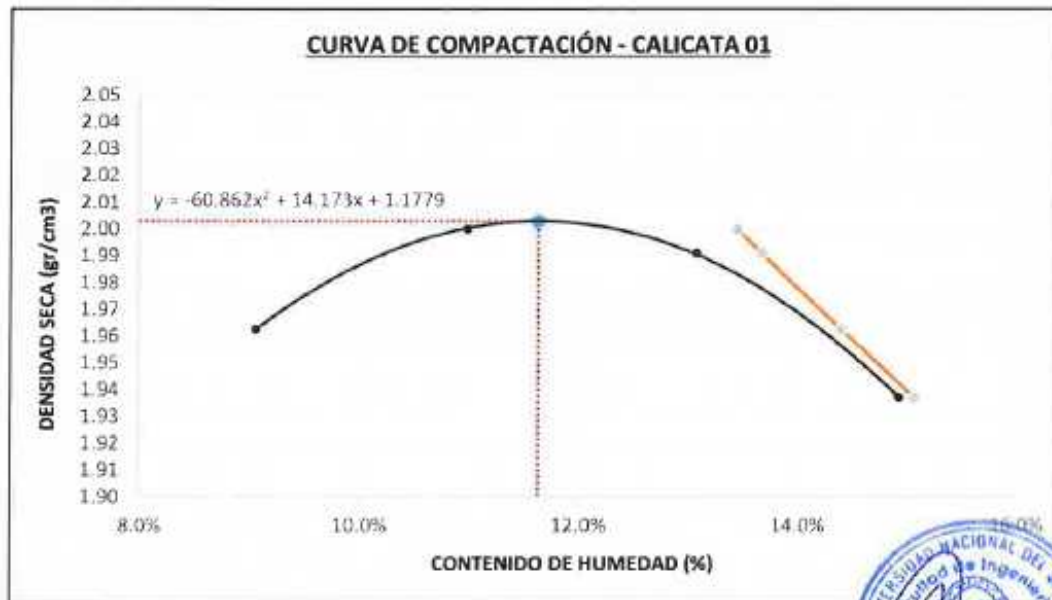


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8890532.00 m S - 219261.30 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)

PESO ESPECIFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6011.80	6012.60	6013.40	6043.00
2. Peso molde + muestra húmeda	10556.70	10726.50	10793.50	10770.30
3. Peso muestra húmeda (gr)	4544.90	4713.90	4780.10	4727.30
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.140	2.220	2.251	2.226

CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	146.60	117.50	151.30	413.70
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	745.90	535.30	616.60	2798.80
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	696.10	493.90	562.80	2489.00
4. Peso agua (gr)	49.80	41.40	53.80	309.80
5. Peso Suelo seco (gr)	549.50	376.40	411.50	2075.30
Contenido Humedad (%)	9.063%	10.999%	13.074%	14.928%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.963	2.000	1.991	1.937



Densidad Máxima	2.003 gr/cm³
Humedad Óptima	11.64%



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub base del camino vecinal de Cotaparaco al adosar relave minero, Rectay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recay, Areash.		
Muestra:	Calicli N° 05 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	89632 02 m S - 21031 03 m E

**VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR
(MTC E 132 - ASTM D 1883)**

COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES CBR

Molde N°	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Numero de capas	5		5		5	
Numero de Golpes por capa	56		25		10	
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
1 Peso del molde (gr)	4207.30		4210.40		4217.40	
2 Peso molde + muestra húmeda (gr)	8985.10		8700.40		8420.30	
3 Peso muestra húmeda (gr)	4777.80		4490.00		4202.90	
4 Volumen molde (cm ³)	2122.44		2122.44		2122.44	
5 Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.25		2.12		1.98	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

1 Peso de la tara (gr)	64.300		203.700		233.500	
2 Peso tara + Suelo húmedo (gr)	791.50		821.10		1366.30	
3 Peso tara + Suelo seco (gr)	715.20		757.14		1248.20	
4 Peso agua (gr)	76.30		63.96		118.10	
5 Peso Suelo seco (gr)	650.90		553.44		1014.70	
Contenido Humedad (%)	11.72%		11.56%		11.54%	
Densidad Seca (gr/cm³)	2.015		1.896		1.774	

CONTROL DE EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
4/04/2024	12:20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5/04/2024	12:20	24.00	3.90	0.10	0.08	11.10	0.28	0.22	13.10	0.33	0.30
5/04/2024	12:20	48.00	4.30	0.11	0.09	13.00	0.33	0.26	13.90	0.35	0.31
7/04/2024	12:20	72.00	6.90	0.18	0.14	14.40	0.37	0.29	14.60	0.37	0.36
8/04/2024	12:20	96.00	10.20	0.26	0.20	18.20	0.45	0.36	15.60	0.40	0.31

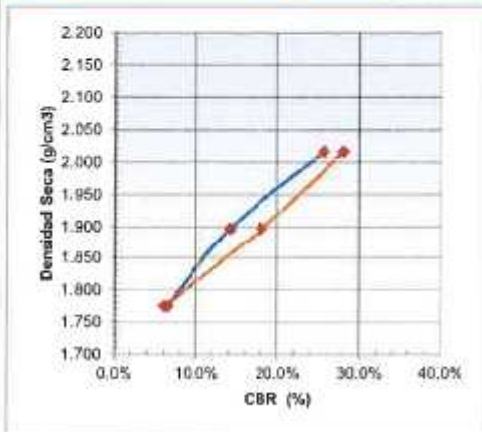
PRUEBA DE PENETRACION

PENETRACION		Carga Estándar (Lb/olg ²)	Molde 1 (56g)				Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)			
pulg.	mm.		CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN		
			LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.300	0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025	0.635		215	75.00			93	31.00			66	21.00		
0.050	1.270		316	112.00			158	56.00			139	46.33		
0.075	1.905		601	200.33			218	82.67			171	57.00		
0.100	2.540	1000.00	786	262.00	255.24	25.52%	417	139.00	142.19	14.22%	187	62.33	63.51	6.35%
0.125	3.175		916	305.33			511	170.33			232	77.33		
0.150	3.810		1046	348.67			617	205.67			240	80.00		
0.175	4.445		1158	389.33			734	234.67			252	84.00		
0.200	5.080	1500.00	1282	427.33	415.99	28.00%	739	246.33	270.95	18.06%	259	86.33	89.67	5.98%
0.225	5.715		1320	440.00			873	291.00			269	89.67		
0.250	6.350		1414	471.33			952	310.67			277	92.33		
0.275	6.985		1485	495.00			1043	347.67			282	94.00		
0.300	7.620	1900.00	1571	523.67			1127	375.67			290	96.67		
0.325	8.255		1634	544.67			1196	388.67			297	99.00		
0.350	8.890		1713	571.00			1226	408.67			305	101.67		
0.375	9.525		1771	590.33			1259	419.67			310	103.33		
0.400	10.160	2300.00	1847	615.67			1289	429.67			316	105.33		
0.425	10.795		1933	634.33			1320	440.00			323	107.67		
0.450	11.430		1977	659.00			1348	449.33			328	109.33		
0.475	12.065		2029	676.33			1376	458.67			333	111.00		
0.500	12.700	2600.00	2033	697.67			1387	462.33			340	113.33		



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vial de Octaparaco al adicionar relave minero, Recay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 20% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	899533.00 m E - 219261.00 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



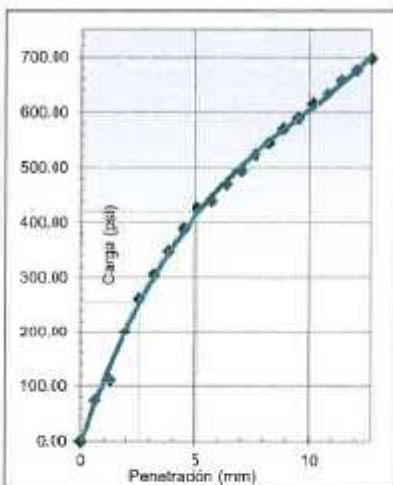
Máxima Densidad Seca (g/cm^3): **2.003**
 Óptimo Contenido de Humedad (%): **11.64%**
 95% máxima densidad seca (g/cm^3): **1.903**

RESULTADOS :

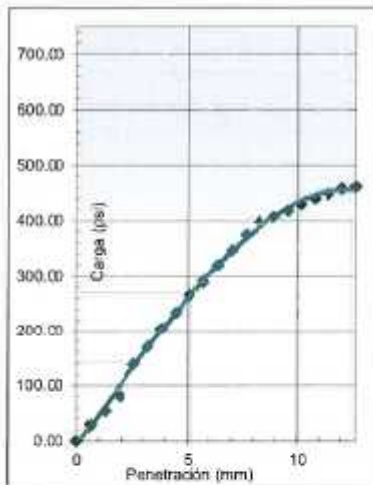
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulq:24.22% ; 0.2pulq:27.09%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulq:14.74% ; 0.2pulq:18.66%

OBSERVACIONES:

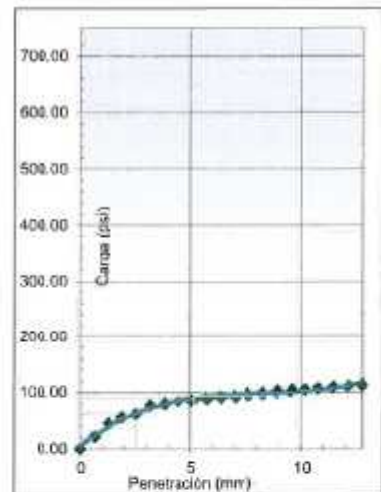
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



EC = 10 golpes

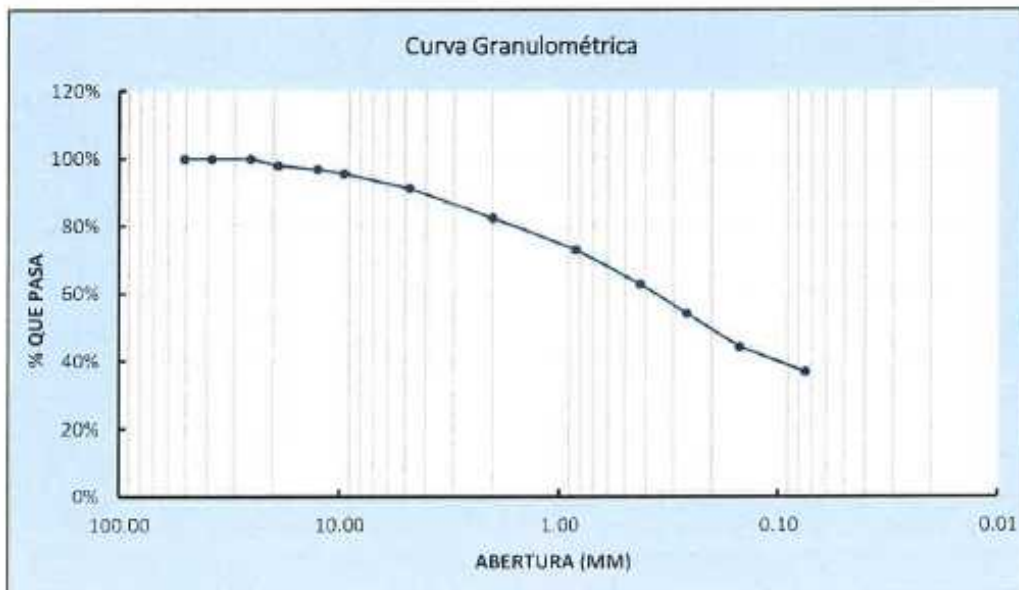


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash		
Muestra:	Calicata N° 05 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	4809532.00 m S - 216051.00 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	5867.68	Peso final de la muestra	5867.06	Variación	0.01%
------------------------------	---------	--------------------------	---------	-----------	-------

MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	0.000	0.000	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	112.540	112.540	1.92%	98.08%
1/2"	12.500	71.920	184.460	3.14%	96.86%
3/8"	9.500	74.170	258.630	4.41%	95.59%
N°4	4.760	255.620	514.250	8.77%	91.23%
N°10	2.000	517.080	1031.330	17.58%	82.42%
N°20	0.840	551.200	1582.530	26.97%	73.03%
N°40	0.425	599.130	2181.660	37.18%	62.82%
N°60	0.260	509.000	2690.660	45.86%	54.14%
N°100	0.149	587.400	3278.060	55.87%	44.13%
N°200	0.075	418.050	3696.110	63.00%	37.00%
> N°200		2170.950	5867.060	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.415	27.638	28.215
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	156.910	184.128	169.823
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	142.120	166.578	154.524
4. Peso agua (gr)	14.790	17.550	15.299
5. Peso Suelo seco (gr)	114.705	138.940	126.309
6. Contenido Humedad (%)	12.89%	12.63%	12.11%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	12.55%		

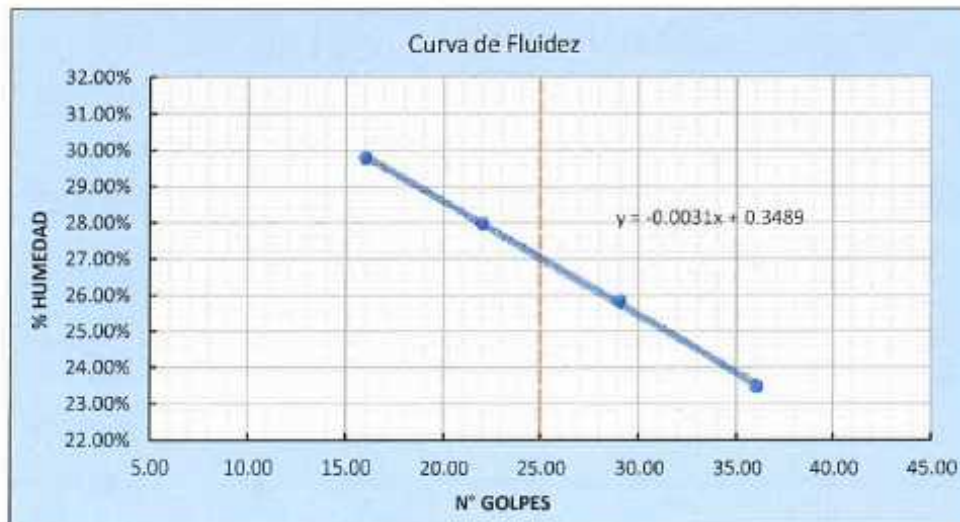


Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8896532.00 m S. - 216081.00 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	36.000	29.000	22.000	16.000
2. Peso de la tara (gr)	28.123	28.695	28.803	28.068
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	41.483	39.716	39.764	41.101
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	38.943	37.452	37.368	38.109
5. Peso agua (gr)	2.540	2.264	2.396	2.992
6. Peso Suelo seco (gr)	10.820	8.757	8.565	10.041
7. Contenido Humedad (%)	23.48%	25.85%	27.97%	29.80%
8. Limite Liquido (%)	27.01%			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.561	27.698	27.387
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	34.256	38.257	35.681
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	33.202	36.788	34.258
4. Peso agua (gr)	1.054	1.469	1.423
5. Peso Suelo seco (gr)	5.641	9.090	6.871
6. Contenido Humedad (%)	18.68%	16.16%	20.71%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	18.52%		

C. ÍNDICE PLASTICO

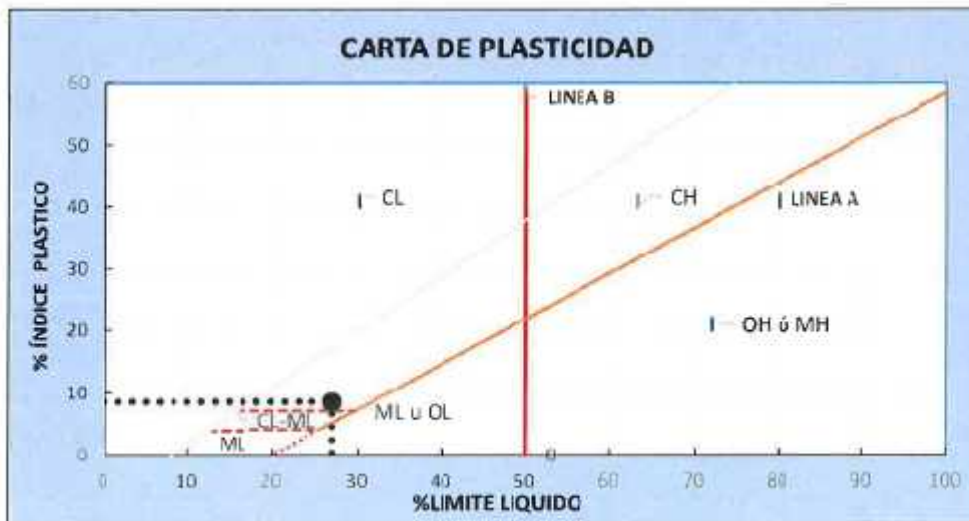
$$IP = \text{Limite Liquido} - \text{Limite Plástico} = 8\%$$



Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparacc al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparacc, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	880532.00 m S - 216051.00 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	37.00%	% FINOS < 50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	86.09%	% ARENA > 50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS > 12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LIMITES	CC: NP
		ATTERBEG	LL: 27%
			IP: 8%



En conclusión es un suelo: **SC** ARENA ARCILLOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS	2. Grupos	A-4
3. Sub Grupo	-	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-4	SUELOS LIMOSOS	REGULAR O DEFICIENTE

En conclusión es un suelo: **A-4(0)**



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	8996532.00 m S - 216051.00 m E

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - ASTM D 1557)


PESO ESPECÍFICO				
Ensayo N°	1	2	3	4
1. Peso del molde (gr)	6010.60	6010.60	6011.60	6011.60
2. Peso molde + muestra húmeda	10570.70	10749.50	10798.50	10736.30
3. Peso muestra húmeda (gr)	4560.10	4738.90	4786.90	4724.70
4. Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
5. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.148	2.232	2.254	2.225

CONTENIDO HUMEDAD				
Porción de Espécimen	Tara 1	Tara 2	Tara 3	Tara 4
1. Peso de la tara (gr)	94.60	65.50	99.30	361.70
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	693.90	483.30	564.60	2746.80
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	644.70	441.80	511.20	2436.80
4. Peso agua (gr)	49.20	41.50	53.40	310.00
5. Peso Suelo seco (gr)	550.10	376.30	411.90	2075.10
Contenido Humedad (%)	8.944%	11.028%	12.964%	14.939%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.971	2.010	1.996	1.936



Densidad Máxima	2.010 gr/cm3
Humedad Óptima	11.46%

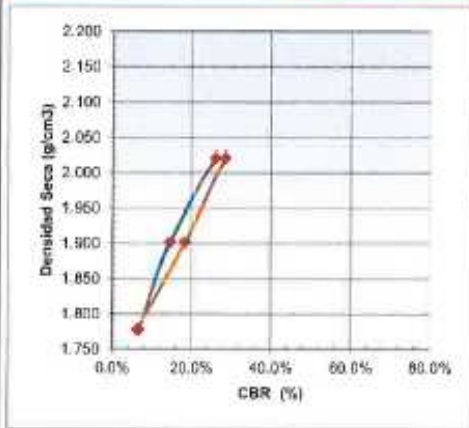


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA								
Tesis:	"Comportamiento físico mecánica de la sub base del camino vecinal de Cotaparaco al adionar relave minero, Recuay - 2023"													
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash													
Muestra:	Calicata N°	05 + 30% Relave Mirero	Profundidad:	1.50 m										
Fecha:	Marzo del 2024		Coordenadas:	89602.00 N.S. - 79061.00 m.E										
VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)														
COMPACTACION DE LOS MOLDES CBR														
Molde N°	Molde 1		Molde 2		Molde 3									
Numero de capas	5		5		5									
Numero de Golpes por capa	56		25		10									
Condiciones de la Muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO								
1. Peso del molde (gr)	4207.30		4210.40		4217.40									
2. Peso molde + muestra húmeda (gr)	8985.10		8700.40		8420.30									
3. Peso muestra húmeda (gr)	4777.80		4490.00		4202.90									
4. Volumen molde (cm³)	2122.44		2122.44		2122.44									
5. Densidad húmeda (gr/cm³)	2.25		2.12		1.98									
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA														
1. Pesc. de la tara (gr)	71.200		179.700		240.500									
2. Pesc. tara + Suelo húmedo (gr)	1024.90		1379.00		1443.70									
3. Pesc. tara + Suelo seco (gr)	927.70		1257.80		1321.50									
4. Pesc. agua (gr)	97.20		121.20		122.20									
5. Pesc. Suelo seco (gr)	856.50		1078.10		1081.00									
Contenido Humedad (%)	11.35%		11.24%		11.30%									
Densidad Seca (gr/cm³)	2.022		1.902		1.779									
CONTROL DE EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				mm	%		mm	%		mm	%			
4/04/2024	15:20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
5/04/2024	15:20	24.00	11.90	0.30	0.24	5.10	0.13	0.10	14.10	0.36	0.30			
6/04/2024	15:20	48.00	12.30	0.31	0.25	7.00	0.18	0.14	14.90	0.38	0.31			
7/04/2024	15:20	72.00	14.90	0.38	0.30	8.40	0.21	0.17	15.60	0.40	0.36			
8/04/2024	15:20	96.00	18.20	0.46	0.36	12.20	0.31	0.24	16.60	0.42	0.33			
PRUEBA DE PENETRACION														
PENETRACION		Carga Estándar (Lb/plg2)	Molde 1 (56g)			Molde 2 (25g)				Molde 3 (10g)				
pulg.	mm.		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN			
			LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%	LECTURA	PRESION	PRESION	%
0.000	0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025	0.635		246	82.00			112	37.33			85	28.33		
0.050	1.270		355	118.33			187	62.33			158	52.67		
0.075	1.905		620	208.67			267	89.00			190	63.33		
0.100	2.540	1000.00	885	268.33	209.53	25.95%	436	145.33	141.28	14.53%	206	68.67	69.68	6.37%
0.125	3.175		935	311.67			530	176.67			251	83.67		
0.150	3.810		1065	355.00			636	212.00			259	86.33		
0.175	4.445		1187	395.67			723	241.00			271	90.33		
0.200	5.080	1500.00	1301	433.67	425.62	28.37%	838	272.67	275.13	18.34%	278	92.67	96.56	6.44%
0.225	5.715		1389	446.33			892	297.33			288	96.00		
0.250	6.350		1483	477.67			981	327.00			296	98.67		
0.275	6.985		1534	501.33			1062	354.00			301	100.33		
0.300	7.620	1900.00	1580	530.00			1146	382.00			309	103.00		
0.325	8.255		1653	551.00			1215	405.00			316	105.33		
0.350	8.890		1752	577.33			1245	415.00			324	108.00		
0.375	9.525		1790	596.67			1278	426.00			329	109.67		
0.400	10.160	2300.00	1856	622.00			1308	436.00			335	111.67		
0.425	10.795		1972	640.67			1339	446.33			342	114.00		
0.450	11.430		1996	665.33			1367	455.67			347	115.67		
0.475	12.065		2018	682.67			1395	465.00			352	117.33		
0.500	12.700	2600.00	2112	704.00			1406	468.67			359	119.67		



Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Colaparaco al adicional relave minero, Recussy - 2023"		
Localización:	Distrito de Colaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 05 + 30% Relave Minero	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Marzo del 2024	Coordenadas:	886932.00 m S - 718811.00 m E

VALOR DE LA RESISTENCIA DE SOPORTE CBR (MTC E 132 - ASTM D 1883)



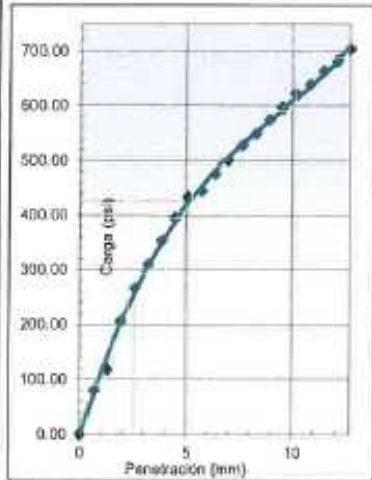
Máxima Densidad Seca (g/cm³): 2.010
Óptimo Contenido de Humedad (%): 11.46%
95% máxima densidad seca (g/cm³): 1.910

RESULTADOS :

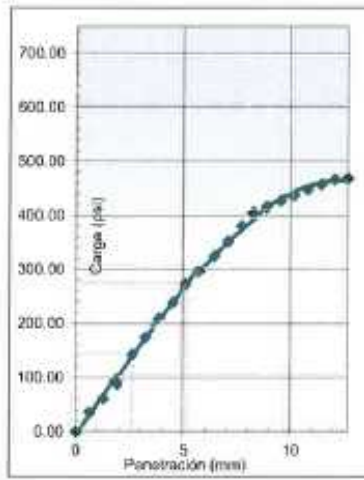
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1pulg:24.69% ; 0.2pulg:27.52%
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 0.1pulg:15.16% ; 0.2pulg:19.09%

OBSERVACIONES :

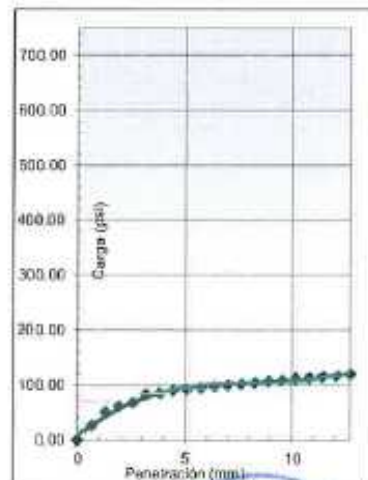
EC = 56 golpes



EC = 25 golpes



EC = 10 golpes

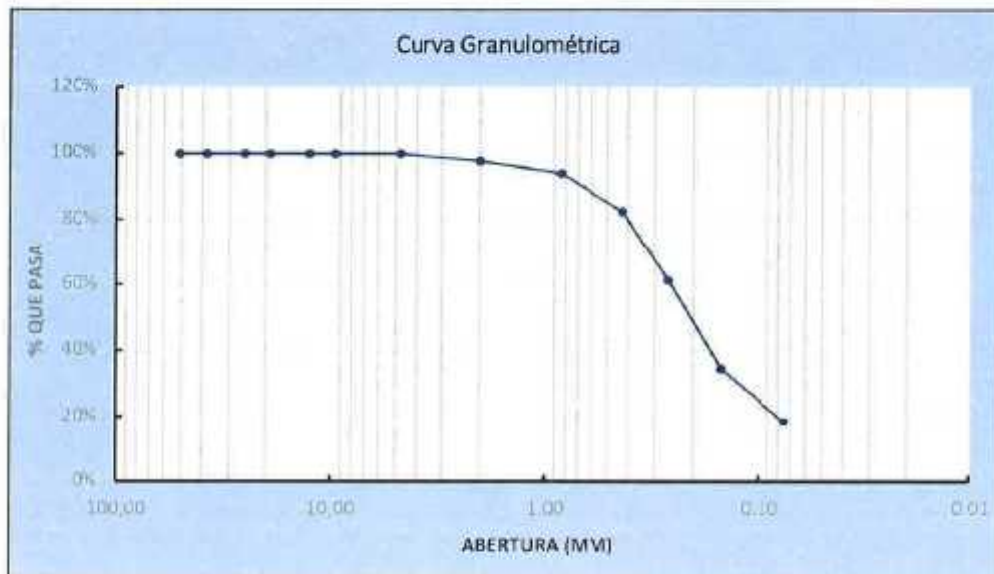


7.1.6. Relave minero, Ticapampa.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS					
Tesis:	Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023'				
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.				
Muestra:	Calicata N° 06	Estrato	Relave Minero	Profundidad:	1.20 m
Fecha:	Enero del 2024			Coordenadas:	850487.25 m S - 232001.92 m E

1. ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso total de la muestra (g)	924.40	Peso final de la muestra	925.20	Variación	-0.09%
MALLAS	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
2"	50.800	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.400	0.000	0.000	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.000	0.000	0.00%	100.00%
1/2"	12.500	0.000	0.000	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	0.000	0.000	0.00%	100.00%
N°4	4.760	0.000	0.000	0.00%	100.00%
N°10	2.000	20.500	20.500	2.22%	97.78%
N°20	0.840	34.600	55.100	5.96%	94.04%
N°40	0.425	107.100	162.200	17.53%	82.47%
N°60	0.260	195.100	357.300	38.62%	61.38%
N°100	0.149	249.600	606.900	65.60%	34.40%
N°200	0.075	148.400	755.300	81.64%	18.36%
> N°200		169.900	925.200	100.00%	0.00%



2. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	27.316	27.327	28.496
2. Peso tara + Suelo húmedo (gr)	155.741	176.837	185.842
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	137.013	155.499	161.432
4. Peso agua (gr)	18.728	21.338	24.410
5. Peso Suelo seco (gr)	109.697	128.172	132.936
6. Contenido Humedad (%)	17.07%	16.65%	18.39%
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	17.37%		

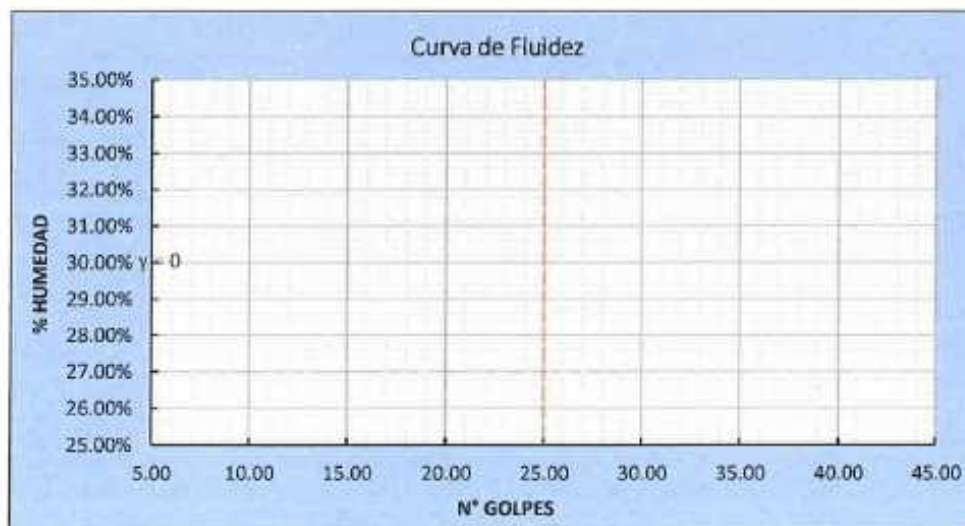


Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 06	Estrato	Relave Minero
Fecha:	Enero del 2024	Profundidad:	1.20 m
		Coordenadas:	8920487 25 m S - 233501 92 m E

3. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110 - MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

DATOS	Tara N°			
	1	2	3	4
1. Numero de golpes	-	-	-	-
2. Peso de la tara (gr)	-	-	-	-
3. Peso tara + Suelo humedo (gr)	-	-	-	-
4. Peso tara + Suelo seco (gr)	-	-	-	-
5. Peso agua (gr)	-	-	-	-
6. Peso Suelo seco (gr)	-	-	-	-
7. Contenido Humedad (%)	-	-	-	-
8. Limite Liquido (%)	NP			



B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

DATOS	Tara N°		
	1	2	3
1. Peso de la tara (gr)	-	-	-
2. Peso tara + Suelo humedo (gr)	-	-	-
3. Peso tara + Suelo seco (gr)	-	-	-
4. Peso agua (gr)	-	-	-
5. Peso Suelo seco (gr)	-	-	-
6. Contenido Humedad (%)	-	-	-
7. Promedio de Contenido Humedad (%)	NP		

C. ÍNDICE PLASTICO

$$IP = \text{Limite Liquido} - \text{Limite Plástico} = NP$$



Tesis:	*Comportamiento físico mecánico de la sub rasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023*		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 06 Estrato Relave Minero	Profundidad:	1.20 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8029487.25 m S - 232001.92 m E

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO SUCS

1. Porcentaje que pasa la malla N°200:	18.36%	% FINOS<50%	SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS
2. Porcentaje de la fracción gruesa que pasa la malla N°4:	100.00%	% ARENA>50%	ARENA
CRITERIO PARA CLASIFICACIÓN:	%FINOS>12%	CRITERIO GRANULOMETRÍA	CU: NP
		CRITERIO LÍMITES	CC: NP
		ATTERBEG	LL: NP
			IP: NP



En conclusión es un suelo: **SM** ARENA LIMOSA

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

1. Clasificación General	MATERIALES GRANULARES	2. Grupos	A-2
3. Sub Grupo	A-2-4	4. Índice de Grupo (IG)	0

CARACTERISTICAS SEGÚN CUADRO AASHTO

MATERIALES GRANULARES		
GRUPO	TIPOLOGÍA	CALIDAD
A-2-4	Material granular con partículas finas limosas.	EXCELENTE O BUENO

En conclusión es un suelo: **A-2-4(0)**



7.1.7. Informe de análisis químico.

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC: 20605355189



INFORME DE ANÁLISIS F.Q.A. PERÚ S.A.C.

SOLICITANTES	: Puma Montoya, Luis Quispe Lara, Heydi
MUESTRA	: Relave minero del distrito de Ticapampa
FECHA DE INGRESO	: 05 DE JUNIO DEL 2024
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

CODIFICACIÓN DE MUESTRA		SUELO
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADO
TEXTURA	-	Arenoso
COLOR	-	Ligeramente verdoso
DENSIDAD APARENTE	gr/cc	1.82
DENSIDAD RELATIVA	gr/cc	2.61
pH	-	4.87
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	dS/cm	1.33
MATERIA ORGÁNICA	%	2.61
CaCO ₃	%	1.24

ANÁLISIS DE METALES PESADOS :

CODIFICACIÓN DE MUESTRA			SUELO
METALES PESADOS	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN	RESULTADO
PLATA	mg/kg	0.15	N.D.
ALUMINIO	mg/kg	0.50	217.46
ARSÉNICO	mg/kg	0.50	326.19
BORO	mg/kg	0.20	N.D.
BARIO	mg/kg	0.05	105.13

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.



ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC: 20605355189

CADMIO	mg/kg	0.02	189.62
COBALTO	mg/kg	0.05	66.14
CROMO	mg/kg	0.08	38.82
COBRE	mg/kg	0.08	219.67
HIERRO	mg/kg	0.80	120.70
MANGANESO	mg/kg	0.08	77.38
MOLIBDENO	mg/kg	0.08	N.D.
SODIO	mg/kg	6.00	98.30
NIQUEL	mg/kg	0.15	227.34
FÓSFORO	mg/kg	0.50	N.D.
PLOMO	mg/kg	0.20	1043.67
SELENIO	mg/kg	1.20	N.D.
SILICE	mg/kg	0.80	436.89
TITANIO	mg/kg	0.05	N.D.
ZINC	mg/kg	0.80	953.72

ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ATÓMICA POR PLASMA INDUCTIVAMENTE ACOPLADO - (ICP-OES)

*ND: No detectable; fuera del rango

OBSERVACIONES: Este informe no debe reproducirse total ni parcial sin la autorización de Laboratorio Físico Químico Ambiental PERÚ S.A.C. Los resultados de este certificado solo corresponden a la muestra recibida en nuestras instalaciones.

TRUJILLO, 10 DE JUNIO DEL 2024

ING. WILSON TIRADO LIBIA
Ingeniero Metalúrgico
CIP- 162371



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

7.1.8. Resultados, tramo de prueba.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS			
Tesis:	"Comportamiento físico mecánico de la subrasante del camino vecinal de Colaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023"		
Localización:	Distrito de Cotaparaco, Provincia Recuay, Ancash.		
Muestra:	Calicata N° 4 Estrato subrasante	Profundidad:	1.50 m
Fecha:	Enero del 2024	Coordenadas:	8895709.00 m S - 2°16'96.00 m E

ENSAYO / PRUEBA		N°	01	02
NIVEL / CAPA			SUBRASANTE	SUBRASANTE
PROCEDENCIA DEL MATERIAL:		SUBRASANTE COTAPARACO, RECUAY		
1	Peso del frasco + arena	gr.	5272	-
2	Peso del frasco + arena que queda	gr.	1201	-
3	Peso de arena empleada	gr.	4071	-
4	Peso de arena en el cono + placa	gr.	1984.23	-
5	Peso de arena en el fruyo	gr.	2086.77	-
6	Densidad de la arena seca	gr/cc	1.529	-
7	Volumen del material extraído	cc	1355	-
8	Peso total de la muestra + recipiente	gr.	2648	-
9	Peso del recipiente	gr.	5	-
10	Peso del suelo + grava	gr.	2643	-
11	Peso de material > 3/4"	gr.	-	-
12	Peso específico de la grava	gr/cc	2.74	-
13	Volumen de la grava	cc	0.0	-
14	Peso del suelo	gr.	2643.0	-
15	Volumen del suelo	cc	1364.8	-
16	Densidad del suelo húmedo	gr/cc	1.937	-
17	Densidad del suelo seco	gr/cc	1.793	-
DATOS DEL ENSAYO DEL PROCTOR				
18	Máxima densidad seca	gr/cc	1.737	-
19	Óptimo contenido de humedad	%	11.85	-
CONTENIDO DE HUMEDAD				
	N° CAPSULA O RECIPIENTE	N°	1.00	2.00
1	Peso de capsula	gr.	SPEEDY	
2	Peso de capsula + suelo húmedo	gr.		
3	Peso de capsula + suelo seco	gr.		
4	Peso del agua en la muestra	gr.		
5	Contenido de Humedad	%		
RESULTADOS DE ENSAYO				
1	Densidad Seca (del ensayo)	gr/cc	1.793	-
2	Máxima densidad seca (del proctor)	gr/cc	1.737	-
2	Contenido de humedad (del ensayo)	%	0.08	-
4	Óptimo contenido de humedad (del proctor)	%	11.85	-
3	GRADO DE COMPACTACION	%	103.23	-



7.2. Panel Fotográfico

7.2.1. *Excavación y recolección de muestras*

Fotografía 1

Inicio de vía del Camino Vecinal Cotaparaco.



Fotografía 2

Estado actual de la subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco.



Fotografía 3

Estado actual de la subrasante del Camino Vecinal Cotaparaco.



Fotografía 4

Toma de muestras de 1m de diámetro y medidas de profundidad aprox. 1.2m-1.5m de la C-01 con coordenadas (Este: 216010.00 E y Norte: 8895775.00 S).



Fotografía 5

Toma de muestras de 1m de diámetro y medidas de profundidad aprox. 1.2m-1.5m de la C-02 con coordenadas (Este: 216720.29 m E y Norte:8895481.51.00m S).



Fotografía 6

Toma de muestras de 1m de diámetro y medidas de profundidad aprox. 1.2m-1.5m de la C-03 con coordenadas (Este: 217147.00 m E y Norte: 8895815.00m S).



Fotografía 7

Toma de muestras de 1m de diámetro y medidas de profundidad aprox. 1.2m-1.5m de la C-04 con coordenadas (Este: 216595.00 m E y Norte: 8895709.00m S).



Fotografía 8

Toma de muestras de 1m de diámetro y medidas de profundidad aprox. 1.2m-1.5m de la C-05 con coordenadas (Este: 216061.00 E y Norte: 8896532.00 S).



Fotografía 9.

Ubicación del Relave minero de Ticapampa.



Fotografía 10.

Extracción de muestras del Relave Minero de Ticapampa.



7.2.2. Contenido de Humedad Natural.

Fotografía 11

Muestra de Relave minero para calcular el contenido de humedad.



Fotografía 12

Pesando las muestras para calcular el contenido de humedad del relave minero.



Fotografía 13

Muestras de las calicatas C-01, C-02, C-03, C-04 y C-05 para calcular el contenido de humedad natural.



Fotografía 14

Registro de los pesos de las muestras de la subrasante.



Fotografía 15

Colocación de las muestras al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.



7.2.3. Análisis Granulométrico.

Fotografía 16

Cuarteo del material de las calicatas para realizar el análisis granulométrico.



Fotografía 17

Secado de una muestra representativa en el horno, a una temperatura de 110 ± 5 °C.



Fotografía 18

Lavado de la muestra con agua corriente para separar los finos que pasan la malla N°200.



Fotografía 19

Tamizado de las muestras hasta separar las partículas.



7.2.4. Límites de Atterberg.

Fotografía 20

Pasta homogénea de la fracción fina de la muestra para el L. Líquido y plástico.



Fotografía 21

Porción de muestra esparcida en la copa de Casagrande para el Límite líquido.



Fotografía 22

Uso del acanalador para crear la ranura y operar el dispositivo.



Fotografía 23

Formación de cilindros de aproximadamente 3.2mm



Fotografía 24

Cálculo del contenido de Humedad.



7.2.5. *Peso Específico.*

Fotografía 25

Lavado del material que es retenido por la malla N°4.



Fotografía 26

Peso mínimo del material según el tamaño máximo nominal.



Fotografía 27

Secado de la muestra en el horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.



Fotografía 28

Mezcla sumergida en agua a 23°C , en la cesta de alambre.



Fotografía 29

Se registró el peso de la muestra sin aire atrapado.



7.2.6. Proctor Modificado.

Fotografía 30

Se registró el peso de la muestra sin aire atrapado.



Fotografía 31

Se desmoldó el espécimen del molde para Proctor modificado.



7.2.7. CBR (California Bearing Ratio).

Fotografía 32

Selección de la muestra mediante el cuarteo.



Fotografía 33

Preparación de la muestra con los tamices 3/4", 3/8" y N°4.



Fotografía 34

Moldes para compactar a 56, 25 y 10 golpes.



Fotografía 35

Muestras sumergidas y otras listas para ser ensayadas.



7.2.8. Densidad de Campo en un tramo de prueba.

Fotografía 36

Preparación de las muestras en el tramo de prueba.



Fotografía 37

Mezcla del material de subrasante con una adición del 30% de relave minero.



Fotografía 38

Colocación de la mezcla sobre la subrasante del camino vecinal.



Fotografía 39

Compactación de la subrasante del Camino Vecinal.



Fotografía 40

Elección de un punto nivelado para realizar el ensayo del cono de arena.



Fotografía 41

Peso inicial del cono más la arena calibrada.



Fotografía 42

Excavación de un agujero de aproximadamente 12cm.



Fotografía 43

Peso del material extraído del agujero excavado.



Fotografía 44

Llenado con arena del agujero excavado.



Fotografía 45

Cálculo del contenido de humedad con el Speedy.



Fotografía 46

Peso del cono con la arena sobrante.



Fotografía 47

Prueba de carga Vehicular sobre la subrasante mejorada con la adición del 30% de relave minero.



7.3. Anexo 03. - Plano de ubicación del relave Minero.

7.4. Anexo 02. - Plano de ubicación de las calicatas.