

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Estabilización de subrasantes con cemento y
aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera
Sicuaní - Trapiche, Canchis, Cusco 2022**

Yessenia Tinajeros Martinez
Cristhian Francisco Sanchez Lima

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Gutarra Meza Felipe Néstor
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Muñiz Paucarmayta Abel Alberto
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 20 de Octubre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON CEMENTO Y ADITIVO CONAID EN CAMINOS VECINALES, CARRETERA SICUANI –TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO 2022", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) Yessenia Tinajeros Martinez - Cristhian Francisco Sanchez Lima, de la E.A.P. de Ingeniería Civil; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas:) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Abel Alberto Muñiz Paucarmayta
Asesor de tesis

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Yessenia Tinajeros Martinez, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 45432065, de la E.A.P. de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON CEMENTO Y ADITIVO CONAID EN CAMINOS VECINALES, CARRETERA SICUANI - TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

30 de octubre de 2023.



Yessenia Tinajeros Martinez

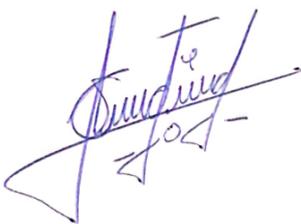
DNI. No. 45432065

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Cristhian Francisco Sanchez Lima, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 48220157, de la E.A.P. de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

5. La tesis titulada: "ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON CEMENTO Y ADITIVO CONAID EN CAMINOS VECINALES, CARRETERA SICUANI - TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
6. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
7. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.



30 de octubre de 2023.

Cristhian Francisco Sanchez Lima

DNI. No. 48220157

DPI-YTINAJEROS-CSANCHEZ-2022-UC

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad Anahuac México Sur	<1%

10

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

<1 %

11

Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola

Trabajo del estudiante

<1 %

12

www.statmodel.com

Fuente de Internet

<1 %

13

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

14

Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

<1 %

15

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

16

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

17

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

18

repositorio.ucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.unu.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

20

repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

33	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Trabajo del estudiante	<1 %
35	Submitted to Universidad Peruana Los Andes Trabajo del estudiante	<1 %
36	Submitted to Universidad San Marcos Trabajo del estudiante	<1 %
37	link.springer.com Fuente de Internet	<1 %
38	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	repositorio.utesup.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to Corporación Universitaria Remington Trabajo del estudiante	<1 %
41	revistas.unipamplona.edu.co Fuente de Internet	<1 %
42	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
43	dialnet.unirioja.es Fuente de Internet	<1 %

44	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
45	fdocuments.ec Fuente de Internet	<1 %
46	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
48	Honorio Rigoberto Jaramillo Machacuay, Roberto Roland Yoctun Rios. "Confiabilidad de la velocidad de pulso ultrasónico para análisis y comparación de la resistencia a compresión de concreto convencional con adición de fibra de acero y polipropileno", Gaceta Técnica, 2023 Publicación	<1 %
49	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
50	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
51	spanish_english.en-academic.com Fuente de Internet	<1 %
52	ROMERO RABI CESAR AUGUSTO. "PAMA de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos de Campo Verde-	<1 %

IGA0012791", R.D. N° 3786-
2018/DCEA/DIGESA/SA, 2021

Publicación

53	Submitted to Universidad Internacional SEK Trabajo del estudiante	<1 %
54	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
55	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
56	fundacionkoinonia.com.ve Fuente de Internet	<1 %
57	repositorio.ulead.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
58	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
59	sistemamid.com.ar Fuente de Internet	<1 %
60	Submitted to Universidad Jose Carlos Mariategui Trabajo del estudiante	<1 %
61	Submitted to Universidad Peruana de Las Americas Trabajo del estudiante	<1 %
62	dspace.ucacue.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

63	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
64	CESEL S A. "EIA para el Suministro de Agua, Energía y Planta Desaladora del Proyecto Cerro Lindo-IGA0000852", R.D. N° 134-2007-MEM-AAM, 2020 Publicación	<1 %
65	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
66	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
67	repository.unab.edu.co Fuente de Internet	<1 %
68	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
69	VEGA DIAZ JOSE NEPTALI. "Informe de Gestión Ambiental del Servicio de Agua para Riego en el Caserío la Victoria-IGA0014400", R.D.G. N° 316-2016-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021 Publicación	<1 %
70	archive.org Fuente de Internet	<1 %
71	Submitted to consultoriadeserviciosformativos Trabajo del estudiante	<1 %

72	jobs.carrier.com Fuente de Internet	<1 %
73	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
74	www.prnewswire.com Fuente de Internet	<1 %
75	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
76	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
77	lareferencia.info Fuente de Internet	<1 %
78	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
79	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
80	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
81	www.iwc.com Fuente de Internet	<1 %
82	Mitsuko Matsumoto, Karmele Mendoza-Pérez, Beatriz Macías-Gómez-Estern, David Poveda. " Families at social risk and access to 0-3 Early Childhood Education and Care in	<1 %

Spain: a model to understand diverse conditions in the current system () ", Culture and Education, 2023

Publicación

83

distancia.udh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

84

fdocuments.es

Fuente de Internet

<1 %

85

repositorio.ulvr.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

86

repository.usta.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

87

tdx.cat

Fuente de Internet

<1 %

88

upcommons.upc.edu

Fuente de Internet

<1 %

89

vsip.info

Fuente de Internet

<1 %

90

www.conocimientoy sociedad.com

Fuente de Internet

<1 %

91

www.emcintl.com

Fuente de Internet

<1 %

92

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

93	www.yumpu.com Fuente de Internet	<1 %
94	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
95	atalayar.com Fuente de Internet	<1 %
96	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
97	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
98	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
99	geologiaweb.com Fuente de Internet	<1 %
100	historia.uniovi.eu.org Fuente de Internet	<1 %
101	pingpdf.com Fuente de Internet	<1 %
102	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
103	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
104	repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

105	repositorio.upeu.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
106	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
107	repositorio.uwiener.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
108	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
109	www.1a3soluciones.com Fuente de Internet	<1 %
110	www.bayvit.com Fuente de Internet	<1 %
111	www.cnddhh.org.pe Fuente de Internet	<1 %
112	www.deguate.com Fuente de Internet	<1 %
113	www.imt.mx Fuente de Internet	<1 %
114	www.investigarmqr.com Fuente de Internet	<1 %
115	www3.dfc.gov Fuente de Internet	<1 %
116	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

117

www.pc.gov.au

Fuente de Internet

<1 %

118

"Proceedings of 5th International Conference on Civil Engineering and Architecture", Springer Science and Business Media LLC, 2024

Publicación

<1 %

119

ORGANISMO NO GUBERNAMENTAL ORGANIZACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE - ONG ODS. "EIA-SD del Proyecto Relleno Sanitario y Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos de la Localidad de Chiclayo, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque-IGA0003709", R.D. N° 069-2013/DSB/DIGESA/SA, 2020

Publicación

<1 %

120

doku.pub

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

AGRADECIMIENTOS:

Agradecemos de manera sincera y profunda a todos aquellos que contribuyeron de manera significativa en la realización de esta tesis.

En primer lugar, extendemos nuestro agradecimiento a nuestros padres, Domitila, Lucio, Gloria y Roger, por su apoyo incondicional, amor y comprensión a lo largo de este arduo proceso. Sus consejos, aliento y sacrificio fueron fundamentales para alcanzar este logro. Asimismo, agradecemos a todos los profesores, tutores y compañeros que nos brindaron orientación, conocimiento y colaboración durante esta investigación. También, expresamos nuestra gratitud a las comunidades locales y las autoridades pertinentes por su cooperación y facilitación de acceso a la información y recursos necesarios para llevar a cabo este estudio.

DEDICATORIAS:

Dedicamos esta tesis a nuestra hija, Alitzel Julie. Cuya inspiración y ha sido la fuerza motriz detrás de este logro. Esta investigación es un testimonio de nuestro amor por ti y nuestro compromiso con un futuro mejor. Que esta dedicación refleje nuestro deseo de crear un mundo más seguro y sostenible para las generaciones venideras.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS:.....	ii
DEDICATORIAS:	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	19
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	19
1.1.1. Problema general.....	22
1.1.2. Problemas específicos.....	22
1.2. Objetivos	22
1.2.1. Objetivo general	22
1.2.2. Objetivos específicos	22
1.3. Justificación e importancia.....	23
1.3.1. Justificación teórica.....	23
1.3.2. Justificación práctica	23
1.3.3. Justificación metodológica.....	23
1.3.4. Importancia.....	24
1.4. Delimitación	24
1.4.1. Delimitación conceptual.....	24
1.4.2. Delimitación espacial.....	24
1.4.3. Delimitación temporal.....	25
1.5. Hipótesis y variables.....	25
1.5.1. Hipótesis	25
1.5.1.1. Hipótesis general	25
1.5.1.2. Hipótesis específicas	25
1.5.2. Variables	25
1.5.2.1. Variable independiente	25
1.5.2.2. Variable dependiente	26

1.5.2.3.	Matriz de operacionalización de variables.....	26
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....		28
2.1.	Antecedentes del problema.....	28
2.1.1.	Antecedentes Nacionales.....	28
2.1.2.	Antecedentes internacionales	30
2.2.	Bases teóricas	33
2.2.1.	Aditivo Conaid y Cemento	33
2.2.1.1.	Componentes del Cemento	35
2.2.1.2.	Tipos de Cemento Portland.....	39
2.2.1.3.	Características del Cemento Portland Tipo I.....	39
2.2.1.4.	Características del Aditivo Conaid.....	40
2.2.1.5.	Forma de aplicación del Aditivo Conaid.....	40
2.2.1.6.	Peso específico.....	41
2.2.1.7.	Granulometría	43
2.2.1.8.	Dosificación	45
2.2.2.	Estabilización de la subrasante	49
2.2.2.1.	Tipos de estabilización	50
2.2.2.2.	Características de la subrasante	52
2.2.2.3.	Plasticidad de los suelos	53
2.2.2.4.	Densidad seca máxima de un suelo arcilloso	55
2.2.2.5.	Capacidad de resistencia potencial (CBR) del suelo.....	56
2.2.2.6.	Módulo de resiliencia	59
2.2.3.	Transitabilidad	63
2.2.3.1.	Estado de transitabilidad del camino	63
2.2.3.2.	Caminos vecinales	64
2.2.3.3.	Carpeta de rodadura afirmada.....	65
2.2.3.4.	Composición de la carpeta de rodadura de afirmado.....	66
2.2.3.5.	Requisitos de calidad de los materiales para afirmado	66
2.3.	Definición de términos básicos	66
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		68
3.1.	Método, tipo o alcance de la investigación	68
3.1.1.	Método de la investigación: Hipotético deductivo.....	68
3.1.2.	Tipo de la investigación: Aplicado.....	68
3.1.3.	Nivel de investigación: Descriptivo.....	68

3.1.4.	Diseño de la investigación: Cuasiexperimental	69
3.2.	Materiales y métodos	69
3.2.1.	Población	69
3.2.2.	Muestra	70
3.2.3.	Muestreo.....	70
3.2.4.	Técnica de recolección de datos	71
3.2.5.	Instrumento de recolección de datos	71
3.2.6.	Validez.....	71
3.2.7.	Métodos de análisis.....	72
3.2.8.	Aspectos éticos	73
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS		74
4.1.	Presentación de resultados	74
4.1.1.	Descripción de la zona de estudio	74
4.1.1.1.	Ubicación.....	74
4.1.1.2.	Características de la zona de estudio.....	74
4.1.2.	Estudios previos.....	75
4.1.2.1.	Estudios de campo.....	75
4.1.2.1.1.	Exploración de suelos.....	75
4.1.2.1.2.	Plano de las Calicatas.....	75
4.1.2.1.3.	Perfil estratigráfico de la Calicata C-1	76
4.1.2.1.4.	Perfil estratigráfico de la Calicata C-2.....	77
4.1.2.1.5.	Perfil estratigráfico de la Calicata C-3.....	77
4.1.2.2.	Estudios de laboratorio	78
4.1.2.2.1.	Caracterización de materiales.....	79
4.1.2.2.2.	Ensayo de granulometría Calicata C-1	79
4.1.2.2.3.	Ensayo de granulometría Calicata C-2	79
4.1.2.2.4.	Ensayo de granulometría Calicata C-3	80
4.1.2.2.5.	Ensayo de Límites de Atterberg de la Calicata C-1	80
4.1.2.2.6.	Ensayo de Límites de Atterberg de la Calicata C-2	81
4.1.2.2.7.	Ensayo de Límites de Atterberg de la Calicata C-3	82
4.1.2.3.	Diseño de las combinaciones.....	83
4.1.3.	Análisis de la información	85
4.1.3.1.	Cálculo de la plasticidad (IP) de la subrasante.....	85
4.1.3.2.	Medición de la máxima densidad seca (MDS) de la subrasante ..	88

4.1.3.3.	Cuantificación de la capacidad resistente (CBR) de la subrasante	91
4.1.3.4.	Estimación del módulo de resiliencia (Mr) de la subrasante	94
4.1.4.	Resultados de la investigación.....	98
4.1.4.1.	Resultados de la plasticidad (IP) de la subrasante.....	98
4.1.4.2.	Resultados de la máxima densidad seca (MDS) de la subrasante.	99
4.1.4.3.	Resultados de la capacidad resistente (CBR) de la subrasante...	100
4.1.4.4.	Resultados del módulo de resiliencia (Mr) de la subrasante.....	102
4.1.4.5.	Análisis de precios unitarios.....	103
4.1.5.	Contrastación de hipótesis.....	105
4.1.5.1.	Contrastación de la Hipótesis general	105
4.1.5.2.	Contrastación de las Hipótesis específicas	106
4.1.5.2.1.	Primera Hipótesis específica	106
4.1.5.2.2.	Segunda hipótesis específica	107
4.1.5.2.3.	Tercera hipótesis específica	108
4.1.5.2.4.	Cuarta hipótesis específica	108
4.2.	Discusión de resultados.....	109
4.2.1.	Discusión 01: Plasticidad de la subrasante	109
4.2.2.	Discusión 02: Máxima Densidad Seca de la subrasante	110
4.2.3.	Discusión 03: Capacidad Resistente de la subrasante.....	110
4.2.4.	Discusión 04: Módulo de Resiliencia de la subrasante.....	111
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		112
5.1.	Conclusiones	112
5.1.1.	Conclusión 01: Plasticidad de la subrasante estabilizada.....	112
5.1.2.	Conclusión 02: Máxima Densidad Seca de la subrasante estabilizada	112
5.1.3.	Conclusión 03: Capacidad Resistente de la subrasante estabilizada	113
5.1.4.	Conclusión 04: Módulo de resiliencia de la subrasante estabilizada	113
5.1.5.	Conclusión 05: Conclusión general.....	113
5.2.	Recomendaciones	114
5.2.1.	Recomendación 01.....	114
5.2.2.	Recomendación 02.....	114
5.2.3.	Recomendación 03.....	114

5.2.4. Recomendación 04.....	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXOS.....	121
ANEXO 01: Matriz de Consistencia.....	121
ANEXO 02: Instrumento de investigación validado.....	124
ANEXO 03: Imagen satelital – plano de ubicación.....	128
ANEXO 04: Plano de calicatas.....	129
ANEXO 05: Perfiles estratigráficos.....	130
ANEXO 06: Evidencia de Trabajo en Laboratorio	133
ANEXO 07: Evidencia Fotográfica	148
ANEXO 08: Certificado de calibración de equipos	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Aditivos químicos	34
Figura 2: Aplicaciones del Aditivo Conaid	34
Figura 3: Cemento como aditivo	35
Figura 4: Muestras de Clinker.....	37
Figura 5: Detalles de la piedra caliza	37
Figura 6: Puzolana, materiales silíceos	38
Figura 7: Tipos de Cemento Portland.....	39
Figura 8: Cemento Portland Tipo IP	40
Figura 9: Fases de estabilización	41
Figura 10: Proceso Constructivo	41
Figura 11: Frasco de Le Chatelier.....	42
Figura 12: Estabilización con cal.....	50
Figura 13: Estabilización con cemento	51
Figura 14: Estabilización con asfalto	51
Figura 15: Estabilización por compactación	52
Figura 16: Tipos de suelo según SUCS	53
Figura 17: Gráfica de Límite Líquido.....	54
Figura 18: Estructura típica de carreteras flexibles.....	57
Figura 19: Equipo CBR.....	57
Figura 20: Curva esfuerzo vs penetración.....	59
Figura 21: Variación del Mr en función a los ciclos	60
Figura 22: Efecto de la tixotropía en el Mr	60
Figura 23: Relación entre CBR, Mr y AASHTO	61
Figura 24: Mr según al tipo de suelo.....	63
Figura 25: Mapa de la infraestructura de transportes a nivel nacional del año 2018.....	65
Figura 26: Perfil estratigráfico de la calicata C-1.....	76
Figura 27: Perfil estratigráfico de la calicata C-2.....	77
Figura 28: Perfil estratigráfico de la calicata C-3.....	78
Figura 29: Plano de ubicación de la Vía Trapiche.....	128
Figura 30: Plano de calicatas de la Vía Trapiche.....	129
Figura 31: Perfil estratigráfico de la Calicata C-1.....	130
Figura 32: Perfil estratigráfico de la Calicata C-2.....	131

Figura 33: Perfil estratigráfico de la Calicata C-3..... 132

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Curva granulométrica	44
Gráfico 2: Gráfica de plasticidad	55
Gráfico 3: Curva granulométrica - calicata C-1	79
Gráfico 4: Curva granulométrica - calicata C-2	80
Gráfico 5: Curva granulométrica - calicata C-3	80
Gráfico 6: Curva de límite líquido - calicata C-1.....	81
Gráfico 7: Curva de límite líquido - calicata C-2.....	82
Gráfico 8: Curva de límite líquido - calicata C-3.....	83
Gráfico 9: Curva humedad-densidad	89
Gráfico 10: Curvas esfuerzo - penetración.....	92
Gráfico 11: Curvas esfuerzo - penetración.....	93
Gráfico 12: Resultados de plasticidad.....	99
Gráfico 13: Resultados de máxima densidad seca	100
Gráfico 14: Resultados de capacidad resistente.....	101
Gráfico 15: Resultados de módulo de resiliencia	102
Gráfico 16: Análisis comparativo de costos de estabilización con y sin aditivo Conaid y cemento.....	105

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Estado de erosión de la carretera Sicuani - Trapiche.....	21
Fotografía 2. Presencia de charcos en la carretera Sicuani - Trapiche	21
Fotografía 3: Ensayo de Límites de Consistencia	86
Fotografía 4: Ensayo de Límites de Máxima Densidad Seca.....	90
Fotografía 5: Ensayo de CBR	93
Fotografía 6. Tamizado de material obtenido de las calicatas.....	148
Fotografía 7. Obtención de material después del tamizado	148
Fotografía 8. Toma de datos del peso de las muestras.....	149
Fotografía 9. Inserción de muestras en el horno.....	150
Fotografía 10. Colocación de muestra en la probeta	151
Fotografía 11. Toma de datos para plasticidad.....	152
Fotografía 12. Toma de datos del contenido de humedad.....	153
Fotografía 13. Colocación del material grueso en los tamices	154
Fotografía 14. Calibración de la carga.....	155
Fotografía 15. Nivelación de la muestra	156
Fotografía 16. Aplicación de carga.....	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables	26
Tabla 2: Rendimiento del Aditivo Conaid por cuadras	40
Tabla 3: Material máximo retenido (kg)	45
Tabla 4: Precisión estimada	45
Tabla 5: Programas para diseño estadístico factorial	46
Tabla 6: Matriz para un diseño factorial 2^k	48
Tabla 7: Nomenclatura para las respuestas	48
Tabla 8: Efectividad de estabilidad	50
Tabla 9: Pérdida máxima aceptable.....	51
Tabla 10: Peso específico y adición de asfalto	51
Tabla 11: Calicatas en subrasante.....	52
Tabla 12: Ejemplo de límite plástico.....	54
Tabla 13: Categoría de subrasante.....	56
Tabla 14: Penetraciones a ser leídas.....	58
Tabla 15: Presión de penetración	58
Tabla 16: Correlación entre el Mr y el CBR	61
Tabla 17: Mr en función al OCH y la MDS.....	63
Tabla 18: Estado de transitabilidad	64
Tabla 19: Requisitos granulométricos de los agregados.	66
Tabla 20: Distribución de muestras	70
Tabla 21: Rango de validez	72
Tabla 22: Resumen de validadores.....	72
Tabla 23: Número de calicatas de exploración para una vía de tercera clase.....	75
Tabla 24: Diseño de combinaciones.....	84
Tabla 25: Combinaciones estudiadas	84
Tabla 26: Resumen del análisis de límite líquido	87
Tabla 27: Resumen del análisis de límite plástico.....	87
Tabla 28: Resumen del cálculo de plasticidad.....	87
Tabla 29: Resumen de la medición de Máxima Densidad Seca.....	91
Tabla 30: Resumen de la cuantificación de la Capacidad Resistente Potencial...93	
Tabla 31: Resumen de la estimación del Módulo de Resiliencia	98
Tabla 32: Resultados de plasticidad	98
Tabla 33: Resultados de máxima densidad seca	99

Tabla 34: Resultados de capacidad resistente	101
Tabla 35: Resultados de módulo de resiliencia	102
Tabla 36: Análisis de costos unitarios de la estabilización de subrasante sin aditivo Conaid ni cemento.....	103
Tabla 37: Análisis de costos unitarios de la estabilización de subrasante con aditivo Conaid y cemento	104
Tabla 38: Contrastación de hipótesis general	106
Tabla 39: Contrastación de hipótesis específica 1.....	106
Tabla 40: Contrastación de hipótesis específica 2.....	107
Tabla 41: Contrastación de hipótesis específica 3.....	108
Tabla 42: Contrastación de hipótesis específica 4.....	108
Tabla 43: Matriz de Consistencia	121
Tabla 44: Formato de validación de instrumento.....	124
Tabla 45: Instrumento validado por el especialista A	125
Tabla 46: Instrumento validado por el especialista B	126
Tabla 47: Instrumento validado por el especialista C	127

RESUMEN

La presente investigación denominada “estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani – Trapiche, Canchis, Cusco 2022”, tuvo como objetivo principal el analizar cómo influye la adición de cemento y aditivo Conaid para la estabilización de subrasantes de caminos vecinales en el tramo Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco en el año 2022. La metodología aplicada se basó en el enfoque del método hipotético deductivo, siendo de tipo aplicado, con un enfoque descriptivo y diseño experimental.

Los resultados obtenidos indicaron que la variación en la estabilidad de la subrasante al agregar cemento y aditivo Conaid fue significativa, mostrando incrementos del 100%, 228%, 309%, y 420% para las dosificaciones M0 (100% Suelo + 0% Cemento + 0% Aditivo), M1 (96.5% Suelo + 1% Cemento + 2.5% Aditivo), M2 (92% Suelo + 3% Cemento + 5% Aditivo) y M3 (87.5% Suelo + 5% Cemento + 7.5% Aditivo), respectivamente. La dosificación M3 (87.5% Suelo + 5% Cemento + 7.5% Aditivo) presentó la mayor mejora en la estabilidad con un aumento del $420\% \pm 0.9924\%$, y se observó que, para dosificaciones mayores, esta mejora tendía a disminuir.

Palabras Clave: Conaid / Diseño Factorial / Capacidad Resistente / Módulo Resiliente / Subrasante

ABSTRACT

The present research entitled "stabilization of subgrades with cement and additive Conaid in neighborhood roads, Sicuani – Trapiche highway, Canchis, Cusco 2022", had as main objective to analyze the influence of the addition of cement and additive Conaid in the stabilization of subgrades of neighborhood roads on the Sicuani - Trapiche highway, Canchis, Cusco in the year 2022. The applied methodology was based on the hypothetical deductive method, being of applied type, with a descriptive approach and experimental design.

The results obtained indicated that the variation in the stability of the subgrade when adding cement and additive Conaid was significant, showing increases of 100%, 228%, 309%, and 420% for the dosages M0 (100% Soil + 0% Cement + 0% Additive), M1 (96.5% Soil + 1% Cement + 2.5% Additive), M2 (92% Soil + 3% Cement + 5% Additive) and M3 (87.5% Soil + 5% Cement + 7.5% Additive), respectively. The M3 dosage (87.5% Soil + 5% Cement + 7.5% Additive) presented the greatest improvement in stability with an increase of 420% \pm 0.9924%, and it was observed that for higher dosages, this improvement tended to decrease.

Keywords: Conaid / Factorial Design / Resilient Capacity / Resilient Module / Subgrade

INTRODUCCIÓN

Las zonas que presentan alto flujo de tránsito y constantes precipitaciones pluviales a lo largo de las estaciones del año, afectan al estado y deterioro de las carreteras, llegando así a la necesidad de buscar alguna alternativa de solución para no obstruir las actividades que desarrollan los pobladores de la zona; por otro lado, el Banco de Desarrollo de América Latina hace referencia a que el grado de deterioro y desarrollo de las carreteras en América Latina depende del ámbito geográfico de cada país, con lo cual cada uno de ellos enfrenta diferentes desafíos a la hora de ejecutar la estructura de las vías de transporte, una causa del deterioro se ve presente en la mala distribución de recursos internos de un país para llevar a cabo el mantenimiento. Dentro de cada país existen diferencias geográficas y de desarrollo, ya que, en las zonas capitales existe la mayor red de pavimentación y en zonas rurales solo se encuentran a nivel de trocha carrozable o lastrado, siendo este un componente importante en el desarrollo de las áreas rurales. El MTC PROVIAS NACIONAL menciona que las zonas más afectadas imposibilitan a los pobladores tener condiciones de vida favorables, causándoles daños económicos y en la salud debido a los diferentes contaminantes traídos por los vientos y lluvias que se quedan atrapados en los charcos de las carreteras y en sus sembríos.

La investigación en cuestión denominada “estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani – Trapiche, Canchis, Cusco 2022” busca solucionar el problema de la estabilidad de la subrasante de este camino vecinal del Centro Poblado de Trapiche. En su desarrollo se revisa teorías de Sinarahua; Cuzco; Auccalla & Valenzuela; Fernandez; Carranza & Fernandez como referentes nacionales y a Watson & Manrique; Ospina & Chavez & Jimenez; Llano & Rios & Restrego; Alarcon & Jimenez & Benitez; Rivera & Aguirre; Mejía & Orobio como referentes internacionales, los cuales están relacionados con las variables planteadas “VD: Estabilización de subrasantes” y “VI: Cemento y aditivo Conaid”. Durante el desarrollo de esta investigación se buscó conocer el comportamiento de la

subrasante de este tramo luego de su estabilización, con lo cual se obtiene el siguiente resultado: la mayor variación de la estabilidad se da con la dosificación de $M_3(87.5\%S + 5\%C + 7.5\%A)$ con una variación de estabilidad de $420\% \pm 0.9924\%$; y finalmente se concluye que el Conaid es el agente estabilizador principal de la subrasante.

La importancia de esta investigación radica en que contribuye en una nueva forma de estabilización de caminos mediante la incorporación del diseño factorial en la combinación de cemento y aditivo Conaid, el cual solucionará el problema de la estabilidad del camino vecinal Trapiche – Sicuani, contribuyendo al desarrollo de los pobladores.

La investigación se compone de los capítulos siguientes:

Capítulo I: En este acápite se detalla el planteamiento del problema al que se enfrenta la carretera Trapiche – Sicuani, los objetivos para darle solución mediante la adición de cemento y Conaid y la delimitación de tiempo (2022) y espacio (Trapiche - Sicuani).

Capítulo II: Se desarrolla toda la teoría aplicada en la investigación en función de las variables “Estabilidad” y “Cemento y Aditivo Conaid”, las propiedades de estos y la explicación de sus parámetros de medición.

Capítulo III: Se establece una hipótesis de la variación del comportamiento de la subrasante frente a la adición de cemento y el aditivo Conaid para efectos de estabilización, se operacionaliza las variables de estudio para la definición de sus dimensiones e indicadores.

Capítulo IV: Se desarrolla el aspecto metodológico basado en un enfoque hipotético-deductivo de naturaleza aplicada, descriptiva y con un diseño experimental. La población estudiada está comprendida por un total de 216 unidades, y se ha diseñado una ficha de recolección de datos específicamente para la recopilación de información.

Capítulo V: Se analiza los datos de campo y laboratorio en función a las dosificaciones planteadas y las variables establecidas, llegando así a obtener una respuesta final a las hipótesis planteadas.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Las zonas que presentan alto flujo de tránsito y constantes precipitaciones pluviales a lo largo de las estaciones del año, afectan al estado y deterioro de las carreteras, llegando así a la necesidad de buscar alguna alternativa de solución sin necesidad de llegar a pavimentar para no obstruir las actividades que desarrollan los pobladores por un largo tiempo, gracias a la presencia de esta carretera.

Según el CAF, el grado de deterioro y progreso de las carreteras en Latinoamérica depende de la geografía de cada país, con lo cual cada uno de ellos enfrenta diferentes desafíos a la hora de ejecutar la estructura de las vías de transporte para la movilización de carga y personas. A lo largo de Latino América y El Caribe existe un aproximado de tres millones de kilómetros en carreteras; sin embargo, solo el 21.8% ha sido pavimentado y dicha pavimentación no es homogénea, existen países como Brasil que solo tiene el 15% de su red pavimentada, Argentina, Chile, El Salvador, Guatemala, México, Perú y Venezuela con el 25-35% de sus redes pavimentadas y en relación con Europa, Portugal y España poseen el 80% de sus redes bien pavimentadas. Según Corrales et al, una causa del deterioro se ve presente en la mala distribución de recursos internos de un país para llevar a cabo el mantenimiento rutinario, periódico y anual, siendo esto reflejado en un 50% de carreteras de estado regular-malo. Dentro de cada país también existen diferencias geográficas y diferencias de desarrollo, ya que, en las zonas capitales existe la mayor red de pavimentación y en zonas rurales solo se encuentran a nivel de trocha carrozable o lastrado, siendo este un factor importante para el desarrollo. (1)

Según el MTC PROVIAS NACIONAL al año 2021 se cuenta con 27041Km de red nacional, del cual solo el 67% se encuentra en estado bueno y a partir de ello aún existe el 17.23% sin pavimentar, generando retrasos en el desarrollo rural, afectando también en el PBI. Las zonas más afectadas

imposibilitan a los pobladores a mejorar su calidad de vida a gran escala, causándoles daños no solo en la economía sino también en la salud debido a los diferentes contaminantes traídos por los vientos y lluvias que se quedan atrapados en los charcos de las carreteras y llevados por el polvo del viento a sus productos y sembríos. Una causa de estos problemas de pavimentación es la expropiación de terrenos, con lo cual incrementa el costo del proyecto y finalmente no se lleva a cabo o causa retrasos en su ejecución; por otro lado, también los pobladores no desean ceder parte de sus terrenos al gobierno para mejorar la calidad de las vías, esto es reflejo de los abusos que años anteriores ocurrieron por parte de empresas mineras que ofreciendo desarrollo y mejora en la calidad de su vida solo les trajo destrucción de sus sembríos y hoy en día tratan de volver a sustentarse, con lo cual se explica el miedo de las personas al ver el ingreso y promesas de mejoras. (2)

En base a la información presentada en el anterior acápite, se planteó el siguiente problema presente en la subrasante del camino vecinal Sicuani – Trapiche, provincia de Canchis, el cual presenta un grave deterioro a nivel de subrasante reflejado en las pozas existentes aun sin la necesidad de precipitaciones, la obstrucción vehicular es evidente por la falta de homogeneidad en la subrasante, los vehículos que circulan por la zona presentan averías al no estar elaboradas para este tipo de vías en estado decadente, ello ocurre desde el año 2015 cuando el gobierno a cargo realizó el afirmado de la carretera; sin embargo, en menos de una semana ya presentaba desperfectos que se ven hasta el día de hoy. Esto ocurre debido al mal diseño estructural y malas prácticas constructivas acompañadas de una constante precipitación y la circulación de vehículos pesados, cabe mencionar que al ser un camino vecinal con afirmado como carpeta de rodadura no está diseñado para el tránsito de vehículos pesados, pero es de necesidad para los pobladores ya que es una de las formas en la cual exportan sus productos, perjudicando así al desarrollo de los pobladores de la zona de Trapiche que viven el día a día con esta forma de negocio. Otro aspecto a analizar es el hecho de los mantenimientos periódicos deficientes, los cuales no son llevados a cabo con una adecuada gestión. Al ser un camino de tránsito medianamente fluido, no se puede volver a realizar el diseño y reconstruir el camino; una forma más eficiente, rápida y efectiva de solucionar este problema es estabilizando la subrasante del camino vecinal aplicando aditivos que incrementen la capacidad portante e impermeabilización del suelo para permitir el tránsito fluido de los vehículos.

Fotografía 1. Estado de erosión de la carretera Sicuani - Trapiche



Fuente: elaboración propia (2022)

Fotografía 2. Presencia de charcos en la carretera Sicuani - Trapiche



Fuente: elaboración propia (2022)

En función a la problemática desarrollada, se presenta el siguiente problema general y específicos:

1.1.1. Problema general

¿Cuánto varía la estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022?

1.1.2. Problemas específicos

PE1: ¿Cuánto varía la plasticidad con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022?

PE2: ¿Cuánto varía la máxima densidad seca con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022?

PE3: ¿Cuánto varía la capacidad de resistencia potencial con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022?

PE4: ¿Cuánto varía el módulo de resiliencia con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la variación de la estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

1.2.2. Objetivos específicos

OE1: Calcular la variación de la plasticidad con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

OE2: Medir la variación de la máxima densidad seca con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

OE3: Cuantificar la variación de la capacidad de resistencia potencial con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

OE4: Estimar la variación del módulo de resiliencia con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación teórica

La justificación teórica de la investigación en cuestión se centra en la mejora de la infraestructura de los sectores rurales, donde los caminos vecinales desempeñaron un papel importante en la conectividad y el desarrollo socioeconómico de las comunidades aledañas. La utilización de cemento y el aditivo Conaid en la estabilización de subrasantes representó una alternativa potencialmente eficaz y sostenible para fortalecer la resistencia y durabilidad de estas vías, lo que pudo traducirse en una reducción de costos de mantenimiento y un acceso más seguro y eficiente para la población. Esta investigación se apoyó en fundamentos teóricos relacionados con la ingeniería de carreteras, la mejora de la infraestructura rural y los avances en tecnologías de estabilización de suelos, contribuyendo así al conocimiento y la aplicación práctica en un contexto geográfico específico como Canchis, Cusco.

1.3.2. Justificación práctica

La justificación práctica radicó en la urgente necesidad de mejorar la infraestructura vial en zonas rurales de Canchis, Cusco, donde los caminos vecinales desempeñaban un papel crítico en la conectividad y el desarrollo económico local. La aplicación exitosa de técnicas de estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid tenía el potencial de incrementar la resistencia y durabilidad de estas vías, lo que no solo reduciría los costos de mantenimiento a largo plazo, sino que también mejoraría significativamente la accesibilidad de las comunidades a servicios básicos como son la salud, educación, y el transporte de productos agrícolas. Esta investigación buscó proporcionar soluciones prácticas y viables para la mejora de la infraestructura vial en un contexto geográfico específico, beneficiando directamente a la población local y contribuyendo al desarrollo sostenible nuestra región.

1.3.3. Justificación metodológica

La presente investigación se realizó pruebas detallada mediante un procedimiento ordenado y sistematizado, de esta manera se analizó el suelo a través de pruebas de laboratorio que proporcionan con mayor precisión la data sobre los componentes y propiedades de la subrasante estabilizada con los aditivos propuestos y se tomó en cuenta el Manual de Carreteras MC-06-16 Ensayo de Materiales.

1.3.4. Importancia

La importancia de esta investigación radica en el planteamiento de una alternativa para la estabilización y mejora de las vías vecinales de las zonas altoandinas de la Comunidad de Trapiche y el distrito de Sicuani, logrando de tal forma el flujo libre de las personas y los vehículos por dicha vía, incrementando el desarrollo poblacional de exportación de productos nativos, ya que, al tener una vía bien estabilizada con una buena Capacidad Resistente Potencial sin necesidad de pavimentación, se reduce los gastos del gobierno a cargo, pero mejorando la economía de su población. Empezando por los pobladores, los cuales serán beneficiados indirectamente, por ejemplo el hecho de que no se generen charcos de barro ni levantamiento de polvo, ya no será necesario que gasten agua innecesariamente para lavar a cada instante sus prendas, en el caso del transporte de sus productos, si contratan algún transporte, este les cobrará una menor cantidad, ya que no hará uso de mucha gasolina para llevar los productos, podrán ser transportados en menor tiempo llegando a optimizar de mejor forma el tiempo productivo de los pobladores.

Los resultados servirán como alternativa de solución para estabilizar la subrasante del camino vecinal Comunidad Trapiche – Sicuani y también como base para realizar estudios en vías aledañas e incluso dentro de la provincia de Canchis, ya que casi toda su geografía y topografía es similar.

1.4. Delimitación

1.4.1. Delimitación conceptual

En el presente trabajo de investigación aplica las normas y teorías referentes a la estabilización de suelos y subrasantes de caminos vecinales, haciendo uso de normas como el: Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos MC-05-14 y el Manual Ensayo de Materiales MC-06-16, luego se realizó el análisis de la influencia y relación existente entre la dosificación de los aditivos Conaid y cemento, y el grado de estabilización de la subrasante.

1.4.2. Delimitación espacial

Esta investigación se da lugar en la Comunidad Trapiche, distrito de Sicuani; provincia de Canchis y región del Cusco.

1.4.3. Delimitación temporal

La información recopilada corresponde a un periodo de 7 años de presencia del problema, siendo el tiempo de estudio desde el 2015 hasta el presente año, octubre del 2022.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1. Hipótesis

1.5.1.1. Hipótesis general

La estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid varía el comportamiento del mismo en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

1.5.1.2. Hipótesis específicas

HE1: La plasticidad con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

HE2: La máxima densidad seca con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

HE3: La capacidad de resistencia potencial con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

HE4: El módulo de resiliencia con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

1.5.2. Variables

1.5.2.1. Variable independiente

Cemento y aditivo Conaid

Definición conceptual:

El aditivo Conaid es un estabilizador químico líquido especializado para la mejora de suelos con un mínimo de 5% de arcilla, llegando a mejorar sus propiedades físicas con una mejor compacidad y trabajabilidad, además es eco-amigable. (3)

El cemento es un material altamente resistente a la compresión con una buena trabajabilidad e incremento de su resistencia sin límite. (4)

Definición operacional:

Se realizará un diseño factorial para identificar la dosificación de cemento y aditivo Conaid que se le colocará en las muestras obtenidas de las tres calicatas de subrasante, así como también se realizará un ensayo de análisis granulométrico y peso específico para determinar las propiedades iniciales y poder realizar un buen diseño.

1.5.2.2. Variable dependiente

Estabilización de subrasantes

Definición conceptual:

Se refiere a un proceso que busca mejorar la resistencia de la capa de suelo ubicada debajo de una carretera conocida como subrasante. Este proceso implica la manipulación de parámetros como el IP, MDS, CBR, y el Mr. La estabilización de subrasantes busca ajustar estos parámetros mediante la adición de materiales como aditivos para garantizar una base sólida para la construcción de carreteras. (5)

Definición operacional:

Se llevarán a cabo análisis de laboratorio a través de ensayos granulométricos y Límites de Consistencia. Posterior a estos se continuará con los ensayos de próctor modificado y CBR en el laboratorio para determinar sus características de compactación. Además, se aplicará una correlación propuesta por Powell con el fin de calcular el módulo de resiliencia del suelo.

1.5.2.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Escala
VI: Cemento y aditivo Conaid	El aditivo Conaid es un agente estabilizador químico líquido especializado para la mejora de suelos	Se realizará un diseño factorial para identificar la dosificación de cemento y aditivo Conaid	D1: Peso específico	I1: < 3100 kg/m ³	ASTM C 188-95 y AASHTO T-133 Peso específico del cemento	Razón
				I2: 3100 kg/m ³ - 3200 kg/m ³		
				I3: > 3200 kg/m ³		
			D2: Granulometría	I1: Grueso I2: Mediano	ASTM C136	Razón

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Escala
	con un mínimo de 5% de arcilla, llegando a mejorar sus propiedades físicas con una mejor compacidad y trabajabilidad, además es eco-amigable. (3) El cemento es un material altamente resistente a la compresión con una buena trabajabilidad e incremento de su resistencia sin límite. (4)	que se le colocará en las muestras obtenidas de las tres calicatas de subrasante, así como también se realizará un ensayo de análisis granulométrico y peso específico para determinar las propiedades iniciales y poder realizar un buen diseño.	D3: Dosificación	I3: Fino I1: 1% C + 2.5% A I2: 3% C + 5% A I3: 5% C + 7.5% A	Granulometría del cemento Balanza	Razón
VD: Estabilización de subrasantes	Se refiere a un proceso que busca mejorar la resistencia de la capa de suelo ubicada debajo de una carretera conocida como subrasante. Este proceso implica la manipulación de parámetros como el IP, MDS, CBR, y el Mr. La estabilización de subrasantes busca ajustar estos parámetros mediante la adición de materiales como aditivos para garantizar una base sólida para la construcción de carreteras. (5)	Se llevarán a cabo análisis de laboratorio a través de ensayos de granulometría y Límites de Consistencia. A continuación, se procederá con ensayos de próctor modificado y CBR en el laboratorio para determinar sus características de compactación y. Además, se aplicará una correlación propuesta por Powell con el fin de calcular el módulo de resiliencia del suelo.	D1: Plasticidad	I1: Baja 4 – 15 I2: Media 16 – 30 I3: Alta ≥ 31	MTC E 111 Ensayo de índice de Plasticidad	Intervalo
			D2: Máxima densidad seca	I1: Suelto I2: Medio I3: Denso	MTC E 115 Ensayo de Proctor modificado	Intervalo
			D3: Capacidad de resistencia potencial	I1: Calidad baja I2: Calidad regular I3: Calidad alta	MTC E 132 Ensayo CBR	Intervalo
			D4: Módulo de resiliencia	I1: Baja absorción de energía I2: Absorción media de energía I3: Alta absorción de energía	Ecuación de Powell et al. (1984) y NCHRP (2004) TRRL ME Pavement Design Guide Level 2 USA	Intervalo

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Sinarahua (2021) en su tesis de grado titulado “Evaluación de aditivos Perma Zyme 30X y Conaid para la estabilización de subrasante en vías urbanas no pavimentadas de la urbanización Urrunaga Sector 1 en el distrito de José Leonardo Ortiz, Chiclayo 2020” fijaron como **objetivos** comparar los aditivos Conaid y Perma 30x como estabilizantes de la subrasante de la Urb. Urrunaga, la **metodología** usada es de tipo aplicada, con un diseño experimental con 7 unidades muestrales por cada aditivo, para determinar el CBR identificando el DSM y OCH y la resistencia a la compresión, obtuvieron los siguientes **resultados**: la MDS para dosificaciones de 0.15cm³, 0.18cm³, 0.21cm³, 0.24cm³ y 0.27cm³ por 60cm³ de agua, en dichos resultados se observa que luego de estabilizarlo presentaba una DSM de 2.054g/cm³ para el cálculo del CBR, las cuales fueron 0.15cm³, 0.18cm³, 0.21cm³, 0.24cm³ y 0.27cm³ por 60cm³ de agua, en dichos resultados se observa que luego de estabilizarlo presentaba un CBR de 11.50% al 100% de la MDS y un CBR de 8% al 95% de la MDS y presentaba una resistencia al corte de 0.36kg/cm², finalmente se **concluye** que estos aditivos químicos mejoran las propiedades de la subrasante. (6)

Cuzco (2019) en su tesis de grado de titulado “Mejoramiento de la subrasante incorporando el estabilizador cemento Portland Tipo I, en la Asociación los Rosales II, distrito de Carabaylo, 2019”, fijó como **objetivos** la evaluación del desempeño del suelo arcilloso con contenido de limo adicionando cemento Portland Tipo I como agente estabilizador. Este proceso de estabilización tiene como finalidad principal lograr la pavimentación adecuada de la Asociación Los Rosales en Carabaylo. Utilizando una **metodología** basada en el enfoque científico, de naturaleza aplicada debido a la previa identificación del problema en la carretera, descriptiva y respaldada por un diseño experimental transversal, se

procederá a incorporar el cemento en tres proporciones distintas: 1%, 1.5% y 2% en relación al peso del material. Estas proporciones se someterán a evaluación mediante pruebas de CBR, ensayos de resistencia a la compresión, y un análisis de contenido de sulfatos, obtuvo los siguientes **resultados**: la MDS se registró a 1.804 g/cm³, el OCH se situó en 16.5%, y el valor del CBR al alcanzar el 100% de la MDS se estableció en 7.2%, mientras que para un 95% de CBR se obtuvo un valor de 4.9%, llegando finalmente a las **conclusiones** de que al incorporar 1% de cemento, se obtiene los mejores resultados, siendo el CBR al 100% de 4.9% de MDS y una cohesión de 2.45kg/cm². (7)

Auccalla y Valenzuela (2019) en su tesis de grado titulado “Estabilización de la Sub rasante de suelos arcillosos, aplicando la cal con cemento en el tramo de san José-Chichizu, Junín 2019”, fijó como **objetivos**: calcular el índice de plasticidad, evaluar la resistencia del suelo e identificar el contenido de humedad más adecuado para la estabilizar una subrasante con cal y cemento en el segmento vial San Jose - Chichizu, ubicado en la región de Junín. Aplicando una **metodología**: del tipo experimental ya que modifica las muestras directamente, mediante el uso de las normas MTC E107, ASTM D4318, MTC E115, ASTM D1557, MTC E132 Y ASTM D1883, aplicando una dosificación de 10%, 13% y 16% de cemento y 3%,5% y 7% de cal hidratada, obtuvo los **resultados** siguiente: en cuanto al análisis granulométrico: para la calicata 1 un 21.9% de arena + 78.1% de finos, para la calicata 2 un 20.9% de arena + 79.1% de finos y para la calicata 3 un 24.4% de arena + un 75.6% de finos con lo cual son suelos del tipo CH (altamente plástico) según la clasificación SUCS; A partir de los resultados del ensayo de Proctor modificado en el suelo original, se obtiene lo siguiente: en la primera calicata, se alcanza una máxima densidad seca de 1.761 gr/cm³ con un contenido de humedad óptimo de 15.60%. En la segunda calicata, se registra una máxima densidad seca de 1.760 gr/cm³ con un contenido de humedad óptimo de 15.00%. Por último, en la tercera calicata, se obtiene una máxima densidad seca de 1.752 gr/cm³ con un contenido de humedad óptimo de 15.70%; para el ensayo CBR la calicata 1 al 95% de MDS alcanza 3.7 gr/cm³ y al 100% de MDS alcanza 4.7 gr/cm³, la calicata 2 al 95% de MDS alcanza 2.7 gr/cm³ y al 100% de MDS alcanza 3.7 gr/cm³ y la calicata 3 al 95% del MDS alcanza 2.8 gr/cm³ y al 100% de MDS alcanza 3.7 gr/cm³; llegando finalmente a las **conclusiones** de que al añadir el cemento como aditivo se incrementa el CBR en 15.4%, 21.6% y 25.1%, al aplicarle cal se incrementa la óptimo contenido de humedad en 15.43%, siendo estos provenientes de la dosificación de 5% de cemento con 10% de cal. (8)

Fernandez (2018) en su tesis de grado titulado “Estabilización de subrasante con material de demoliciones en avenida Malecón Checa, San Juan de Lurigancho en el 2017”, fijó como **objetivos** la estimación, evaluación y examen del impacto generado por las demoliciones de pavimentos al utilizarlos como agentes estabilizantes en la subrasante, haciendo uso de la **metodología** aplicada, descriptiva y aplicando el método científico, en las muestras iniciales se le aplicará una estabilización con estos desperdicios y para verificar la variación se realizarán las pruebas de granulometría, CBR, límites de Atterberg, con lo cual se definirá las propiedades del suelo y la mejor elección del material de demolición a utilizar, llegando así a los siguientes **resultados**: el suelo se clasifica en arena limosa con partículas de grava, la DSM del suelo natural es 2.218 gr/cm³, con 10% de material de demolición es 2.170 gr/cm³, con 20% de material de demolición es 2.170 gr/cm³ y con 30% de material de demolición es 2.158 gr/cm³; el COH del suelo natural es 8%, con 10% de material de demolición es 6.50%, con 20% de material de demolición es 6.50% y con 30% de material de demolición es 6.70%. Finalmente, se **concluye** que la demolición como estabilizador influye positivamente en la subrasante, teniendo que al 20% de dosificación se obtiene los mejores resultados de CBR. (9)

Carranza y Fernandez (2018) en su tesis de grado titulado “Aplicación de los aditivos proes y Conaid para mejorar la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante en la vía de acceso al C.P. Barraza, Laredo, La Libertad-2018” fijaron como **objetivos** identificar el impacto de los aditivos químicos PROES y Conaid en las características mecánicas del suelo, y realizar una comparativa entre estos dos aditivos para evaluar cuál de ellos produce los resultados más convenientes en lo que respecta al valor del CBR, Proctor Modificado y el ensayo de Compresión Simple No Confinada en el contexto de la subrasante, aplicaron una **metodología** de diseño bifactorial con las dosificaciones de 0.35 l/m³, 0.30 l/m³, 0.10 l/m³ y 0.05 l/m³, con una población de 60 unidades muestrales, se llevó a cabo 8 calicatas, llegando así a los siguientes **resultados**: la calicata 8 al colocarle 0.35 m/l³ de Proes y 0.05 m/l³ de Conaid nos dan los mejores resultados, siendo la MDS de 2.15 g/cm³ y el OCH de 13.10% para el aditivo Proes y para el Conaid un MDS de 2.06 gr/cm³ y un OCH de 12.00 gr/cm³. Finalmente se llega a la **conclusión** de que la adición de estos aditivos mejora las propiedades de la subrasante. (10)

2.1.2. Antecedentes internacionales

Watson & Manrique (2021) en su tesis de grado titulado “Dimensionamiento de estructuras de pavimento en función del contenido de cal

o cemento en la subrasante” fijaron como **objetivos** llevar a cabo un análisis del espesor de las capas de la vía Sabana y como estas se ven influidas al incorporar cemento y cal por separado, para su posterior comparación con INVIAS, se utilizó una **metodología** del tipo aplicado a nivel descriptivo primero se identificó el CBR al estado natural para la obtención del Mr al estado natural, seguidamente el análisis del CBR y Mr con el suelo ya estabilizado tanto con cal como con cemento alcanzando así los siguientes **resultados**: la dosificación fue de 3%, 4%, 5% y 6% de cemento con un CBR de 7%, 10%, 18% y 22% respectivamente y un Mr de 8876.7psi, 11153psi, 16246.7psi y 18473.2psi respectivamente, llegando a la **conclusión** de que al adicionarle 5% de cemento se observa los mejores resultados. (11)

Ospina, Chavez y Jimenez (2021) en su artículo de investigación titulado “Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero” fijaron como **objetivos** llevar a cabo una evaluación técnica de la combinación entre un suelo natural utilizado como subrasante y la inclusión de escoria de acero mediante una **metodología** experimental de pruebas mecánicas para comparar los **resultados** que se obtengan en base a la normativa del INVIAS para tener un mejor panorama de las ventajas y desventajas de este aditivo, el proyecto se desarrolla en tres etapas: inicialmente se lleva a cabo la recopilación de muestras, luego se determinan las proporciones y, por último, se ejecutan los ensayos. La fuente de la escoria de acero provino de la compañía Acerías Paz, el plan de dosificación se basó en colocar un cierto porcentaje de escoria en cada tamiz con un aumento gradual de 25, 50 y 75%, luego se alcanzó los siguientes resultados: para la muestra 1 una DSM de 1.46 gr/cm³ y un OCH de 11.9%, para la muestra 2 una DSM de 1.56 gr/cm³ y un OCH de 16.5% y para la muestra 3 una DSM de 1.37 gr/cm³ con un OCH de 31%. finalmente llegando a las **conclusiones** de que la escoria de acería funciona en suelos arcillosos incrementando el CBR hasta un 378.92% gracias a la adherencia que le transmite. (12)

Llano, Rios y Restrego (2020) en su artículo de investigación titulado “Evaluación de tecnologías para la estabilización de suelos viales empleando intemperismo acelerado. Una estrategia de análisis de impactos sobre la biodiversidad”, fijaron como **objetivos**: la evaluación de las propiedades físicas mecánicas en intemperie al tratarlo con productos químicos para medir la resistencia a la compresión última, la **metodología** aplicada en la mencionada investigación es de un nivel descriptivo y experimental haciendo uso de una muestra de suelo natural arcilloso de una vía sin pavimentar con aplicación de aditivos, obteniendo como **resultados** para la determinación de la densidad

húmeda en suelos, ensayo de Proctor llegando a un OCH de 22% para suelo natural, 21% para suelo + aceite, 22% para suelo + polímero, 20% para suelo + enzima, 20% para suelo + silano, 22% para suelo + cal y 20% para suelo + cemento, finalmente llegando a la **conclusión** de que no es factible realizar una comparación directa entre los agentes estabilizadores, debido a que su efectividad está condicionada por las características originales del suelo. (13)

Alarcon, Jimenez y Benitez (2020) en su artículo de investigación titulado “Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso” fijaron como **objetivos** realizar un análisis de factibilidad del uso de lodo aceitoso como agente estabilizante tanto en suelos de material granular como subrasantes arcillosas buscando el incremento y mejora de las propiedades mecánicas del suelo como son la resistencia a la carga aplicada y la plasticidad, por otro lado se busca mitigar los residuos contaminantes del petróleo aprovechando estos mismos, haciendo uso de cuatro etapas en su **metodología**, primero una revisión del estado de arte respecto a todos los aditivos estabilizantes usados con anterioridad, segundo la recolección de muestras y materiales necesarios para llevar a cabo la investigación, tercero la implementación del lodo aceitoso como estabilizante en la muestras, cuarto el análisis técnico, práctico y económico mediante los ensayos de la norma colombiana, llegando así a los siguientes **resultados**: el afirmado presenta similitudes con la categoría A-25 de acuerdo a la clasificación del INVIAS, y en términos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se clasifica como un suelo con características limosas. Además, su CBR promedio oscila entre el rango del 30% al 90% en relación a la densidad seca, y exhibe una expansión máxima de 0.44%. Estas características no representan mayores desafíos para la construcción del pavimento, la subrasante presenta un 1.92 gr/cm³ de densidad seca máxima con un COH de 12%, al agregar el lodo aceitoso en un 4% presenta los mejores resultados incrementando el CBR en un 30% con un curado de 14 días llega hasta 52%. Finalmente, se **concluye** que es importante el curado para ver el correcto incremento de CBR y módulo resiliente, el lodo aceitoso por ende tiene un efecto positivo en la estabilización al volverla impermeable garantizando las propiedades internas de la subrasante. (14)

Rivera, Aguirre, Mejía y Orobio (2020) en su artículo de investigación titulado “Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente” fijaron como **objetivos** establecer una correlación entre los elementos estabilizantes y la viabilidad técnica como ambiental para considerar alternativa sostenible al uso de estos estabilizadores, haciendo uso de la **metodología** en base a la recolección de datos científicos de Scopus y Elsevier,

donde los materiales tradicionales utilizados son el cemento portland, cenizas volantes, escorias y sales y por métodos químicos mediante el uso de la activación alcalina, llegando así a los siguientes **resultados**: con aplicación de cal se incrementa el CBR en un 3% con dosificaciones inferiores a 8% de cal, al adicionar hasta 5% de cenizas volantes se presenta un incremento del CBR en cada capa de la estructura de la carretera, al adicionar sales entre un 2-10% de dosificación se incrementa las propiedades del suelo hasta un 10% de CBR. Finalmente, se **concluye** que a medida que ha pasado el tiempo se ha ido suelos con estabilizadores físicos como químicos, llegando hasta conseguir algunos eco amigables generando una homogeneidad en el suelo y el ambiente. (15)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aditivo Conaid y Cemento

Los aditivos son químicos que se le añaden a diferentes materiales antes de su colocación con la finalidad de mejorar o reducir algunas propiedades que tengan inherentes y sean necesarias para una correcta manejabilidad, pero sin llegar a considerarlo un sustituto al hora de realizar los diseños respectivos con buenos materiales y un personal capacitado, entre las propiedades que se suelen incrementar en suelos se tiene la trabajabilidad, impermeabilizar, incrementar la resistencia y mejorar la durabilidad, generando consecuencias secundarias como: menor gasto en mano de obra, reductor del consumo de combustible en vehículos, menor costo en amortización de equipos, beneficios en fletes, optimización de retrasos, incremento de la calidad y mejores condiciones de vida de la población. (16)

Los aditivos son sustancias o materiales que al incorporarse al suelo estas mejoran sus propiedades físico-químicas o biológicas. Estos aditivos pueden incluir compuestos orgánicos como el compost o estiércol, minerales como la cal o el yeso, o incluso productos químicos diseñados específicamente para modificar la estructura del suelo. La adición de estos aditivos puede ayudar a aumentar la fertilidad del suelo, mejorar la capacidad de retener agua, ajustar su pH o corregir problemas de compactación, lo que en última instancia promueve un ambiente más saludable para el crecimiento de plantas y cultivos.

Figura 1: Aditivos químicos



Fuente: Zaditivos (2021)

El aditivo Conaid, es un aditivo especializado usado para estabilizar suelos, es decir la subrasante de las carreteras, siendo capaz de estabilizarlo en cada una de sus capas conformantes de la estructura, dicho aditivo solo es aplicable a suelos con un mínimo de 5% de contenido de arcilla, ya que, debe de existir al menos un grado de cohesión entre las partículas del suelo. Se puede aplicar en cualquier tipo de vía, sin embargo, no se recomienda por la misma empresa proveedora el uso en vías de alto tránsito debido a que varía su volumen de tránsito a través del tiempo. (17)

Figura 2: Aplicaciones del Aditivo Conaid



Fuente: Conaid Argentina (2021)

Dentro de la ingeniería, el cemento es un material altamente resistente a las fuerzas de compresión y por dicho motivo es altamente utilizado en la gran mayoría de obras de infraestructura y supraestructura, esta propiedad a dado paso a realizar estudios para poder aplicarlo de otras formas, tales como aditivos para

suelos, siendo utilizado desde la década del 50 en estabilización de bases y subbases en suelos arcillosos para lograr la reacción química entre la puzolana del cemento y la arcilla, incrementando significativamente la Capacidad Resistente Potencial. (18)

El cemento es un aditivo de suelos que se utilizado utiliza obtener mejores beneficios en cuanto a sus propiedades mecánicas y estructurales. Este proceso implica la mezcla de cemento Portland u otro tipo de cemento con el suelo existente en ciertas proporciones, generalmente mediante la técnica de "mezcla in situ". El cemento actúa como un agente aglomerante que se combina con las partículas del suelo, creando una matriz más resistente y duradera. Algunas de las ventajas de utilizar cemento como aditivo del suelo incluyen la mejora de la resistencia a la compresión, la disminución de la erosión, un incremento de la capacidad de soporte de carga, y la estabilización de suelos blandos o expansivos. Esta técnica se emplea en la ejecución de proyectos de carreteras, pavimentos, cimientos y otras estructuras donde sea indispensable una base sólida y estable. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso de cemento como aditivo también puede alterar el pH del suelo y afectar la permeabilidad, por lo que debe aplicarse con consideración y según las necesidades específicas del proyecto.

Figura 3: Cemento como aditivo



Fuente: Pro-Road Global (2022)

2.2.1.1. Componentes del Cemento

El cemento está compuesto principalmente por cuatro componentes fundamentales: clínker de cemento, yeso, caliza y arcilla. El clínker de cemento es el ingrediente principal y se obtiene al calentar a temperaturas elevadas una mezcla

de caliza y arcilla, lo que produce compuestos minerales como el silicato tricálcico (C_3S) y el silicato dicálcico (C_2S), componentes que hace que el cemento sea más durable y resistente. El yeso es añadido durante el proceso de fabricación para controlar el tiempo de fraguado del cemento, evitando que se endurezca demasiado rápido. Además de estos ingredientes principales, pequeñas cantidades de otros materiales pueden estar presentes, como escoria de alto horno o cenizas volantes, que se utilizan para modificar las propiedades del cemento, como la resistencia a la sulfatación o la reducción de la temperatura de hidratación. Estos componentes trabajan en conjunto para proporcionar las propiedades de resistencia y durabilidad requeridas en diversas aplicaciones de construcción:

a. Clinker

Material hidráulico sintetizado de materias primas. El clínker de cemento es un componente fundamental en la fabricación del cemento Portland, que es uno de los tipos más comunes de cemento utilizado en la construcción. Se produce mediante un proceso de calcinación a temperaturas elevadas de una mezcla de caliza y arcilla, junto con otros materiales adicionales si es necesario. Durante la calcinación, que se lleva a cabo en hornos rotativos a temperaturas de alrededor de $1,450^{\circ}C$ ($2,642^{\circ}F$), los componentes de la mezcla se combinan y reaccionan químicamente para formar nuevos compuestos minerales. Los principales compuestos minerales que se forman durante este proceso son el silicato tricálcico (C_3S) y el silicato dicálcico (C_2S), que son responsables de la propiedad de endurecimiento del cemento cuando se mezcla con agua, un proceso conocido como hidratación. Estos compuestos proporcionan la resistencia y durabilidad necesarias en las aplicaciones de construcción. El clínker de cemento se muele hasta obtener un polvo fino y luego se combina con yeso durante la etapa de molienda para evitar que el tiempo de fraguado del cemento sea corto, permitiendo su manipulación antes de que endurezca. El producto final, el cemento Portland, es versátil y ampliamente utilizado en el sector construcción para la fabricación de concreto, lo que lo convierte en un material esencial para la edificación de infraestructuras y estructuras en todo el mundo. (19)

Figura 4: Muestras de Clinker



Fuente: Cemento INKA (2020)

b. Caliza

Material que contiene una masa menor al 75% de Tricarbonato de calcio, menos de 1.20/1000g de arcilla y el carbono orgánico total es inferior al 0.20% en masa. La caliza es un tipo de roca sedimentaria cuyo componente principal es el carbonato de calcio (CaCO_3), además es uno de los minerales ampliamente usados en el sector construcción y la producción de cemento. Su color varía de blanco a gris, y su dureza y solubilidad en agua la hacen ideal para una variedad de aplicaciones. Además, es un componente esencial en la producción de clínker de cemento, donde se calcina junto con arcilla para formar los compuestos minerales necesarios para el cemento Portland. La caliza también se emplea en la corrección del pH del suelo agrícola y en la fabricación de productos químicos, vidrio y productos de papel, lo que la convierte en un recurso valioso y versátil en diversas industrias. (19)

Figura 5: Detalles de la piedra caliza



Fuente: GEBR. PFEIFFER (2020)

c. Puzolana

Material de origen volcánico con un tratamiento térmico que reducen el peso específico del concreto. La puzolana es un término que se refiere a un grupo de materiales naturales o artificiales que tienen propiedades cementantes cuando se combinan con cal y agua. Este material es utilizado como aditivo en la producción de cemento y concreto. Las puzolanas naturales provienen de fuentes como cenizas volcánicas, suelos ricos en arcilla o sedimentos volcánicos, mientras que las puzolanas artificiales se producen a través de procesos industriales, como la calcinación de arcillas o esquistos.

Cuando se mezcla una puzolana con cal y agua, se produce una reacción química llamada hidratación puzolánica. Durante esta reacción, se forman compuestos adicionales, como silicato de calcio hidratado, que mejoran bondades del concreto, como su resistencia y durabilidad. Las puzolanas se utilizan para reducir la proporción del clínker en la producción el cemento Portland indispensable en la mezcla de concreto, lo que puede disminuir la emisión de carbono producto de la fabricación del cemento y obtener beneficios económicos. Además, la incorporación de puzolanas le da la propiedad de ser resistente a la corrosión y los ataques químicos a los que está expuesto el concreto. (19)

Figura 6: Puzolana, materiales silíceos



Fuente: IOI C.A. (2021)

2.2.1.2. Tipos de Cemento Portland

El cemento portland, conocido por su amplia utilidad en el sector construcción debido a sus mejores características de utilidad, trabajabilidad y buena calidad; no obstante, existen distintos tipos de cemento según la aplicación que se le dé. Hay una variedad de tipos de cementos Portland con diversas propiedades para la satisfacción de requerimientos que se presenten en la construcción. Los tipos más comunes incluyen el cemento Portland ordinario (OPC), de uso general; el cemento Portland de resistencias iniciales altas (HRS), que endurece más rápido y es ideal para proyectos de construcción que requieren desmoldeado temprano; el cemento Portland de alta resistencia (HSC), que ofrece mayor resistencia a la compresión a largo plazo; el cemento Portland con adiciones (CEM II), que contiene aditivos como escoria o cenizas volantes para mejorar ciertas propiedades; y el cemento Portland con bajo calor de hidratación (LHC), que es adecuado para proyectos donde se busca reducir la generación de calor durante el fraguado. Cada tipo de cemento Portland tiene composiciones químicas y propiedades específicas que se adaptan a las demandas particulares de la construcción, lo que permite a los ingenieros y constructores elegir el tipo de cemento adecuado a sus. (20)

Cemento Portland Tipo I (20)

Cemento Portland Tipo II (20)

Cemento Portland Tipo III (20)

Cemento Portland Tipo IV (20)

Cemento Portland Tipo V (20)

Figura 7: Tipos de Cemento Portland



Fuente: Cemento Pacasmayo (2016)

2.2.1.3. Características del Cemento Portland Tipo I

Este cemento es el más aplicado en estructuras y acabados de edificaciones comunes como son conjuntos habitacionales y en caso de suelos con un contenido de sulfato menor a 150ppm en estructuras industriales y puentes. (21)

Su elaboración es acorde a la normativa peruana NTP 334.009 y la normativa americana ASTM C150. (21)

Brinda una mejor resistencia a la compresión a lo largo del tiempo, pero a menor escala luego de los 90 días. (21)

Posee bajo contenido de álcalis. (21)

Figura 8: Cemento Portland Tipo IP



Fuente: Cemento Sol (2020)

2.2.1.4. Características del Aditivo Conaid

El aditivo Conaid, es un aditivo químico conocido por sus bondades para modificar las propiedades mecánicas del suelo como disminuir la plasticidad, aumentar la DSM, incrementar el valor de soporte relativo, reduce el hinchamiento, disminuye el desprendimiento de polvo. En cuanto al mantenimiento se reduce un 50-70% en sus costos a largo plazo y se disminuye el espesor del afirmado en un 50%. (3)

Tabla 2: Rendimiento del Aditivo Conaid por cuadras

Tipo de Vía	Cuadras
Lastrado	3
Afirmado	12
Pavimentado	35

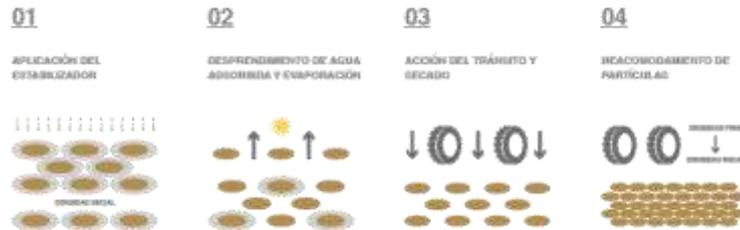
Fuente: Conaid Argentina (2021)

2.2.1.5. Forma de aplicación del Aditivo Conaid

Para aplicar este aditivo, primero se debe de identificar al menos un 5% de presencia de arcillas en la composición del suelo, luego de ello se le realiza los

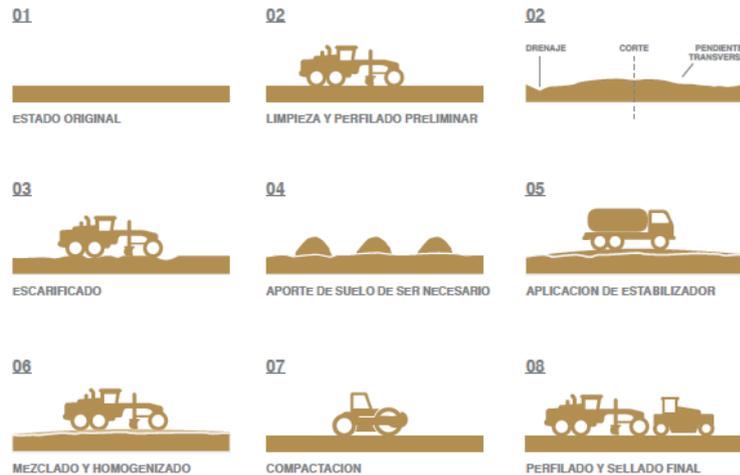
ensayos de interacción entre suelo y el aditivo para obtener el grado óptimo de dosificación. Se coloca el aditivo junto con el agua de compactación con un ph no superior a 8.5; seguidamente se iniciará el proceso de evaporación por parte del aditivo ya dentro del suelo, luego se continúa con el proceso normal de compactación en carreteras. (22)

Figura 9: Fases de estabilización



Fuente: Conaid Argentina (2021)

Figura 10: Proceso Constructivo



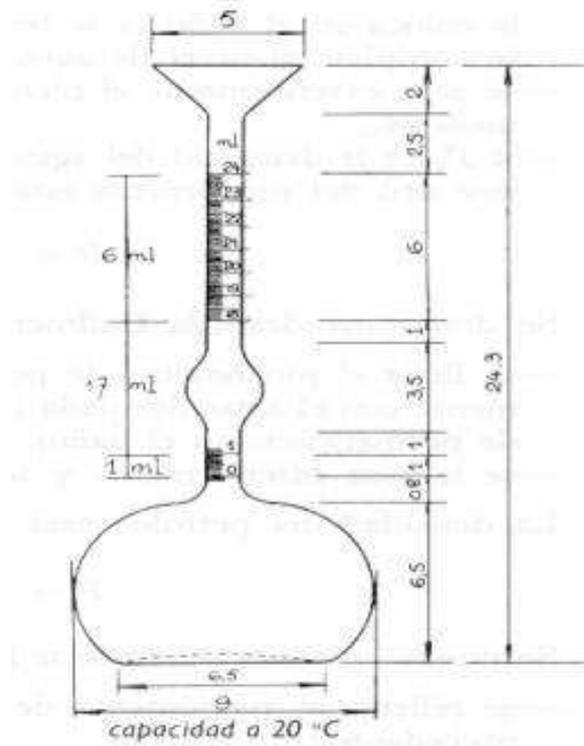
Fuente: Conaid Argentina (2021)

2.2.1.6. Peso específico

La norma ASTM C188-95 y AASHTO T-133 de los Estados Unidos establecen los instrumentos necesarios, procedimientos detallados, cálculos precisos y la forma adecuada de presentar los resultados al determinar el peso específico del cemento hidráulico. El peso específico es un indicador crucial que nos proporciona información sobre la relación entre el peso de una muestra específica a una temperatura dada y el peso de un volumen equivalente de agua a la misma temperatura. En el caso del Cemento Portland Tipo I, su peso específico generalmente oscila entre los 3100 a 3200 kg/m³. Este proceso se lleva a cabo utilizando un frasco de Le Chatelier, siguiendo rigurosamente las pautas y métodos estandarizados para obtener resultados precisos y confiables. El peso específico

del cemento, llamado también densidad aparente, es una medida que indica cuánto pesa una determinada cantidad de cemento en relación con su volumen. Por lo general, la unidad en que se expresa es kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o en su defecto en libras por pie cúbico (lb/ft^3), dependiendo de la región o sistema de unidades utilizado. Es importante tener en cuenta que el peso específico del cemento puede afectar la densidad y las propiedades físicas del concreto cuando se mezcla con otros materiales, como agregados y agua, en la fabricación del hormigón. La densidad del concreto fresco y endurecido influirá en aspectos como la resistencia a compresión, la trabajabilidad y la durabilidad del concreto, por lo que es importante conocer y controlar cuidadosamente las propiedades del cemento y las proporciones en la mezcla para lograr el rendimiento deseado en una construcción. (23)

Figura 11: Frasco de Le Chatelier



Fuente: Universidad Centroamericana (2003)

Posterior al ensayo se obtienen los datos necesarios y se procedes con los cálculos de gabinete utilizando las siguientes expresiones:

Se calcula la densidad:

$$\rho_c = \frac{M}{(V_f - V_i)} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

ρ_c = densidad del cemento (g/cm^3)

M = masa de la muestra (g)

V_i = Volumen inicial del agua (cm³)

V_f = Volumen final del agua (cm³)

Se determina el peso específico relativo

$$PER_c = \frac{\rho_c}{\rho_{H_2O}} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

PER_c = peso específico relativo del cemento (adimensional)

ρ_c = densidad del cemento (g/cm³)

ρ_{H_2O} = densidad del agua = 1 g/cm³

2.2.1.7. Granulometría

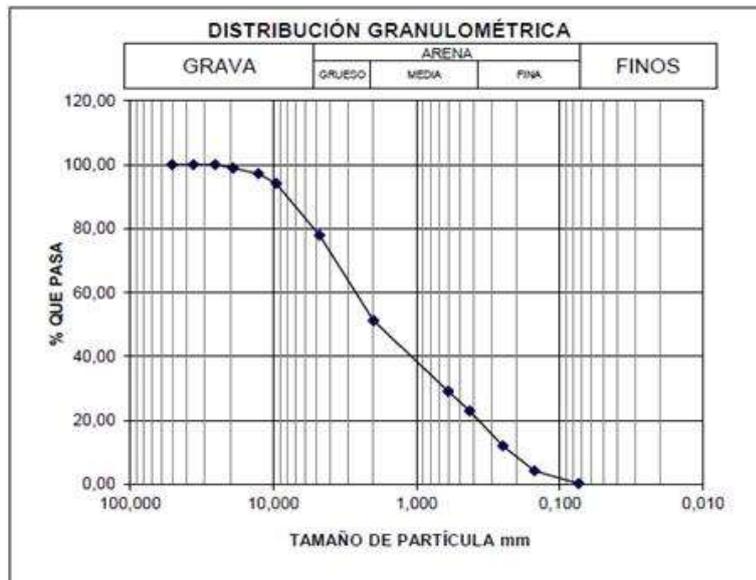
La norma peruana ASTM C136 nos establece la preparación de muestras, procedimientos, equipos, cálculos y presentación de resultados de un análisis granulométrico para el cemento. Este ensayo nos ayuda a conocer el tamaño de las partículas de cemento y de esta manera poder determinar su grado de fineza. (24)

La granulometría del cemento se refiere a la gradación de tamaños de partículas presentes en el polvo de cemento. Esta distribución de tamaños también define la calidad y las propiedades del cemento, así como en su capacidad para mezclarse eficazmente con otros materiales en la producción de concreto. La granulometría adecuada del cemento es esencial para lograr un concreto de alta calidad y rendimiento.

En general, el cemento Portland ordinario debe tener una distribución de partículas que abarque una variedad de tamaños, desde partículas finas hasta partículas más gruesas. Esto facilita la hidratación uniforme del cemento cuando se mezcla con agua, lo que contribuye a la resistencia y la durabilidad del concreto.

La normativa y las especificaciones técnicas suelen establecer los límites de la granulometría del cemento para garantizar que cumpla con los requerimientos de calidad y rendimiento. Los fabricantes de cemento llevan a cabo pruebas y análisis para asegurarse de que el producto se ajusta a estas especificaciones.

Gráfico 1 Curva granulométrica



Fuente: Universidad distrital Francisco José de Caldas (2017)

Para reducir el tamaño de finura se aplica lo siguiente:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

A = Masa de incremento de tamaño de la muestra total (g)

W₁ = Masa de fracción más fina (g)

W₂ = Masa de la porción reducida (g)

B = Masa de incremento de tamaño en la porción reducida (g)

Esta misma norma nos establece los rangos máximos por tamiz:

Tabla 3: Material máximo retenido (kg)

Abertura (mm)	203.2 mm	254 mm	304.8 mm	350 mm x 350 mm	372 mm x 580 mm
Área de tamizado (m ²)					
	0.0285	0.0457	0.0670	0.1225	0.2158
125	-	-	-	-	67.4
100	-	-	-	30.6	53.9
90	-	-	15.1	27.6	48.5
75	-	8.60	12.6	23.0	40.5
63	-	7.20	10.6	19.3	34.0
50	3.60	5.70	8.4	15.3	27.0
37.5	2.70	4.30	6.3	11.5	20.2
25	1.80	2.90	4.2	7.7	13.5
19	1.40	2.20	3.2	5.8	10.2
12.5	0.89	1.40	2.1	3.8	6.7
9.5	0.67	1.01	1.6	2.9	5.1
4.75	0.33	0.54	0.8	1.5	2.6

Fuente: ASTM C136 (2006)

La precisión debe de cumplir los siguiente:

Tabla 4: Precisión estimada

	% total que pasa		σ %	Rango aceptable %
Precisión multi laboratorio	< 100	≥ 95	0.23	0.6
	< 95	≥ 60	0.77	2.2
	< 60	≥ 20	1.41	4.0
	< 20	≥ 15	1.10	3.1
	< 15	≥ 10	0.73	2.1
	< 10	≥ 2	0.65	1.8
	< 2	≥ 0	0.31	0.9

Fuente: ASTM C136 (2006)

2.2.1.8. Dosificación

La dosificación en la construcción se refiere a realizar un proporcionamiento de los componentes del concreto, tales como el material cementicio, agua, agregados y aditivos, que después de mezclado se obtiene un material conglomerado con las características deseadas en términos de resistencia,

trabajabilidad, durabilidad y otras propiedades. Esta proporción se calcula cuidadosamente teniendo en cuenta los requisitos del proyecto, las condiciones ambientales y las especificaciones técnicas, con el objetivo de lograr un concreto o mortero que cumpla con los requerimientos de calidad y rendimiento. Una dosificación adecuada es esencial para garantizar que el material de construcción sea eficaz, seguro y cumpla con los objetivos de diseño, lo que contribuye al éxito de la obra y la longevidad de las estructuras.

La dosificación es un proceso importante para la realización del a la hora cualquier tipo de diseño, ya que este influirá en el correcto funcionamiento de una obra, para hacer esta dosificación es necesario conocer las propiedades principales del material que poseemos, conocer el grado de finura del diámetro de los granos, el peso específico seco y con ello se realiza una correlación en base a ensayos para definir finalmente cual es la dosificación final de cada material componente. Dentro del concreto ya se tiene rangos estandarizados dependiendo del tipo de estructura que se desea construir y el aditivo se le coloca en un 5% recomendable; en el caso de suelos es necesario estudiar primero el grado de plasticidad del suelo para ir incrementando la cantidad de aditivo en función a ello. (25)

Para realizar un diseño mediante el análisis estadístico existen programas que nos facilitan este proceso, como se muestra a continuación:

Tabla 5: Programas para diseño estadístico factorial

Programas estadísticos	
Sigma XL	SPSS
Tabla	XLSTAT
Matlab	Cerebral
Minitab	R
Stata	JMP Statistical Software

Fuente: elaboración propia

2.2.1.8.1. Diseño factorial

El diseño factorial es una técnica estadística utilizada en la experimentación y la investigación para evaluar el efecto de múltiples variables independientes o factores en una respuesta o variable dependiente. En un diseño factorial, se hace una manipulación deliberada dos o más factores al mismo tiempo, y se combinan en diferentes niveles o condiciones para estudiar cómo

interactúan y afectan a la variable de interés. Cada combinación de niveles de factores se llama una "celda" y permite analizar tanto los efectos individuales de los factores como las interacciones entre ellos. Los diseños factoriales son especialmente útiles para identificar relaciones complejas y no lineales entre las variables y para optimizar procesos y sistemas, ya que permiten una comprensión profunda de cómo múltiples factores influyen en los resultados.

El diseño factorial es utilizado en varias disciplinas, como son la ingeniería, la medicina, la psicología, la agricultura y la industria, para investigar y mejorar productos, procesos y sistemas. Puede ser un enfoque poderoso a la hora de tomar decisiones basadas en datos e identificar la combinación óptima de factores que conduzca a resultados deseados.

Para poder realizar una buena dosificación es necesario no solo conocer las propiedades mecánicas de los componentes, sino también conocer el grado de influencia que tiene su mayor o menor aplicación dentro del material o producto final, es por ello que tenemos varias formas de realizar esta dosificación, una de ellas es el método experimental de diseño factorial, el cual nos sirve de mejor forma cuando se cuenta con más de dos variable o factores, llegando a analizarse todas las combinaciones posibles. Este es el método más utilizado tanto en una investigación cuantitativa como cualitativa, en este diseño cada nivel o factor se combina con cada nivel y cada combinación se convierte en una posible condición, siendo así más eficiente el análisis de cada factor. El análisis más simple es cuando intervienen solo 2 factores, en base a este efecto se hace una deducción y se va analizando de la misma forma para la cantidad de factores que se requieran en una investigación, a cada factor o nivel se le denominara un valor de "k", siendo k el número de niveles de cada factor. Cuando tenemos un experimento con k factores que solo adoptan dos niveles se toma en cuenta el "diseño factorial completo 2^k ", el cual nos indica el número de combinaciones posibles, se realiza una matriz con todas estas combinaciones dándoles signos + y - según la columna de forma alternada. (26)

Tabla 6: Matriz para un diseño factorial 2^k

Orden	Orden aleatorio	Factor A	Factor B	Factor C
1	1	-	-	-
2	8	+	-	-
3	4	-	+	-
4	3	+	+	-
5	6	-	-	+
6	2	+	-	+
7	7	-	+	+
8	5	+	+	+

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a una convención, el factor se escribe con mayúscula y los niveles con + y - para bajo y alto, obteniendo las siguientes combinaciones:

Tabla 7: Nomenclatura para las respuestas

	B (-)	B (+)
A (-)	(1)	b
A (+)	a	ab

Fuente: elaboración propia

Con lo cual se calcula los efectos de cada factor:

$$A = \frac{1}{2n} [(ab - b) + (a - (1))] \quad (\text{Ec. 2.4})$$

$$B = \frac{1}{2n} [(ab - a) + (b - (1))] \quad (\text{Ec. 2.5})$$

$$AB = \frac{1}{2n} [(ab - a) + ((1) - b)] \quad (\text{Ec. 2.6})$$

El modelo de diseño será:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

μ = efecto promedio global

τ = efecto de nivel i-ésimo

β = nivel j -ésimo

ε =componente de error relativo

Estas cuatro ecuaciones iniciales se generalizan para todos los niveles de k que se puedan presentar, no obstante, para determinar el resto de ecuaciones para más niveles se plantea las siguientes tres ecuaciones:

$$Contarste_{AB...K} = (a \pm 1)(b \pm 1) \dots (k \pm 1) \quad (\text{Ec. 2.8})$$

$$AB \dots K = \frac{2}{2^{k_n}} (Contarste_{AB...K}) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

$$SS_{AB...K} = \frac{2}{2^{k_n}} (Contarste_{AB...K})^2 \quad (\text{Ec. 2.10})$$

2.2.2. Estabilización de la subrasante

La estabilización de subrasantes es necesario para la construcción de carreteras y pavimentos, que consiste en mejorar y fortalecer el suelo que se encuentra debajo de la capa de pavimento. Esta capa de suelo, conocida como subrasante, debe ser capaz de soportar las cargas de los vehículos que circulen sobre él, además de proporcionar una base sólida para la base, subbase y carpeta de rodadura del pavimento. La estabilización se realiza mediante la incorporación de ciertos componentes o aditivos al suelo existente con el objetivo de aumentar su resistencia y durabilidad.

Existen varios métodos de estabilización de subrasantes, que incluyen la incorporación de materiales como cemento, cal, cenizas volantes, o productos químicos estabilizadores. Estos materiales modifican las propiedades del suelo, incrementando su capacidad de soporte de carga, disminuyendo la expansión y contracción debido a cambios en la humedad y mejorando su cohesión. Además, la estabilización de subrasantes puede contribuir a la erosión del suelo y controlar la infiltración de agua, lo que es crucial para la conservación de la estructura de la carretera.

La elección del método de estabilización y los materiales utilizados dependen de las condiciones del suelo local, los requisitos del proyecto y las especificaciones técnicas. La estabilización de subrasantes es esencial para asegurar que las carreteras y pavimentos tengan una vida útil prolongada y funcionen de manera segura y eficiente, reduciendo el mantenimiento y los costos a lo largo del tiempo.

Es el proceso mediante el cual se busca mejorar e incrementar las propiedades mecánicas de las capas de la estructura del suelo (subbase, base, subrasante, rasante y carpeta de rodadura) mediante la aplicación de métodos físicos (compactación) o químicos (aditivos), con la finalidad de aplicarlo en obras de usos de ingeniería. (5)

La efectividad que deben de cumplir al momento de estabilizar el suelo es como se muestra a continuación:

Tabla 8: Efectividad de estabilidad

Suelo	Arcillas Finas	Arcillas Gruesas	Limos Finos	Limos Gruesos	Arenas Finas	Arenas Gruesas
Tamaño de partícula (mm)	< 0.0006	≥ 0.0006 < 0.002	≥ 0.002 < 0.01	≥ 0.01 < 0.06	≥ 0.06 < 0.4	≥ 0.4 < 2.0
Estabilidad volumétrica	Muy pobre	Regular	Regular	Bueno	Muy bueno	Muy bueno
Cal	Si	Si	Si	-	-	-
Cemento	No	No	No	No	Si	Si
Asfalto	-	-	-	-	Si	Si

Fuente: MTC (2016)

2.2.2.1. Tipos de estabilización

Existen diversos materiales utilizados como aditivos químicos y métodos físicos ya utilizados y normados dentro de los estudios realizados por anteriores investigadores. (5)

Estabilización de suelos con cal como aditivo

Figura 12: Estabilización con cal



Fuente: Perú Construye (2021)

Estabilización de suelos con cemento como aditivo

Figura 13: Estabilización con cemento



Fuente: Construcción Latinoamérica (2019)

Tabla 9: Pérdida máxima aceptable

Suelo por Estabilizar	Pérdida Máxima (%)
A-1; A-2; A-2-5; A-3	14
A-2-6; A-2-7; A-4; A-5	10
A-6; A-7	7

Fuente: MTC (2016)

Estabilización de suelos con asfalto como aditivo

Figura 14: Estabilización con asfalto



Fuente: SilicondPox (2018)

Tabla 10: Peso específico y adición de asfalto

Contenido de asfalto (%)	0	2	4	8	8	10
Peso específico del Material (gr/cm ³)	1.75	1.71	1.68	1.66	1.64	1.64

Fuente: MTC (2016)

Estabilización de suelos por compactación

Figura 15: Estabilización por compactación



Fuente: Wirtgen Group (2019)

2.2.2.2. Características de la subrasante

La subrasante es el material sobre el cual se apoyan las capas estructurales de la vía, esta se encuentra en contacto con la base y el suelo natural, siendo así el eje principal de la vía ya que será la capa que transmitirá las cargas de los ejes de los vehículos al suelo y soportar por ende todos los desperfectos. (27)

Al momento de realizar estudios a nivel de subrasante según el MTC se debe de considerar la realización de calicatas en función al tipo de vía y la cantidad de kilómetros que se analizará, por otro lado, también se debe de realizar calicatas extra en los lugares donde a simple vista se note una heterogeneidad respecto a la configuración estratigráfica del suelo.

Tabla 11: Calicatas en subrasante

Tipo	Prof.	# de calicatas	Observación
Tercera clase	150cm	1 calicata por cada km	Ubicación longitudinal

Fuente: MTC (2016)

Una subrasante puede ser de cualquier tipo de suelo, el cual se determina en base a la clasificación por SUCS, esta determinará la presencia de arcilla, arena, grava o material orgánico. Esto es necesario identificarlo para saber qué tipo de estabilización o mejoramiento aplicar, así como también la cantidad de estabilizador o compactación a realizarse.(27)

Figura 16: Tipos de suelo según SUCS

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares.		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo.
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino.		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcilla.
	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 mediano, 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 intermedios.		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micácea o diatometacea, limo elástico.

	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa.
	Arcilla orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico.
	Turba, suelo considerablemente orgánico.

Fuente: MTC (2016)

2.2.2.3. Plasticidad de los suelos

La plasticidad es el porcentaje de adherencia que existe entre los componentes del suelo llegando a soportar las deformaciones sin llegar a la falla, a este también se le denomina consistencia y se determina mediante ensayos de Límites de Atterberg en laboratorio, obteniendo primero el límite líquido, el límite plástico y por ende también indica el índice de plasticidad. (28)

El límite líquido se determina a través de la cuchara de Casagrande, el cual nos indica la cantidad de agua que posee el suelo para fluir con bajos esfuerzos. Una vez obtenido el número de golpes en un tiempo determinado se realiza una gráfica para determinar el límite líquido y si en caso el número de golpes no alcanza los 25, se convierte en no plástico.

Figura 17: Gráfica de Límite Líquido



Fuente: ETSI & UPM (2015)

El límite plástico es el contenido de humedad promedio del número de muestras analizadas, siendo necesarios para su cálculo el peso del suelo saturado con su recipiente, el peso del suelo secado en horno a 110° con su recipiente y la relación entre el peso del agua y el peso seco de la muestra nos indica el contenido de humedad.

Tabla 12: Ejemplo de límite plástico

Prueba N	1	2
Masa del frasco, gr.	32.7	31.5
Masa del frasco + suelo húmedo, gr.	39.4	38.4
Masa del frasco + suelo seco, gr.	38.4	37.7
Masa del agua contenida, M_w	1.0	1.1
Masa del suelo seco, M_s	5.7	6.2
Contenido de humedad, $M_w/M_s \times 100$	17.5	17.7
Contenido de humedad promedio,	17.6	
Límite plástico (%)	18	

Fuente: Laboratorio de MS – UNI (2019)

Una vez determinado los límites se puede obtener la consistencia del suelo mediante una diferencia entre ambos límites:

$$IP = LL - LP \quad (\text{Ec. 2.11})$$

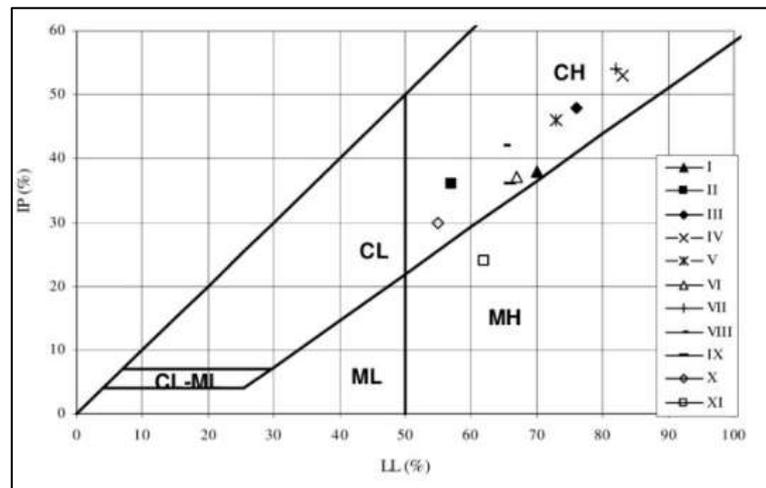
Donde:

IP = índice de plasticidad (%)

LL = límite líquido (%)

LP = límite plástico (%)

Gráfico 2: Gráfica de plasticidad



Fuente: Codevilla (2022)

2.2.2.4. Densidad seca máxima de un suelo arcilloso

La densidad máxima seca se puede determinar en base a diferentes ensayos, los más comunes son el Proctor estándar y el Proctor modificado. La DSM nos indica la mayor densidad que puede alcanzar un suelo cuando se le compacta con la humedad óptima OCH. (29)

Para determinar la DSM y el OCH se realiza los siguientes cálculos de gabinete en base al ensayo de Proctor Estándar, primero se determina el peso unitario seco:

$$\rho_m = 1000 x \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde:

ρ_m = densidad húmeda (kg/m^3)

M_t = masa húmeda: muestra + molde (kg)

M_{md} = masa del molde (kg)

V = volumen del molde (m^3)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Donde:

ρ_d = densidad seca (kg/m^3)

ρ_m = densidad húmeda (kg/m^3)

W = contenido de humedad (%)

$$\gamma_d = 62.43 \rho_d \text{ lbf/pe}^3 \quad (\text{Ec. 2.14})$$

$$\gamma_d = 9.807 \rho_d \text{ kN/m}^3 \quad (\text{Ec. 2.15})$$

Donde:

$$\gamma_d = \text{peso unitario seco (kN/m}^3\text{)}$$

Para graficar la curva de saturación se necesita conocer el contenido de agua al aplicar una saturación completa:

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Donde:

$$W_{sat} = \text{contenido de agua (\%)}$$

$$\gamma_w = \text{peso unitario del agua (9.8 kN/m}^3\text{)}$$

$$\gamma_d = \text{peso unitario seco (kN/m}^3\text{)}$$

$$G_s = \text{gravedad específica}$$

2.2.2.5. Capacidad de resistencia potencial (CBR) del suelo

Determina el índice de resistencia en función al soporte a la carga, aplicado en cada una de las capas componentes de la estructura del suelo, lo recomendable es aplicarlo como ensayo de laboratorio para tener un mejor análisis de la muestra, pero teniendo en cuenta que las muestras deben de mantenerse desde el suelo original hasta llegar al laboratorio, es decir, una muestra inalterada. (29)

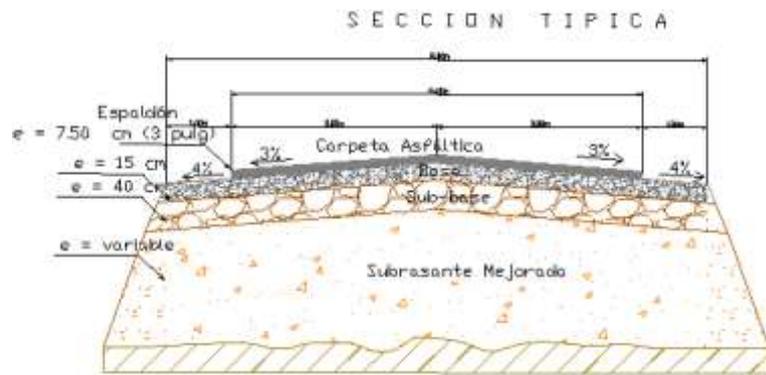
Para la determinación del CBR, es necesario tomar en cuenta que al tener más de 6 valores de CBR distintos en todas las muestras analizadas, se realiza un promedio de los valores y se utiliza esta resultante siempre y cuando presenten características similares y homogéneas en su estructura estratigráfica. El valor del CBR nos da conocer la calidad del suelo como subrasante, en función a su valor se clasifica en las siguientes categorías:

Tabla 13: Categoría de subrasante

Subrasante	
Categoría	CBR
S0: inadecuado	< 3%
S1: insuficiente	3% - 6%
S2: regular	6% - 10%
S3: buena	10% - 20%
S4: muy buena	20% - 30%
S5: excelente	≥ 30%

Fuente: MTC (2016)

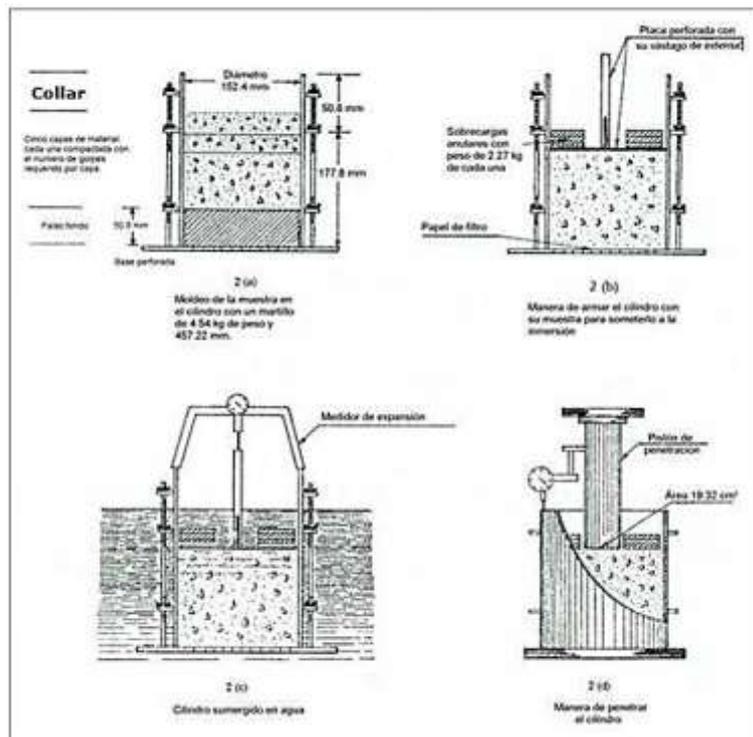
Figura 18: Estructura típica de carreteras flexibles



Fuente: ESPOL (2009)

El CBR se determina en base al ensayo del mismo nombre “Ensayo CBR en laboratorio”, el cual nos determina la relación de soporte del suelo o Capacidad Resistente Potencial en función a la carga aplicada. (29)

Figura 19: Equipo CBR



Fuente: MTC (2016)

Dentro de este ensayo se aplica una carga de penetración con velocidad uniforme controlados por un deformímetro y un cronómetro y para cada carga se anota la lectura respectiva.

Tabla 14: Penetraciones a ser leídas

mm	pulg
0.63	0.025
1.27	0.050
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

Fuente: MTC (2016)

Posteriormente se realiza los cálculos de gabinete respectivos:

Se calcula la humedad de compactación:

$$\% \text{ agua} = \frac{H-h}{100+h} \times 100 \quad (\text{Ec. 2.17})$$

Donde:

H = humedad prefijada

h = humedad natural

Se calcula el porcentaje de expansión:

$$\% \text{ expansión} = \frac{L_2-L_1}{127} \times 100 \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Donde:

L₁ = lectura inicial (mm)

L₂ = lectura final (mm)

El índice de CBR se calcula en función a la presión a 0.1" y 0.2":

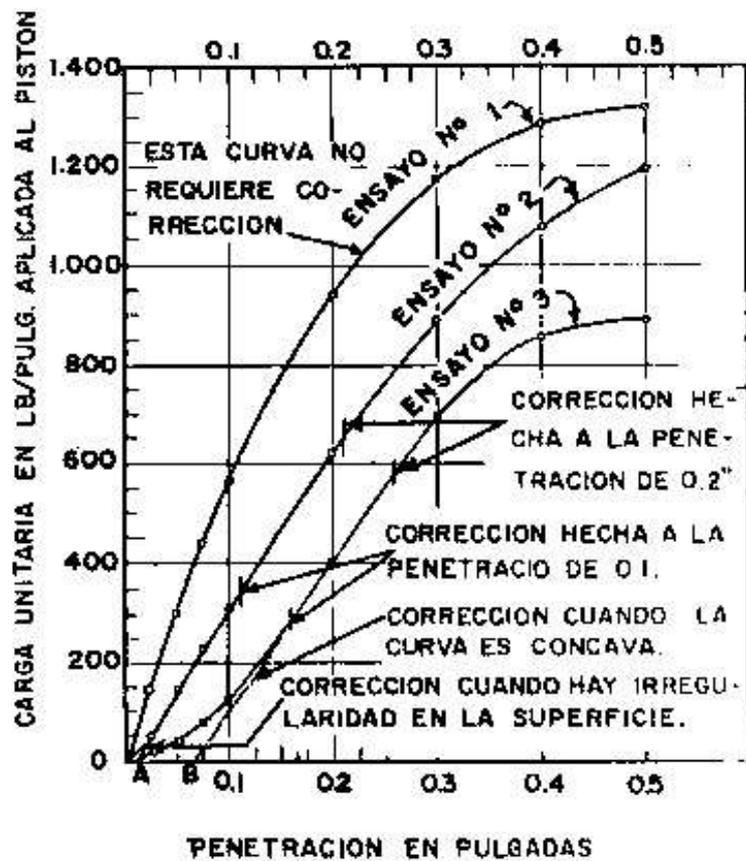
Tabla 15: Presión de penetración

Penetración		Presión		
mm	pulg	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1	6.90	70.31	1000
5.08	0.2	10.35	105.46	1500

Fuente: MTC (2016)

Se realiza la gráfica de la curva esfuerzo vs penetración:

Figura 20: Curva esfuerzo vs penetración



Fuente: Tonylansh (2012)

2.2.2.6. Módulo de resiliencia

A inicios de 1948 se estableció un parámetro muy importante para estudiar el agrietamiento de las subrasantes conforme a las cargas que se le iba aplicando, ya que diferían demasiado y no se podía establecer un único patrón de deformación; a este parámetro se le denominó “módulo dinámico de elasticidad”. (30) Para 1955, Hveem aplicó por primera vez la prueba del estabilómetro para conocer el comportamiento real en base al módulo resiliente de la subrasante, finalmente después de más investigación y estudios se le denominó como “módulo resiliente”, con el cual podemos conocer el esfuerzo desviador y la deformación.

$$M_r = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\epsilon_{axial}} = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{axial}} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

Donde:

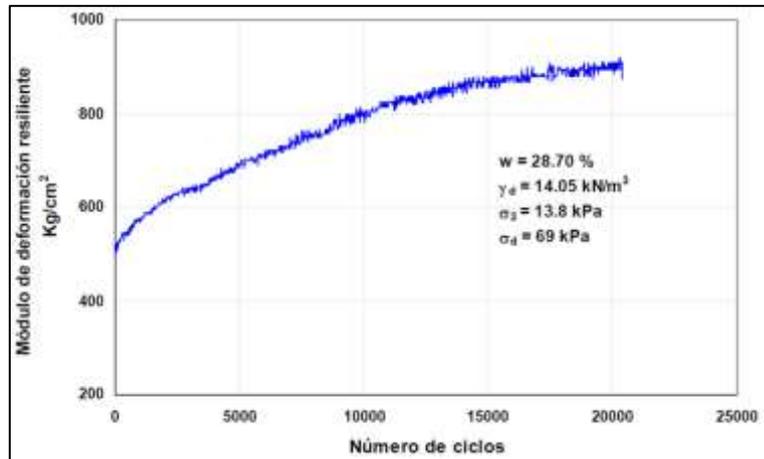
σ_1 = esfuerzo máximo

σ_2 = esfuerzo mínimo

ϵ_{axial} = deformación axial

El proceso de ensayo se realiza hasta alcanzar un valor constante, con el cual se entiende que el comportamiento del suelo ya es constante y este será el módulo de resiliencia, esto es aplicable a todo tipo de suelos y la aplicación de cargas. (31)

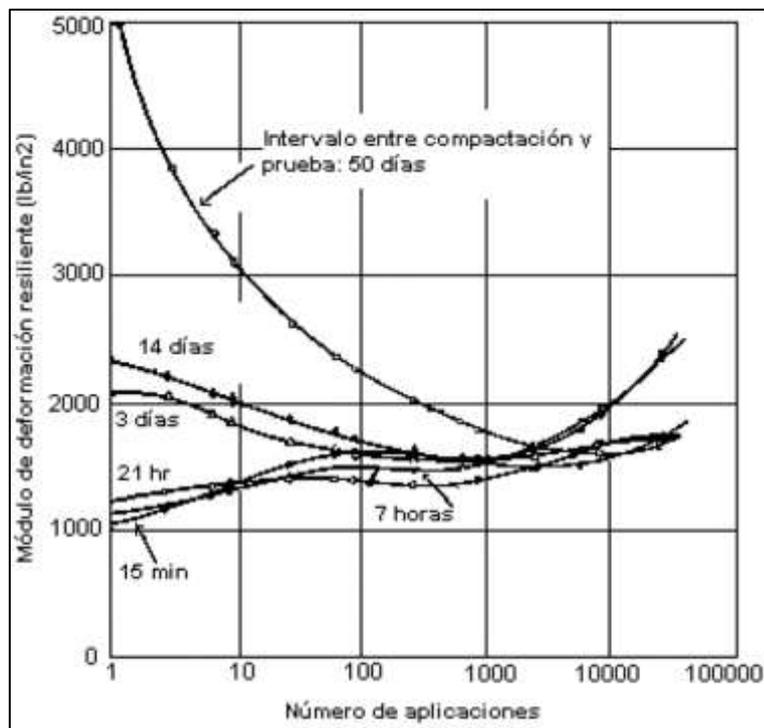
Figura 21: Variación del Mr en función a los ciclos



Fuente: IMT (2010)

El fenómeno de la tixotropía tiene efecto en arcillas compactadas con un alto valor de saturación, alcanzando un aumento en la resistencia considerando un estado de reposo. Esta resistencia es atribuida al reordenamiento de las partículas del suelo con el agua entre los poros existentes por un largo tiempo. (30)

Figura 22: Efecto de la tixotropía en el Mr



Fuente: IMT (2010)

El módulo de resiliencia es un factor hallado de diversas formas, pero a su vez estos métodos son complejos, costosos y alargan los estudios viales, es por esta razón que se han realizado investigaciones por diversos autores para relacionar el módulo resiliente con el CBR, Carga última aplicada, número de golpes, esfuerzo de deformación, el módulo tangencial, índice de plasticidad, grado de saturación del suelo y demás parámetros y propiedades del suelo. (32)

Una de las correlaciones más aplicadas para hallar el Mr del suelo es mediante el CBR, del cual muchos autores han hablado y propuesto su correlación.

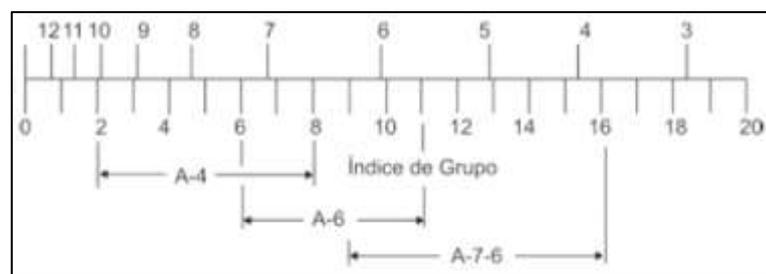
Tabla 16: Correlación entre el Mr y el CBR

Correlación	Unidad	Autor
$Mr = 5409 CBR^{0.71}$	psi	Green & Hall
$Mr = 3000 CBR^{0.65}$	psi	CSIR
$Mr = (160 \text{ a } 2420) CBR$	psi	Black, Duncan & Buchignani
$Mr = 1.42 CBR$	ksi	Huekelon & Klomp
$Mr = 2555 CBR^{0.64}$	psi	NCHRP, TRRL & MEPDG
$Mr = 3116 CBR^{0.67797}$	psi	Webb & Campbell
$Mr = 10^{(0.85 \log(CBR) + 2.971)}$	psi	Newcomb & Birgisson

Fuente: Gopalakrishnan & Thompson (2007)

Existe otra correlación entre el Mr y el CBR aplicado por el ODOT, los cuales hacen uso de un monograma a escala y según la clasificación por AASHTO como se ve en la figura 23. Con este monograma se calcula primero el CBR y finalmente se utiliza la ecuación 20 para hallar el Mr en ksi. (32)

Figura 23: Relación entre CBR, Mr y AASHTO



Fuente: ODOT (2008)

$$M_r = 1.2 CBR \quad (\text{Ec. 2.20})$$

Otra correlación muy utilizada es entre el Mr y la resistencia última a la compresión, el índice de plasticidad y el esfuerzo al 1% deformado. (32)

Para una compactación estática se aplica a ecuación 21:

$$M_r = 6062 + 142 Q_u \quad (\text{Ec. 2.21})$$

Para una compactación por impactos se aplica a ecuación 22:

$$M_r = 64283 + 143 Q_u \quad (\text{Ec. 2.22})$$

Para una compactación estática con IP se aplica a ecuación 23:

$$M_r = 7884.2 + 99.7 Q_u + 193.1 IP - 47.9 P_{200} \quad (\text{Ec. 2.23})$$

Para una compactación por impactos con IP se aplica a ecuación 24:

$$M_r = 6113 + 95.1 Q_u + 173.7 IP - 27.8 P_{200} \quad (\text{Ec. 2.24})$$

Para una deformación de 1% al aplicarle esfuerzo en el ensayo de resistencia no confinada mediante una compactación estática se aplica a ecuación 25:

$$M_r = 657 S_{u1\%} - 6.75 (S_{u1\%})^2 \quad (\text{Ec. 2.25})$$

Donde:

M_r = módulo de resiliencia

Q_u = resistencia última a la compresión

IP = índice de plasticidad

P_{200} = % que pasa la malla 200

$S_{u1\%}$ = esfuerzo de deformación al 1%

También se tiene correlaciones entre el tipo de suelo según la clasificación AASHTO y el M_r . (32)

Para un suelo del tipo A-3 se aplica la ecuación 26

$$\ln(M_r) = 9.5 - 0.161 C_c - 0.0123 w + 71.4k \quad (\text{Ec. 2.26})$$

Para un suelo del tipo A-2-4 se aplica la ecuación 27

$$\ln(M_r) = 9.87 - 0.0593 C_c - 0.0118 C_u - 0.0414 w + 0.0337 \text{clay} \quad (\text{Ec. 2.27})$$

Para un suelo del tipo A-3 y A-2-4 se aplica la ecuación 28

$$\ln(M_r) = 9.76 - 0.0602 C_c - 0.121 C_u - 0.0297 w + 0.0303 \text{clay} + 6.7k \quad (\text{Ec. 2.28})$$

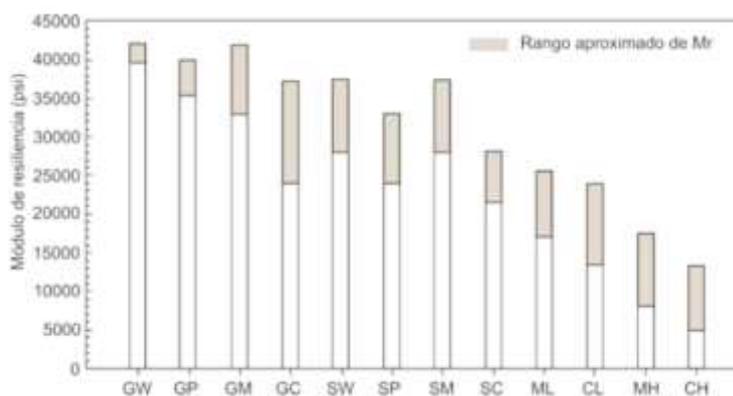
Por último, tenemos presente que existe valores típicos para el M_r del suelo, que, en comparación a las anteriores correlaciones, estas se aplican cuando exista alguna necesidad inmediata o no sea necesaria la exactitud de lo solicitado, el más relevante dentro de este son los valores proporcionados por New Hampshire en función al tipo de suelo existente, la MDS y el OCH. (32) Esto se puede apreciar mejor en la tabla 17. Y se puede apreciar también en la figura 24 que el tipo de suelo GW es el que posee el valor más alto de M_r a comparación del CH.

Tabla 17: Mr en función al OCH y la MDS

Descripción	AASHTO	SUCS	OCH (%)	MDS (kg/m ³)	Mr (MPa)
Suelo limoso con arena fina.					
Suelo gravoso fino a grueso.	A-4	SM	9.0	2050.0	45.0
Suelo arenoso grueso a fino					
Suelo areno limoso	A-2-4	SM	14.5	1714.0	62.0
Suelo gravoso fino a grueso con arena fina	A-1-a	SP	9.5	1730.0	265.0
Suelo arenoso grueso a medio con arena fina	A-1-b	SP	13.6	1642.0	26.0
Suelo limo arcilloso	A-7-5	ML	23.5	1618.0	21.0

Fuente: New Hampshire (2006)

Figura 24: Mr según al tipo de suelo



Fuente: Akin (2009)

2.2.3. Transitabilidad

Al hablar de transitabilidad se hace referencia a la disponibilidad de uso de una carretera, es decir que no se restringe el transporte público producto de accidentes viales como son los accidentes de tránsito y/o malas condiciones de las vías. (33)

2.2.3.1. Estado de transitabilidad del camino

Se llama así a la condición en la que se encuentra la superficie de rodadura y se puede clasificar en distintas categorías:

Tabla 18: Estado de transitabilidad

ESTADO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
Buena	B	Sin daños significativos.
Regular	R	Daños moderados, pero sin obstrucción al tráfico.
Mala	M	Daño severo, sólo transitable por vehículos de doble tracción

Fuente: MTC (2015)

2.2.3.2. Caminos vecinales

Un camino vecinal es aquel destinado principalmente para dar acceso a pequeñas poblaciones que residen en la zona rural además de las chacras y predios que se encuentran también ahí. (34)

Los caminos vecinales pertenecen a la red vial vecinal o rural, es decir se trata de carreteras que son parte del ámbito local y cuya función es el de articular las capitales de las provincias con las capitales de los distritos, y a su vez con centro poblados, zonas de influencia local y en algunos casos con la red vial nacional y/o departamental. (35)

En el Perú la red vial vecinal abarca el 65.3% de las vías nacionales, de las cuales el 86% no se encuentran pavimentadas. (36)

Figura 25: Mapa de la infraestructura de transportes a nivel nacional del año 2018.



Fuente: SINIA (2018)

2.2.3.3. Carpeta de rodadura afirmada

Una carpeta de rodadura afirmada, también conocida como "superficie de rodadura afirmada" o "superficie de rodadura no pavimentada", se refiere a la capa superior de un camino o carretera que está compuesta principalmente por materiales no asfaltados ni pavimentados. Esta capa se utiliza en caminos rurales o vecinales donde no se ha aplicado asfalto o concreto para la pavimentación. (36)

La carpeta de rodadura afirmada puede estar compuesta por una variedad de materiales, como grava, piedra triturada, tierra compactada o mezclas de estos materiales. Estos se compactan y nivelan para crear una superficie transitable y resistente que permite el paso de vehículos, aunque generalmente no es tan suave ni duradera como una superficie pavimentada. Este tipo de carpeta se utiliza en

áreas donde la infraestructura vial es más básica y donde no se justifica la inversión en pavimentación asfáltica o de concreto. (37)

2.2.3.4. Composición de la carpeta de rodadura de afirmado

La composición de una carpeta de rodadura de afirmado varía según las condiciones locales y los recursos disponibles, pero típicamente consiste en una mezcla de materiales naturales como grava, piedra triturada, arena, y suelo local. Estos materiales se combinan y se compactan para formar una superficie uniforme y resistente que puede soportar el tráfico vehicular. En ocasiones, se pueden añadir aditivos estabilizadores, como cemento o productos químicos, para mejorar la cohesión y la durabilidad de la capa de afirmado. Esta mezcla se ajusta y compacta en capas sucesivas para lograr la resistencia deseada y proporcionar una superficie de rodadura adecuada para vehículos, especialmente en áreas rurales o en caminos secundarios donde no se justifica la inversión en pavimentación asfáltica o de concreto. (37)

2.2.3.5. Requisitos de calidad de los materiales para afirmado

La granulometría del material debe ajustarse a:

Tabla 19: Requisitos granulométricos de los agregados.

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA					
	A-1	A - 2	C	D	E	F
(2")	100	-				
(1 ½")	100	-				
(1")	90-100	100	100	100	100	100
(¾")	65-100	80-100				
(3/8")	45-80	65-100	50-85	60-100		
(Nº 4)	30-65	50-85	35-65	50-85	55-100	70-100
(Nº 10)	22-52	33-67	25-50	40-70	40-100	55-100
(Nº40)	15-35	20-45	15-30	25-45	20-50	30-70
(Nº 200)	5-20	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Fuente: MTC (2015)

2.3. Definición de términos básicos

1. **Aditivo estabilizador:** Componente, el cual se le añade a un suelo con la finalidad de evitar el decaimiento del mismo, incrementando

sus fuerzas de cohesión internas y la resistencia a las cargas que se le apliquen. (38)

2. **Capacidad resistente:** Capacidad estructural de soportarla aplicación de cargas sin llegar a la falla, dependiendo de las características internas y externas. (39)
3. **Cemento:** Material hidrófilo altamente resistente a la compresión con propiedades de trabajabilidad e incremento de resistencia sin límite. (4)
4. **Conaid:** Aditivo estabilizador eco-amigable, químico, líquido especializado para vías con presencia de arcilla. (3)
5. **Diseño factorial:** Investigación profunda de dos o más factores para conocer el verdadero grado de influencia e interacción entre ellos. (26)
6. **Estabilización:** Alternativa de construcción de vías para incrementar las propiedades físico mecánicas de sus capas conformantes, teniendo en cuenta el efecto de la mitigación del daño a la atmósfera, esta alternativa se realiza mediante la incorporación de algún aditivo natural o artificial. (14)
7. **Resiliencia:** Energía recuperada al finalizar la aplicación de esfuerzos, reduciendo así las deformaciones producidas por estos esfuerzos. (40)
8. **Subrasante:** Capa de la estructura de la carretera, a nivel de corte, relleno y compactado, considerado el eje sobre el cual se coloca las demás capas que transmitirán las cargas concentradas y distribuidas al suelo natural de forma más homogénea y repartida. (27)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo o alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación: Hipotético deductivo

El método hipotético deductivo consiste en combinar la hipótesis planteada con la observación de la realidad. (41) La presente investigación se apoyó en el planteamiento inicial de una hipótesis respecto a la variación significativa de la estabilidad de la subrasante del camino vecinal, carretera Sicuani - Trapiche, en base a esta hipótesis se fue desarrollando la investigación con la cual se fue comprobando la veracidad o falsedad de las hipótesis planteadas por medio de los ensayos propuestos inicialmente. Según lo mencionado, la presente investigación se basó el método hipotético deductivo.

3.1.2. Tipo de la investigación: Aplicado

El tipo aplicado consiste en generar conocimiento en base a la aplicación inmediata a los inconvenientes presentes en una sociedad o sector productivo. (41) Para el análisis y mejoramiento de la subrasante se utilizó una nueva forma de estabilización de subrasante, con una dosificación factorial generando conocimiento nuevo para el desarrollo de la comunidad de Trapiche que pueden aplicar en el resto de carreteras de la zona que presenten el mismo problema. De acuerdo a la teoría revisada, esta investigación es de tipo aplicada.

3.1.3. Nivel de investigación: Descriptivo

El nivel descriptivo es considerado como buscar especificar las características, propiedades de cualquier fenómeno sometido a un análisis, a través de una descripción del fenómeno. (41) En la presente investigación, se realizó una dosificación de 8 combinaciones entre suelo, cemento y aditivo Conaid, donde cada cambio en sus características se fue describiendo para identificar las mejoras

que fue adquiriendo la subrasante. Conforme a este análisis, la investigación corresponde al nivel descriptivo.

3.1.4. Diseño de la investigación: Cuasiexperimental

El diseño cuasiexperimental es una metodología de investigación que se utiliza cuando no es posible o ético asignar aleatoriamente a los sujetos a grupos de control y tratamiento, como en los experimentos tradicionales. En lugar de eso, en un diseño cuasiexperimental, los investigadores aprovechan situaciones naturales o existentes para comparar grupos de sujetos que han sido expuestos o no a una intervención o tratamiento específico. Aunque ofrece ventajas en términos de viabilidad ética y práctica, los diseños cuasiexperimentales a menudo conllevan desafíos adicionales para establecer relaciones causales sólidas debido a la falta de control completo sobre las variables. Sin embargo, son valiosos en campos donde la experimentación controlada no es factible y permiten abordar preguntas de investigación importantes en contextos del mundo real. (41) En el diseño de esta investigación se ha realizado las dosificaciones con Cemento y Conaid en la subrasante de forma no aleatoria, donde se pudo ver los resultados y efectos en la estabilización. Según este análisis, el diseño aplicado en la presente investigación fue cuasiexperimental.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Población

La población se refiere al conjunto completo de elementos o individuos que son objeto de estudio o análisis en una investigación específica. Esta población puede variar en tamaño y alcance, dependiendo de los objetivos de la investigación. Por ejemplo, en un estudio acerca de la salud de los habitantes de un país, la población sería todos los ciudadanos de ese país. Sin embargo, debido a las limitaciones prácticas, económicas o de tiempo, es común que los investigadores trabajen con una muestra, que es una parte representativa de la población total, para obtener conclusiones y poder hacer deducciones sobre el conjunto poblacional. La correcta elección de la muestra es relevante para que los resultados sean válidos y generales para el conjunto poblacional de interés. (42) En la presente investigación, la población de estudio estuvo conformada por la totalidad del camino vecinal “Carretera Sicuani – Trapiche, Canchis, Cusco”, conformado por 3.1km de longitud efectiva, el análisis de las muestras fue del

tramo más crítico “km-2”, con una extensión de 1 km de longitud efectiva, el tamaño de la población fue de 135 unidades muestrales.

3.2.2. Muestra

La muestra se define como todas las operaciones que se realizarán para estudiar las características de la población haciendo una división en fracciones factibles de analizar. (42) La presente investigación estuvo conformada por 135 unidades de estudio

Para la facilidad de manejo de esta investigación se denominó la siguiente nomenclatura para un mejor entendimiento de los elementos conformantes de la mezcla y la dosificación: Suelo = S, Cemento = C y Aditivo Conaid = A.

La dosificación se realizó en base al diseño factorial de 3 factores, siendo nuestro alcance $2^k = 2^3 = 8$, obteniendo en total 8 combinaciones y conforme a los antecedentes planteados.

Para cada ensayo se llevó a cabo 3 calicatas, que a su vez de cada calicata se hizo uso de 3 unidades muestrales para cada dosificación.

Tabla 20: Distribución de muestras

Muestra (M)	Dosificación			Número de unidades muestrales a analizar por cada ensayo										
	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Ensayo de Plasticidad			Ensayo de Próctor Modificado			Ensayo de CBR				
				C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3		
M ₀	100%	0%	0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₁	96.5%	1.0%	2.5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₂	92.0%	3.0%	5.0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₃	90.0%	5.0%	5.0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₄	87.5%	5.0%	7.5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Subtotal				45			45			45				
Total				135										

Fuente: elaboración propia

3.2.3. Muestreo

El muestreo probabilístico es un método de elección de unidades de análisis en el que cada elemento de la población tiene una probabilidad conocida y no nula de ser elegido como parte de la muestra. En este enfoque, se utiliza el

azar de alguna manera controlada para garantizar que todos los elementos de la población tengan una oportunidad igual de ser incluidos en la muestra. Esto permite que los resultados obtenidos a partir de la muestra sean estadísticamente representativos de la población completa, lo que facilita la extrapolación y generalización de los hallazgos a un nivel más amplio. El muestreo probabilístico es ampliamente utilizado en investigaciones científicas y encuestas para minimizar el sesgo y garantizar la validez de los resultados. (42) En la presente investigación se empleó el muestreo probabilístico, ya que, se hizo uso de muestras elegidas al azar después de haber realizado el muestreo por cuarteo establecido por el MTC E103.

3.2.4. Técnica de recolección de datos

La observación directa es una técnica de recolección de datos basado en obtener la data mediante el uso de la visión de forma consecutiva. (43) En la presente investigación se aplicó la técnica de observación directa ya que los presentes tesisas estuvieron presentes en cada parte de la realización del estudio, en el cual se observó y recolectó los datos necesarios proporcionados por cada uno de los ensayos a realizados.

3.2.5. Instrumento de recolección de datos

Las fichas de recolección, son instrumentos utilizados para colocar la información necesaria y relevante que se pueda obtener durante la recolección de datos, estos datos son transcritos ya que es información que ha de ser de uso constante en cualquier momento deseado. (43) En la presente investigación se aplicó como instrumento las fichas de recolección de datos en formato Excel que facilitaron el posterior procesamiento de la data.

3.2.6. Validez

La validez hace referencia al grado en que verdaderamente es efectivo nuestro instrumento para medir la variable. (44) Los instrumentos de investigación se validaron mediante el juicio de expertos como se muestra en los rangos de la siguiente tabla:

Tabla 21: Rango de validez

<0.53	Nula
0.54–0.59	Baja
0.60–0.65	Válida
0.66–0.71	Muy válida
0.72–0.99	Excelente
1.0	Perfecta

Fuente: Oseda (2011)

Tabla 22: Resumen de validadores

N°	Grado Académico	Nombres y Apellidos	CIP	Validez
1	Ingeniero Civil	Cesar Edilberto Arbulu Jurado	115764	0.643
2	Ingeniero Civil	Juan Pedro Luciano Cortez Vargas	199843	0.625
3	Ingeniero Civil	Dilson Elvis Loaiza Cruz	133295	0.831

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber llevado a cabo la verificación de la validez por parte de los especialistas, se obtuvo una validez de 0.6997, con lo cual nos encontramos en el rango de “muy válida”.

3.2.7. Métodos de análisis

Se siguió una metodología de investigación rigurosa. Inicialmente, se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva para proporcionar contexto al estudio, recopilando datos geotécnicos y específicos del área de investigación. El diseño experimental se enfocó en la selección detallada del área de estudio y la disposición de las parcelas de prueba, prestando especial atención a la aplicación y distribución del cemento y aditivo Conaid. Los procedimientos de laboratorio y campo se describieron meticulosamente, desde la preparación de muestras hasta las pruebas geotécnicas y las técnicas de aplicación y compactación en el sitio. Los resultados obtenidos fueron analizados e interpretados a fondo, utilizando técnicas estadísticas y gráficas para identificar patrones y tendencias significativas. Las conclusiones derivadas de este análisis profundo ofrecieron una comprensión clara de la efectividad de la estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en la mejora de las propiedades del suelo en los caminos vecinales estudiados. Además, se proporcionaron recomendaciones prácticas para futuras investigaciones y aplicaciones ingenieriles. Cada etapa del proceso investigativo

y los métodos analíticos fueron presentados con claridad y detalle en la tesis, asegurando así una comprensión exhaustiva del estudio llevado a cabo.

3.2.8. Aspectos éticos

Se obtuvo el consentimiento informado de todas las partes involucradas en la investigación, incluyendo las comunidades locales y las personas cuyas propiedades podrían verse afectadas por el estudio. Se garantizó la confidencialidad de los datos y la privacidad de las personas involucradas, especialmente al recopilar información sensible o personal. Se mantuvieron altos estándares de integridad en la investigación, evitando la manipulación de datos o resultados. Se evaluaron y minimizaron los posibles impactos negativos en el medio ambiente y en las comunidades locales, y se tomaron medidas para mitigar cualquier daño. Se aseguró que la investigación fuera justa y equitativa, considerando cómo los hallazgos podrían beneficiar o perjudicar a diferentes grupos dentro de la comunidad. Se respetaron y valoraron las diferencias culturales de las comunidades locales, garantizando que la investigación fuera sensible a sus prácticas y creencias. Los resultados se comunicaron de manera clara y accesible a todas las partes interesadas, incluyendo a las comunidades locales, proporcionando retroalimentación a las personas que participaron en el estudio y mostrando cómo sus contribuciones fueron valoradas.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Descripción de la zona de estudio

4.1.1.1. Ubicación

El tramo Sicuani – Trapiche – Patacalsaya se encuentra en el distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento del Cusco. Está situado a una altitud de 3584 msnm y sus coordenadas UTM son 19S 261322.1m W 8418909.1m N. (Ver anexo 03)

4.1.1.2. Características de la zona de estudio

Las características técnicas actuales de la zona de estudio fueron obtenidas de la Municipalidad Provincial de Canchis mediante la Gerencia General del Instituto Vial Provincial.

- Longitud : 13.60km
- Categoría de vía : Carretera Afirmada
- Velocidad Directriz : 35km por hora
- Índice Medio Diario : 45.11 vehículos /día
- Radio Mínimo Normal : 15m
- Radio Mínimo Excepcional : 13m
- Ancho Superficie Calzada : 3.5m
- Sobre Ancho : 0.30 – 1.00m
- Pendiente Mínima : 1%
- Pendiente Máxima Normal : 11%
- Pendiente Máxima Excepcional : 12%
- Bombeo : 2%
- Peralte Máximo Normal : 4%
- Peralte Máximo Excepcional : 5%

- Cunetas Laterales de tierra : 0.40x0.30m (triangular)

4.1.2. Estudios previos

4.1.2.1. Estudios de campo

4.1.2.1.1. Exploración de suelos

La exploración de suelos en este proyecto siguió rigurosamente las normativas pertinentes, incluyendo las normas peruanas MTC E101, MTC E103, MTC E104 y la norma estadounidense ASTM D420-69. Siguiendo las pautas de estas normativas, se determinó que, dado el carácter de camino vecinal de tercera clase con un tráfico de bajo volumen, se debían realizar, en principio, una calicata por cada kilómetro. Sin embargo, por recomendación de la autoridad universitaria con fines de estudio, se optó por realizar un total de tres calicatas en la zona de interés. Cada una de estas calicatas alcanzó una profundidad de 80 centímetros, y su principal objetivo fue estratificar el suelo. Es importante mencionar que, debido a la ausencia de componentes orgánicos en el suelo, la identificación de cada unidad muestral se realizó mediante un etiquetado que incluía información sobre la profundidad, ubicación y fecha de extracción de cada muestra. Posteriormente, se procedió a dividir cada muestra en partes iguales mediante un cuarteo, y finalmente, se transportaron en sacos hacia el laboratorio de estudio, garantizando así un proceso de exploración de suelos completo y conforme a las normativas aplicadas.

Tabla 23: Número de calicatas de exploración para una vía de tercera clase

Carretera	Profundidad	# de calicatas	Observación
Tercera clase	1.50 m respecto a la subrasante	1 calicata por cada km	Ubicación longitudinal

Fuente: MTC (2016)

El agua utilizada para llevar a cabo la compactación cumple con las características presentes en la norma CE.020, con lo cual, el agua es limpia, sin presencia alguna de materia orgánica ni otra sustancia deletérea con un pH de 7.3, la cual no supera 8.5, por lo tanto, en resumen, el agua cumple con las características necesarias para ser utilizadas.

4.1.2.1.2. Plano de las Calicatas

Plano de calicatas elaboradas (C-1 C-2 y C-3). (Ver anexo 04)

4.1.2.1.3. Perfil estratigráfico de la Calicata C-1

Como se puede apreciar en la figura 26, la estratigrafía correspondiente a la calicata C-1 exhibe una composición que incluye material orgánico, vegetación, grava y raíces desde la superficie (NTN 0.00 m) hasta una profundidad de 0.10 m. A continuación, se encuentra una capa de suelo arcilloso limoso con la presencia de grava subangulosa y material orgánico, que se extiende hasta una profundidad de 1.00 m. La capa subsiguiente también está compuesta por un suelo arcilloso limoso con grava subangulosa y material orgánico, llegando hasta una profundidad de 1.50 m, que marca el límite de profundidad del estudio. Para mayor detalle (*Ver anexo 05*)

Figura 26: Perfil estratigráfico de la calicata C-1

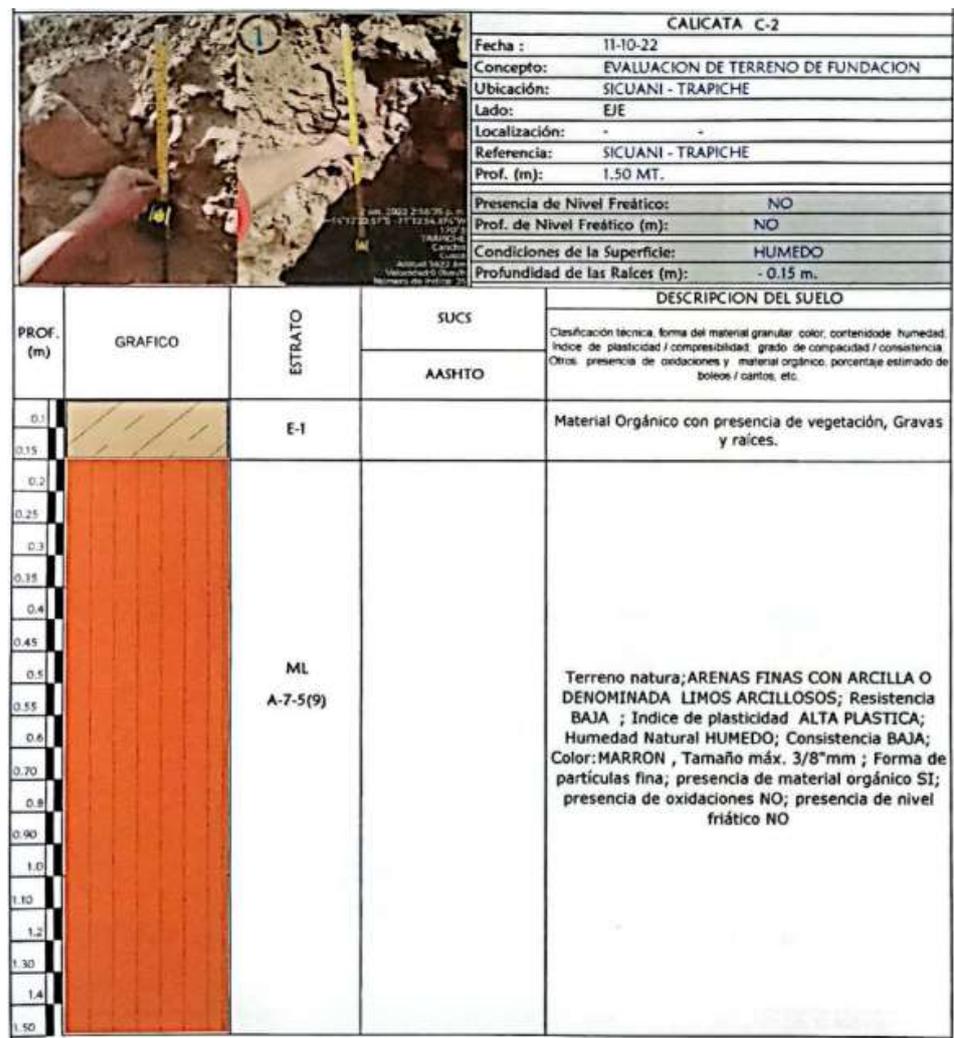
PROF. (m)		GRAFICO	ESTRATO	SUCS	AASHTO	DESCRIPCION DEL SUELO																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">CALICATA C - 1</th> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Fecha :</td> <td style="width: 50%;">06-10-22</td> </tr> <tr> <td>Concepto:</td> <td>EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION</td> </tr> <tr> <td>Ubicación:</td> <td>SICUANI - TRAPICHE</td> </tr> <tr> <td>Lado:</td> <td>DERECHO</td> </tr> <tr> <td>Localización:</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Referencia:</td> <td>SICUANI - TRAPICHE</td> </tr> <tr> <td>Prof. (m):</td> <td>1.50m.</td> </tr> <tr> <td>Presencia de Nivel Freático:</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>Prof. de Nivel Freático (m):</td> <td>- --- m.</td> </tr> <tr> <td>Condiciones de la Superficie:</td> <td>SEMI COMPACTA</td> </tr> <tr> <td>Profundidad de las Raíces (m):</td> <td>- 0.00 m.</td> </tr> </table>							CALICATA C - 1		Fecha :	06-10-22	Concepto:	EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION	Ubicación:	SICUANI - TRAPICHE	Lado:	DERECHO	Localización:	-	Referencia:	SICUANI - TRAPICHE	Prof. (m):	1.50m.	Presencia de Nivel Freático:	NO	Prof. de Nivel Freático (m):	- --- m.	Condiciones de la Superficie:	SEMI COMPACTA	Profundidad de las Raíces (m):	- 0.00 m.
CALICATA C - 1																														
Fecha :	06-10-22																													
Concepto:	EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION																													
Ubicación:	SICUANI - TRAPICHE																													
Lado:	DERECHO																													
Localización:	-																													
Referencia:	SICUANI - TRAPICHE																													
Prof. (m):	1.50m.																													
Presencia de Nivel Freático:	NO																													
Prof. de Nivel Freático (m):	- --- m.																													
Condiciones de la Superficie:	SEMI COMPACTA																													
Profundidad de las Raíces (m):	- 0.00 m.																													
0.10			E-1			Material Orgánico con presencia de vegetación grava y raíces.																								
0.15			E-2																											
0.20																														
0.25																														
0.30																														
0.35																														
0.40																														
0.45																														
0.50																														
0.55																														
0.60																														
0.70																														
0.80																														
0.90																														
1.00																														
1.10																														
1.20																														
1.30																														
1.40																														
1.50																														

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.1.4. Perfil estratigráfico de la Calicata C-2

Como se puede apreciar en la figura 27, la estratigrafía de la calicata C-2 muestra una composición que incluye material orgánico, vegetación, grava y raíces desde la superficie (NTN 0.00 m) hasta una profundidad de 0.15 m. Luego, se encuentra una capa de suelo compuesta por arena fina limo arcilloso de alta plasticidad con la presencia de material orgánico, que se extiende hasta una profundidad de 1.50 m, marcando así el límite de profundidad del estudio. Para mayor detalle (*Ver anexo 05*)

Figura 27: Perfil estratigráfico de la calicata C-2



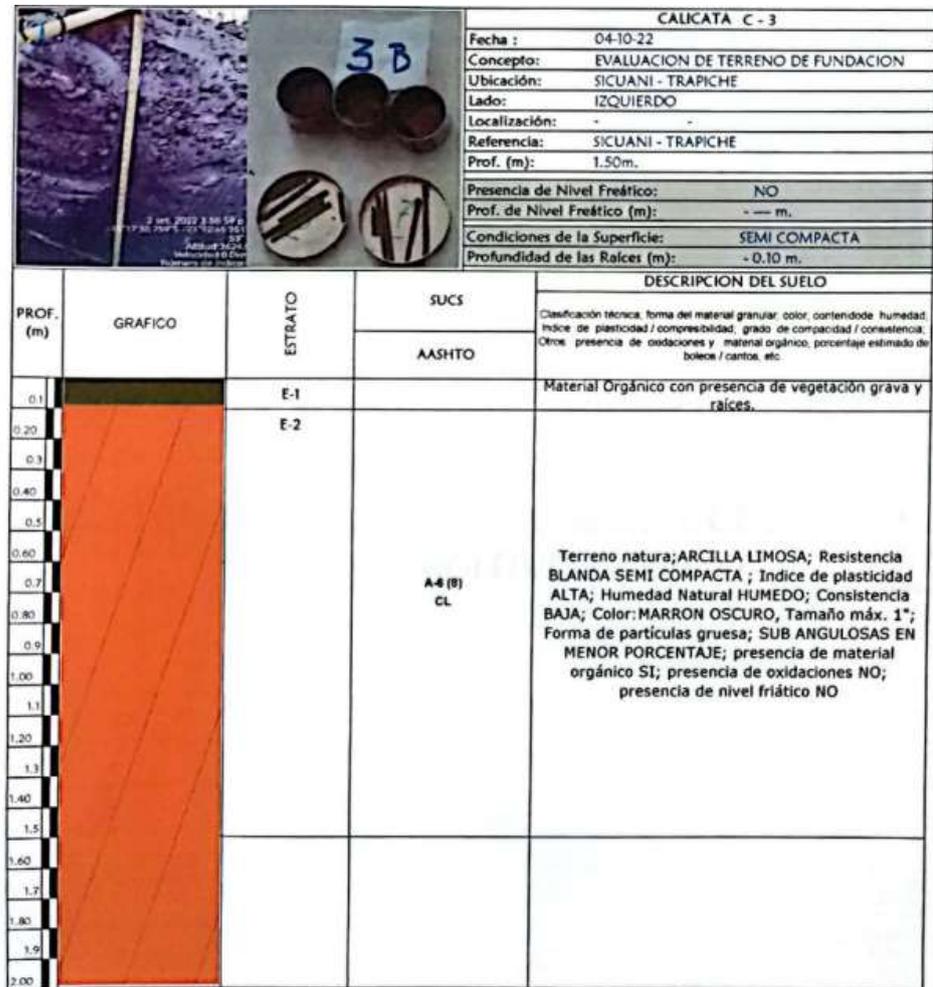
Fuente: Elaboración propia

4.1.2.1.5. Perfil estratigráfico de la Calicata C-3

Como se evidencia en la figura 28, la estratigrafía de la calicata C-3 se compone de material orgánico que incluye vegetación, grava y raíces desde la superficie (NTN 0.00 m) hasta una profundidad de 0.10 m. A continuación, se

encuentra una capa de suelo arcilloso limoso, con una consistencia semicompacta, que presenta material orgánico y partículas de forma subangular, extendiéndose hasta una profundidad de 2.00 m, marcando así el límite de profundidad del estudio. Para mayor detalle (*Ver anexo 05*)

Figura 28: Perfil estratigráfico de la calicata C-3



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2. Estudios de laboratorio

Se llevaron a cabo una serie de análisis de laboratorio que comprendieron diversos ensayos. Inicialmente, se efectuó la evaluación de la granulometría del suelo, con el propósito de medir su finura y clasificarlo de acuerdo a los estándares establecidos por AASHTO. Además, se confirmó la presencia de al menos un 5% de contenido de arcilla en su composición, un requisito fundamental para permitir la futura utilización del aditivo Conaid. Posteriormente, se ejecutaron ensayos para determinar los Límites de Atterberg, Próctor Modificado y CBR, siguiendo las normativas pertinentes tanto de Perú como de Estados Unidos.

Granulometría ----- MTC E107 ---ASTM D422 *ver anexo (06)*

Límites de Atterberg- MTC E110 ---ASTM D4318*ver anexo (06)*

Proctor Modificado -- MTC E115 ---ASTM D1557*ver anexo (06)*

CBR en laboratorio -- MTC E132 ---ASTM D1883*ver anexo (06)*

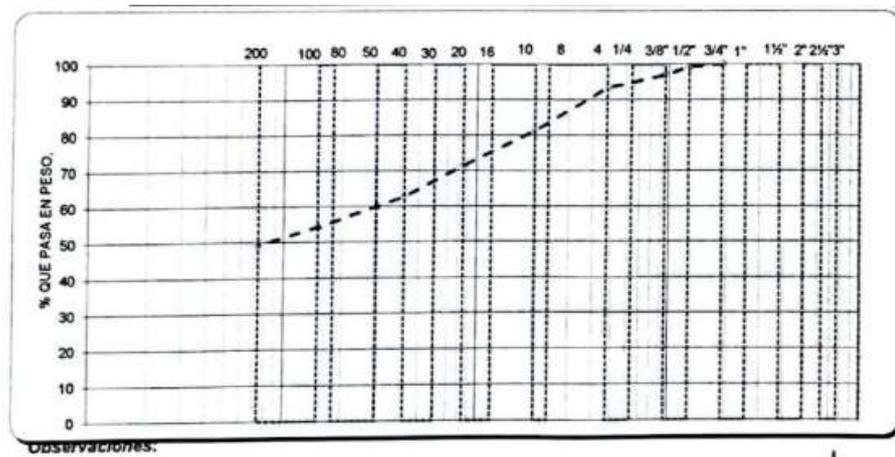
4.1.2.2.1. Caracterización de materiales

Luego de haber realizado nuestro muestreo, se procedió a caracterizar estas muestras para identificar con qué tipo de suelo nos encontramos de acuerdo a la Clasificación AASHTO y la cantidad de componentes gruesos, finos y limos que contenía este suelo mediante el ensayo de Granulometría. Esta caracterización se llevó a cabo para cada calicata elaborada (3 calicatas).

4.1.2.2.2. Ensayo de granulometría Calicata C-1

La calicata C-1 luego de haber llevado a cabo el ensayo de granulometría y realizado los cálculos respectivos, con base en la curva granulométrica representada en el gráfico 3, se puede observar que el suelo está compuesto por un 6.6% de grava y un 93.4% de arena. De acuerdo con la clasificación AASHTO, este suelo se clasifica como A-6 (5). Para obtener información más detallada sobre los procedimientos de laboratorio, (*Ver anexo 06*).

Gráfico 3: Curva granulométrica - calicata C-1



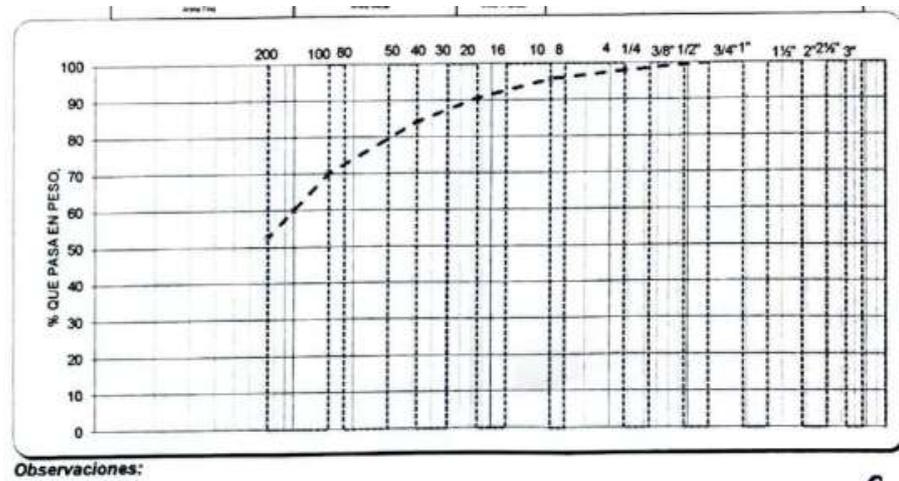
Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.3. Ensayo de granulometría Calicata C-2

La calicata C-2 luego de haber llevado a cabo el ensayo de granulometría y realizado los cálculos respectivos, de acuerdo con la curva granulométrica que se muestra en el gráfico 4, se puede determinar que el suelo contiene un 2.1% de grava y un 97.9% de arena. Según la clasificación AASHTO, este suelo se

categoriza como A-7-5 (9). Para obtener información más detallada sobre los procedimientos de laboratorio, (Ver anexo 08).

Gráfico 4: Curva granulométrica - calicata C-2

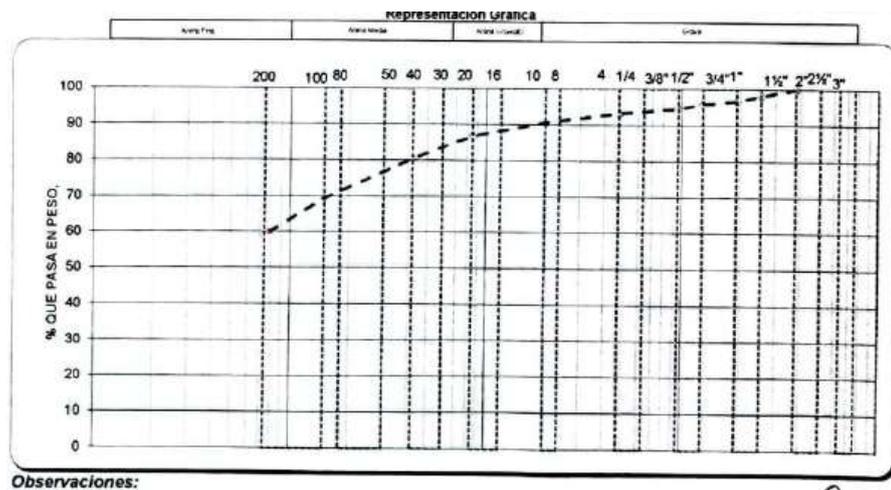


Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.4. Ensayo de granulometría Calicata C-3

La calicata C-3 luego de haber llevado a cabo el ensayo de granulometría y realizado los cálculos respectivos, según la curva granulométrica representada en el gráfico 5, se puede apreciar que el suelo contiene un 6.8% de grava y un 93.2% de arena, lo que lo clasifica, según la normativa AASHTO, como un suelo A-7-5 (9). Para obtener información más detallada sobre los procedimientos de laboratorio, (Ver anexo 08).

Gráfico 5: Curva granulométrica - calicata C-3



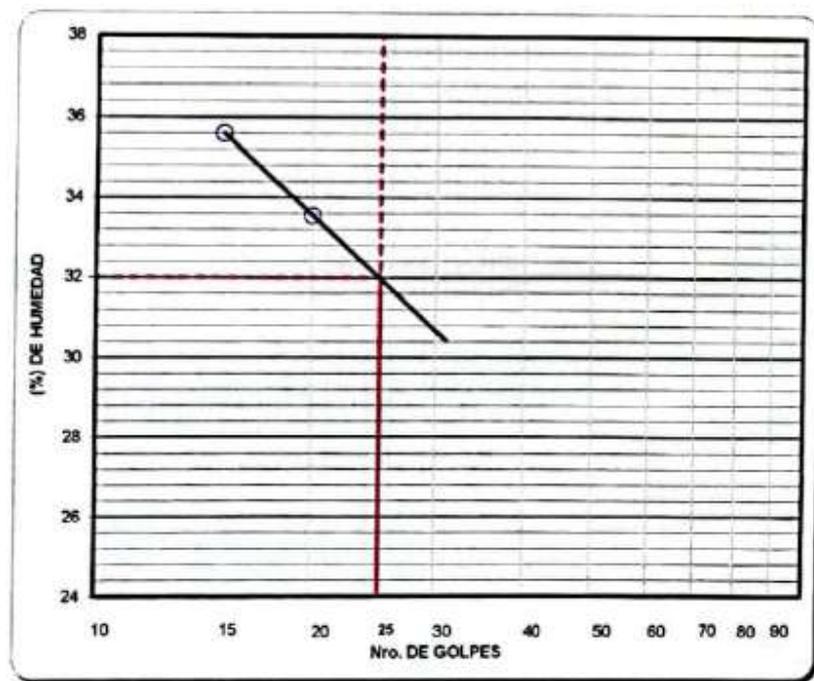
Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.5. Ensayo de Límites de Atterberg de la Calicata C-1

Después de realizar el ensayo de límites de Atterberg en la calicata C-1 y realizar los cálculos correspondientes, se obtuvieron resultados fundamentales que

proporcionan una comprensión detallada de las propiedades del suelo en la ubicación específica del estudio. Los datos revelaron un índice de plasticidad del 10.70%, indicativo de la capacidad del suelo para deformarse sin fracturarse, información crucial para la evaluación del comportamiento del suelo bajo carga. Además, se determinó un límite líquido del 32.00%, que representa el contenido de agua en el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado semilíquido, y un límite plástico de 21.30%, que marca el punto de transición del estado plástico al estado semisólido del suelo. Estos resultados, detallados en el anexo 06, sirven como datos esenciales para la ingeniería geotécnica, proporcionando información crucial para el diseño de las técnicas de estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en los caminos vecinales de la carretera Sicuani – Trapiche, Canchis, Cusco (2022).

Gráfico 6: Curva de límite líquido - calicata C-1



Observaciones:

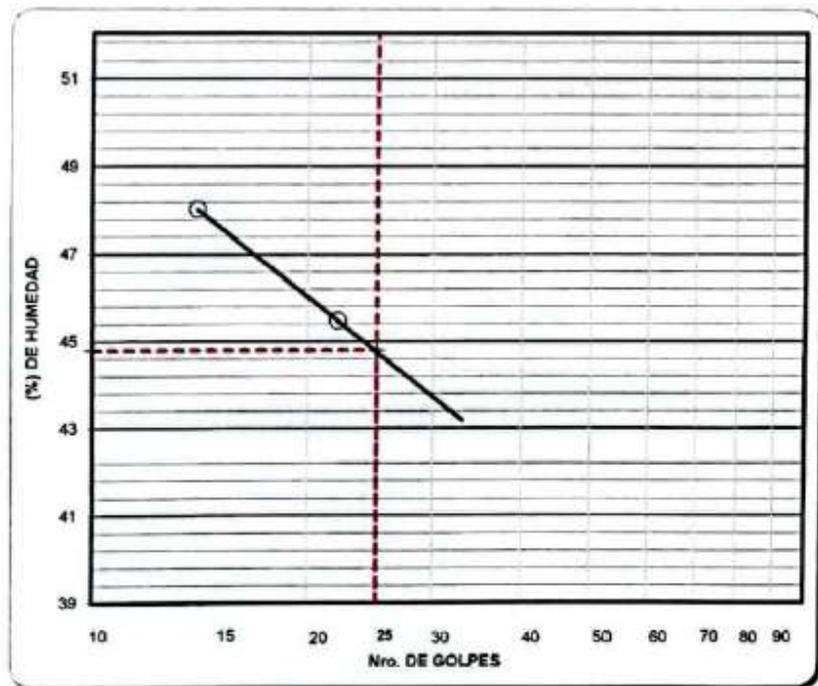
Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.6. Ensayo de Límites de Atterberg de la Calicata C-2

Después de realizar el ensayo de límites de Atterberg en la calicata C-3 y realizar los cálculos correspondientes, se obtuvieron resultados fundamentales que proporcionan una comprensión detallada de las propiedades del suelo en la ubicación específica del estudio. Los datos revelaron un índice de plasticidad del 14.55%, indicativo de la capacidad del suelo para deformarse sin fracturarse, información crucial para la evaluación del comportamiento del suelo bajo carga.

Además, se determinó un límite líquido del 44.80%, que representa el contenido de agua en el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado semilíquido, y un límite plástico de 30.25%, que marca el punto de transición del estado plástico al estado semisólido del suelo. Estos resultados, detallados en el anexo 06, sirven como datos esenciales para la ingeniería geotécnica, proporcionando información crucial para el diseño de las técnicas de estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en los caminos vecinales de la carretera Sicuani – Trapiche, Canchis, Cusco (2022).

Gráfico 7: Curva de límite líquido - calicata C-2



Observaciones:

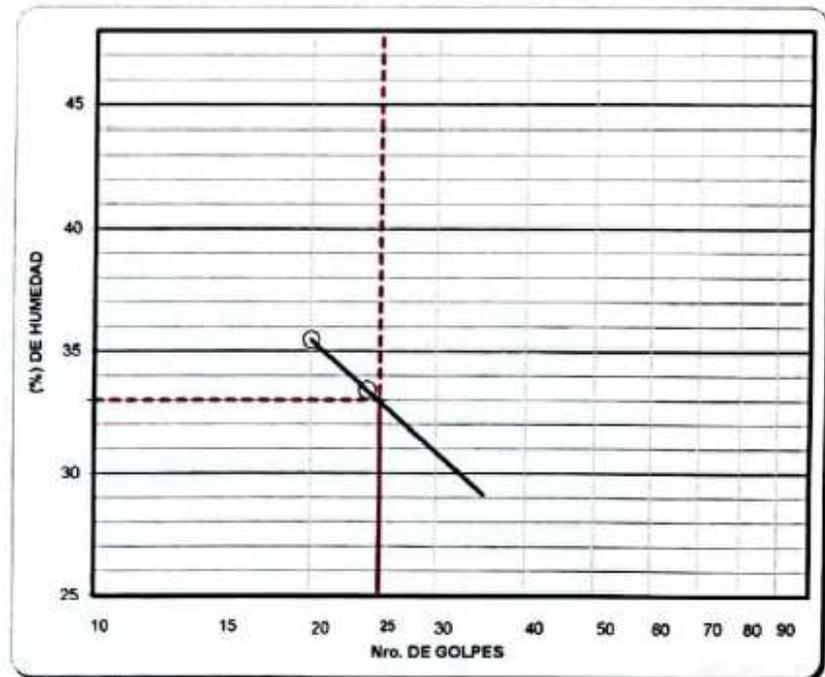
Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.7. Ensayo de Límites de Atterberg de la Calicata C-3

Después de realizar el ensayo de límites de Atterberg en la calicata C-3 y realizar los cálculos correspondientes, se obtuvieron resultados fundamentales que proporcionan una comprensión detallada de las propiedades del suelo en la ubicación específica del estudio. Los datos revelaron un índice de plasticidad del 12.64%, indicativo de la capacidad del suelo para deformarse sin fracturarse, información crucial para la evaluación del comportamiento del suelo bajo carga. Además, se determinó un límite líquido del 33.00%, que representa el contenido de agua en el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado semilíquido, y un límite plástico de 20.36%, que marca el punto de transición del estado plástico al estado semisólido del suelo. Estos resultados, detallados en el anexo 06, sirven como datos esenciales para la ingeniería geotécnica, proporcionando información

crucial para el diseño de las técnicas de estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en los caminos vecinales de la carretera Sicuani – Trapiche, Canchis, Cusco (2022).

Gráfico 8: Curva de límite líquido - calicata C-3



Observaciones:

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3. Diseño de las combinaciones

Para determinar la cantidad de muestras que se utilizaron, se hizo uso del diseño factorial, considerando que se tiene tres componentes del estudio conformados por el “suelo, cemento y Conaid”, con ello tenemos que: $2^k = 2^3 = 8$, obteniendo así 8 unidades muestrales sin contar con la muestra patrón sin presencia de aditivos. Para determinar la dosificación de cemento y aditivo Conaid se utilizó como referencia algunos antecedentes nacionales.

Referente al cemento: Cuzco (2019), hace uso de cemento en las proporciones de 1%, 1.5% y 2% del peso del material, siendo el 2% quien dio los mejores resultados y por otro lado Auccalla y Valenzuela (2019) hacen uso del cemento en proporciones de 10%, 13% y 16%, siendo el 16% quien dio los mejores resultados. Con estas referencias, se entiende que, al colocar menor cantidad de cemento, hay mejores resultados, entonces se propuso que la dosificación del cemento sea de 1%, 5%, 10% y 15% del peso del material en sus diferentes combinaciones.

Con respecto al aditivo Conaid: Carranza y Fernandez (2018) hacen uso de 0.10 kg/l³ y 0.05 kg/l³ por cada 2000kg/m³ de muestra, siendo el de 0.05 m/l³ quien dio los mejores resultados. Con esta referencia se entiende que al colocar menor cantidad de aditivo Conaid ofrece mejores resultados, entonces se propuso hacer uso del 5% y 10% del aditivo respecto al peso de la muestra. No obstante, por recomendación de los ingenieros que validaron los instrumentos se aplicó una dosificación de 1.0%, 3.0%, 5.0%, 10.0% y 15.0% de cemento y 2.5%, 5.0%, 7.5% y 10% de Conaid.

Tabla 24: Diseño de combinaciones

	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Ensayo de Plasticidad			Ensayo de Próctor Modificado			Ensayo de CBR		
				C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
M ₀	100%	0%	0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₁	96.5%	1.0%	2.5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₂	92.0%	3.0%	5.0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₃	90.0%	5.0%	5.0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₄	87.5%	5.0%	7.5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₅	75.0%	15.0%	10.0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₆	89.0%	1.0%	10.0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₇	80.0%	15.0%	5.0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₈	80.0%	10.0%	10.0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la bibliografía revisada, tenemos que existen muestras que no representan una variación significativa para nuestro estudio y por recomendación de los ingenieros que validaron los instrumentos solo se llevará a cabo el análisis de las 3 primeras muestras y también el análisis de la muestra patrón como se puede apreciar en la tabla 25, haciendo así nuestra población ahora de 135 unidades muestrales.

Tabla 25: Combinaciones estudiadas

	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Ensayo de Plasticidad			Ensayo de Próctor Modificado			Ensayo de CBR		
				C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
M ₀	100%	0%	0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₁	96.50%	1.00%	2.50%	3	3	3	3	3	3	3	3	3

M ₂	92.00%	3.00%	5.00%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₃	90.0%	5.0%	5.0%	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M ₄	87.5%	5.0%	7.5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Fuente: elaboración propia

4.1.3. Análisis de la información

4.1.3.1. Cálculo de la plasticidad (IP) de la subrasante

En la tabla 26, se muestra un resumen de los cálculos realizados para determinar el límite líquido (LL) en cada una de las calicatas (C-1, C-2 y C-3), así como para cada unidad muestral (U1, U2 y U3). Para un análisis detallado de los resultados obtenidos en el laboratorio, (Ver anexo 06).

En la tabla 27, se resume el cálculo del límite plástico (LP) realizado para cada calicata (C-1, C-2 y C-3), así como para cada unidad muestral (U1, U2 y U3). Para un análisis más detallado de estos cálculos realizados en el laboratorio, (Ver anexo 06).

En la tabla 28, se resume el cálculo del índice de plasticidad (IP) realizado para cada calicata (C-1, C-2 y C-3), así como para cada unidad muestral (U1, U2 y U3). Para un análisis más detallado de estos cálculos realizados en el laboratorio, (Ver anexo 06).

Muestra patrón:

Para determinar la plasticidad de la muestra patrón, se realizó el ensayo de Límites de Atterberg. En este proceso, se determinó primero el Límite Líquido en el laboratorio, así como el límite plástico. La plasticidad se calcula como la diferencia entre estos dos valores, siguiendo el siguiente procedimiento:

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 32.0\% - 21.3\%$$

$$IP = 10.7\%$$

Esto se realizó para cada unidad muestral de cada calicata, y se identificó que el más representativo con el menor índice de plasticidad corresponde a la calicata C-1 (U-1), con un índice de plasticidad del 10.7%.

Muestra estabilizada:

Para determinar la plasticidad de la muestra estabilizada, se realizó el ensayo de Límites de Atterberg, donde se determinó inicialmente el Límite Líquido en el laboratorio, así como el límite plástico. La plasticidad se calcula como la diferencia entre estos dos valores, siguiendo el siguiente procedimiento:

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 19.5\% - 15.8\%$$

$$IP = 3.7\%$$

Esto se realizó para cada unidad muestral de cada calicata y para cada dosificación, y el valor más representativo con el menor índice de plasticidad correspondió a la calicata C-3 (U-2), con un índice de plasticidad del 3.7%.

Fotografía 3: Ensayo de Límites de Consistencia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Resumen del análisis de límite líquido

Muestra	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Límite líquido (%)								
				C-1			C-2			C-3		
				U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
M ₀	100%	0%	0%	32	31.5	31.7	44.8	45	44.7	33	33.4	32.8
M ₁	96.5%	1%	2.5%	22	22.2	21.9	26	25.8	26.3	20	19.5	20.2
M ₂	92.0%	3%	5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M ₃	90.0%	5%	5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M ₄	87.5%	5%	7.5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia

Tabla 27: Resumen del análisis de límite plástico

Muestra	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Límite plástico (%)								
				C-1			C-2			C-3		
				U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
M ₀	100%	0%	0%	21.3	20.6	20.9	30.3	30.2	30.6	20.4	20.4	20.7
M ₁	96.50%	1%	2.50%	18.0	18.0	18.0	19.0	18.4	19.5	16.0	15.8	16.1
M ₂	92%	3%	5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M ₃	90.0%	5%	5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M ₄	87.5%	5%	7.5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia

Tabla 28: Resumen del cálculo de plasticidad

Muestra	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Plasticidad (%)								
				C-1			C-2			C-3		
				U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
M ₀	100%	0%	0%	10.7	10.9	10.8	14.5	14.8	14.1	12.6	13.0	12.1
M ₁	96.50%	1%	2.50%	4.0	4.2	3.9	7.0	7.4	6.8	4.0	3.7	4.1
M ₂	92%	3%	5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M ₃	90.0%	5%	5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M ₄	87.5%	5%	7.5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia

4.1.3.2. Medición de la máxima densidad seca (MDS) de la subrasante

En la tabla 29 se presenta un resumen del análisis de la medición de la máxima densidad seca (MDS) realizado para cada calicata (C-1, C-2 y C-3), así como para cada unidad muestral (U1, U2 y U3). Cuyo análisis detallado en laboratorio se aprecia mejor en (Ver anexo 06).

Muestra patrón:

Para determinar la MDS de la muestra patrón, se realizó el ensayo de Proctor Modificado. Este proceso involucra la medición del peso del recipiente junto con la muestra de suelo, la obtención del peso del recipiente solo, lo que permite calcular el peso de la muestra. Luego, se procede a determinar el peso del suelo húmedo compactado y el volumen del molde. Con estos datos, se calcula el peso del suelo húmedo y, posteriormente, el peso del suelo seco. Finalmente, se calcula el contenido de humedad, representado como COH, que se utiliza para graficar la curva de humedad-densidad.

Masa del suelo húmedo:

$$Mh = MT - Mm$$

$$Mh = 9855gr - 6032gr$$

$$Mh = 3823gr$$

Volumen del molde:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H$$

$$V = 2116cm^3$$

Densidad húmeda:

$$\gamma_h = \frac{M_h}{V}$$

$$\gamma_h = \frac{3823}{2116}$$

$$\gamma_h = 1.81gr/cm^3$$

Porcentaje de humedad:

$$H = \frac{M_t - M_s}{M_s - M_c} \times 100$$

$$H = \frac{9855 - 6424.6}{6424.6 - 6032} \times 100$$

$$H = 11.80\%$$

Densidad seca:

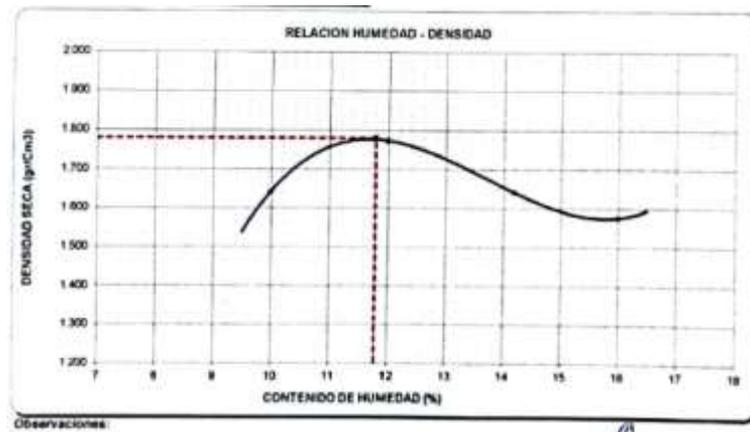
$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{H_p}{100}}$$

$$\gamma_d = \frac{1.81}{1 + \frac{9.95}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.643 \text{ gr/cm}^3$$

Esto se realizó para cada unidad muestral de todas las calicatas, y el valor más representativo se obtuvo en la calicata C-2 (U-2), con un índice de plasticidad del 14.8%.

Gráfico 9: Curva humedad-densidad



Fuente: Elaboración propia

Mediante esta curva se identifica el punto más alto, lo que nos permite determinar la Máxima Densidad Seca (MDS) para cada unidad muestral de todas las calicatas. El valor más representativo se encontró en la calicata C-2 (U-3), con un 1.99% de MDS.

Muestra estabilizada:

Para determinar la Máxima Densidad Seca (MDS) de la muestra estabilizada, se realizó el ensayo de Proctor Modificado. Este procedimiento implica medir el peso del recipiente junto con la muestra de suelo, luego el peso del recipiente vacío, lo que nos permite calcular el peso de la muestra. A continuación, se determinó el peso del suelo húmedo compactado y se registró el volumen del molde. Con estos datos, se calculó el peso del suelo húmedo y, finalmente, el peso del suelo seco, lo que permitió obtener el contenido de humedad. Con esta información, se construyó la curva de humedad-densidad:

Masa del suelo húmedo:

$$Mh = MT - Mm$$

$$Mh = 12219 \text{ gr} - 8526 \text{ gr}$$

$$M_h = 3963 \text{ gr}$$

Volumen del molde:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H$$

$$V = 2057.74 \text{ cm}^3$$

Densidad húmeda:

$$\gamma_h = \frac{M_h}{V}$$

$$\gamma_h = \frac{3963}{2057.74}$$

$$\gamma_h = 1.926 \text{ gr/cm}^3$$

Porcentaje de humedad:

$$H = \frac{M_t - M_s}{M_s - M_c} \times 100$$

$$H = \frac{122219 - 811.30}{911.30 - 3963} \times 100$$

$$H = 11.4\%$$

Densidad seca:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{Hp}{100}}$$

$$\gamma_d = \frac{1.926}{1 + \frac{7.28}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.728 \text{ gr/cm}^3$$

Mediante esta curva, se identifica el punto más alto, que corresponde a nuestra Máxima Densidad Seca (MDS) para cada unidad muestral de cada calicata. El valor más representativo se obtuvo en la calicata C-1 (U-3), con un 2.12% de MDS.

Fotografía 4: Ensayo de Límites de Máxima Densidad Seca



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Resumen de la medición de Máxima Densidad Seca

Muestra	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Densidad Máxima Seca (g/cm ³)								
				C-1			C-2			C-3		
				U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
M ₀	100%	0%	0%	1.78	1.82	1.73	1.95	1.9	1.99	1.9	1.95	1.93
M ₁	96.50%	1%	2.50%	1.9	1.92	1.95	1.65	1.67	1.66	1.87	1.89	1.89
M ₂	92%	3%	5%	1.92	1.94	1.95	1.64	1.71	1.68	1.89	1.95	1.95
M ₃	90%	5%	5%	2.12	2.08	2.15	2.13	2.09	2.11	2.10	2.11	2.11
M ₄	87.50%	5%	7.50%	1.91	2.01	2.12	1.93	2.00	2.11	1.92	2.00	2.11

Fuente: elaboración propia

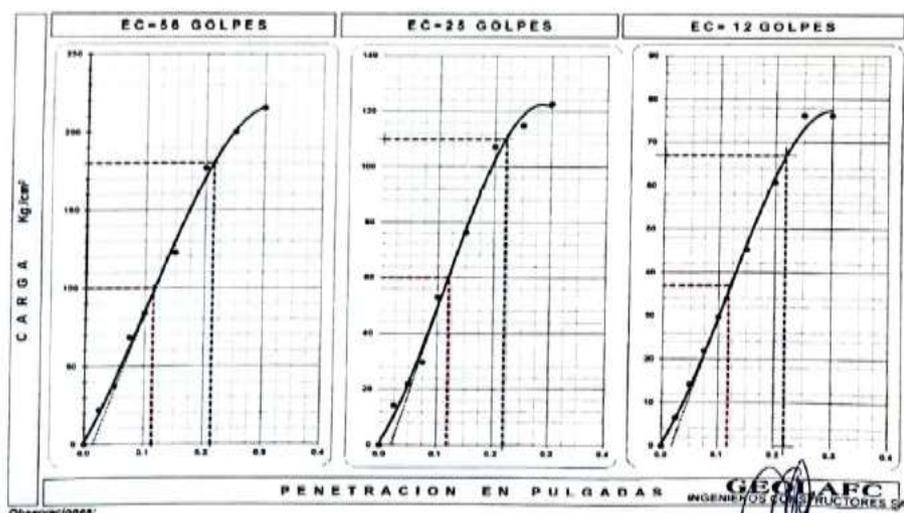
4.1.3.3. Cuantificación de la capacidad resistente (CBR) de la subrasante

En la tabla 30 se presenta un resumen del análisis de cuantificación de la capacidad resistente (CBR) llevada a cabo para cada calicata (C-1, C-2 y C-3); así como también para cada unidad muestral (U1, U2 y U3). Cuyo análisis detallado en laboratorio se aprecia mejor en (Ver anexo 08).

Muestra patrón:

Para determinar el CBR de la muestra patrón, se realizó el ensayo de CBR en laboratorio, para lo cual se requiere el Contenido de Humedad Óptimo (COH), la Máxima Densidad Seca (MDS) y el número de golpes para cada valor del dial. Posteriormente, se procede a realizar la corrección y se grafica para cada número de golpes:

Gráfico 10: Curvas esfuerzo - penetración



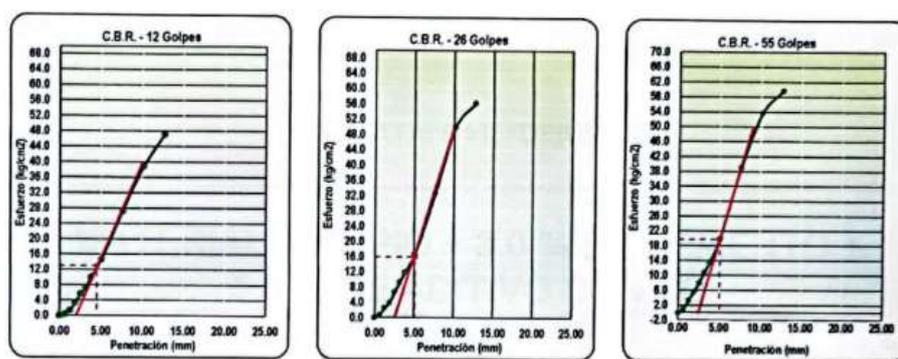
Fuente: Elaboración propia

Con nuestras densidades secas disponibles, procedemos a graficar la densidad seca frente al CBR para calcular los valores de CBR al 100% y al 95% en el dial de 0.1". De esta manera, obtenemos el CBR al 95% para cada unidad muestral de cada calicata, destacando como el más representativo el de la calicata C-2 (U-3), con un valor del 7.82% de CBR al 100%.

Muestra estabilizada:

Para determinar el CBR de la muestra estabilizada, se realizó el ensayo de CBR en el laboratorio, para lo cual se requirió el contenido de humedad óptimo (COH), la máxima densidad seca (MDS) y el número de golpes para cada posición del dial. Luego de realizar las correcciones necesarias, se procedió a graficar los resultados para cada número de golpes:

Gráfico 11: Curvas esfuerzo - penetración



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas las densidades secas, se procedió a graficar la relación entre la densidad seca y el CBR, calculando así los valores de CBR al 100% y al 95% para el dial de 0.1". Entre estos valores, el más representativo fue el de la calicata C-2 (U-3), que alcanzó un CBR al 95% de 55.82%.

Fotografía 5: Ensayo de CBR



Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Resumen de la cuantificación de la Capacidad Resistente Potencial

Muestra	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Capacidad Resistente Potencial - 95° (%)								
				C-1			C-2			C-3		
				U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
M ₀	100%	0%	0%	4.55	4.6	4.64	5.44	5.5	5.52	7.8	7.74	7.82
M ₁	96.50%	1%	2.50%	22.7	22.64	22.75	22.8	22.9	22.84	18.73	18.8	18.82
M ₂	92%	3%	5%	36.8	36.9	36.86	34.5	34	33.8	32.51	32.6	32.64
M ₃	90%	5%	5%	55.27	55.3	55.32	55.8	55.78	55.81	55.53	55.67	55.6
M ₄	87.50%	5%	7.50%	55.3	55.32	55.25	55.75	55.80	55.82	55.6	55.52	55.65

Fuente: elaboración propia

4.1.3.4. Estimación del módulo de resiliencia (Mr) de la subrasante

En la tabla 31 se presenta un resumen del análisis de estimación del módulo resiliente (Mr) llevado a cabo para cada calicata (C-1, C-2 y C-3); así como también para cada unidad muestral (U1, U2 y U3). Cuyo análisis detallado en laboratorio se aprecia mejor en (Ver anexo 08).

Para llevar a cabo la estimación del Mr, se hizo uso de la ecuación de Powell et al. (1984) y NCHRP (2004) TRRL ME Pavement Design Guide Level 2 USA, la cual es una correlación entre el Mr y el CBR:

La ecuación es la siguiente:

$$M_r = 2555CBR^{0.64}$$

Muestra de la calicata C-1 U-1 Mo

$$M_r = 2555(4.55)^{0.64}$$

$$M_r = 6737.80 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-2 Mo

$$M_r = 2555(4.6)^{0.64}$$

$$M_r = 6785.09 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-3 Mo

$$M_r = 2555(4.64)^{0.64}$$

$$M_r = 6822.80 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-1 M1

$$M_r = 2555(22.7)^{0.64}$$

$$M_r = 18847.23 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-2 M1

$$M_r = 2555(22.64)^{0.64}$$

$$M_r = 18815.33 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-3 M1

$$M_r = 2555(22.75)^{0.64}$$

$$M_r = 18873.78 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-1 M2

$$M_r = 2555(36.8)^{0.64}$$

$$M_r = 25676.36 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-2 M2

$$M_r = 2555(36.9)^{0.64}$$

$$M_r = 25721 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-3 M2

$$M_r = 2555(36.86)^{0.64}$$

$$M_r = 25703.15 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-1 M3

$$M_r = 2555(55.27)^{0.64}$$

$$M_r = 33310.73 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-2 M3

$$M_r = 2555(55.3)^{0.64}$$

$$M_r = 33322.30 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-3 M3

$$M_r = 2555(55.32)^{0.64}$$

$$M_r = 33330.01 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-1 M4

$$M_r = 2555(55.3)^{0.64}$$

$$M_r = 33322.30 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-2 M4

$$M_r = 2555(55.32)^{0.64}$$

$$M_r = 33330.01 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-1 U-3 M4

$$M_r = 2555(55.25)^{0.64}$$

$$M_r = 33303.02 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-1 Mo

$$M_r = 2555(5.44)^{0.64}$$

$$M_r = 7553.95 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-2 Mo

$$M_r = 2555(5.50)^{0.64}$$

$$M_r = 7607.17 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-3 Mo

$$M_r = 2555(5.52)^{0.64}$$

$$M_r = 7624.86 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-1 M1

$$M_r = 2555(22.8)^{0.64}$$

$$M_r = 18900.32 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-2 M1

$$M_r = 2555(22.9)^{0.64}$$

$$M_r = 18953.33 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-3 M1

$$M_r = 2555(22.84)^{0.64}$$

$$M_r = 18921.54 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-1 M2

$$M_r = 2555(34.5)^{0.64}$$

$$M_r = 24637.41 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-2 M2

$$M_r = 2555(34.0)^{0.64}$$

$$M_r = 24408.29 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-3 M2

$$M_r = 2555(33.8)^{0.64}$$

$$M_r = 24316.31 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-1 M3

$$M_r = 2555(55.80)^{0.64}$$

$$M_r = 33514.81 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-2 M3

$$M_r = 2555(55.78)^{0.64}$$

$$M_r = 33507.12 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-3 M3

$$M_r = 2555(55.81)^{0.64}$$

$$M_r = 33518.66 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-1 M4

$$M_r = 2555(55.75)^{0.64}$$

$$M_r = 33495.59 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-2 M4

$$M_r = 2555(55.8)^{0.64}$$

$$M_r = 33514.81 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-2 U-3 M4

$$M_r = 2555(55.82)^{0.64}$$

$$M_r = 33522.50 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-1 Mo

$$M_r = 2555(7.8)^{0.64}$$

$$M_r = 9513.31 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-2 Mo

$$M_r = 2555(7.74)^{0.64}$$

$$M_r = 9466.41 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-3 Mo

$$M_r = 2555(7.82)^{0.64}$$

$$M_r = 9528.91 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-1 M1

$$M_r = 2555(18.73)^{0.64}$$

$$M_r = 16665.37 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-2 M1

$$M_r = 2555(18.8)^{0.64}$$

$$M_r = 16705.21 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-3 M1

$$M_r = 2555(18.82)^{0.64}$$

$$M_r = 16716.58 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-1 M2

$$M_r = 2555(32.51)^{0.64}$$

$$M_r = 23718.20 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-2 M2

$$M_r = 2555(32.6)^{0.64}$$

$$M_r = 23760.20 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-3 M2

$$M_r = 2555(32.64)^{0.64}$$

$$M_r = 23778.86 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-1 M3

$$M_r = 2555(55.53)^{0.64}$$

$$M_r = 33410.93 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-2 M3

$$M_r = 2555(55.67)^{0.64}$$

$$M_r = 33464.82 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-3 M3

$$M_r = 2555(55.60)^{0.64}$$

$$M_r = 33437.88 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-1 M4

$$M_r = 2555(55.6)^{0.64}$$

$$M_r = 33437.88 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-2 M4

$$M_r = 2555(55.52)^{0.64}$$

$$M_r = 33407.08 \text{ psi}$$

Muestra de la calicata C-3 U-3 M4

$$M_r = 2555(55.65)^{0.64}$$

$$M_r = 33457.12 \text{ psi}$$

Tabla 31: Resumen de la estimación del Módulo de Resiliencia

Muestra	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Módulo de Resiliencia (psi)								
				C-1			C-2			C-3		
				U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
M ₀	100%	0%	0%	6737.80	6785.09	6822.80	7553.95	7607.17	7624.86	9513.31	9466.41	9528.91
M ₁	96.50%	1%	2.50%	18847.23	18815.33	18873.78	18900.32	18953.33	18921.54	16665.37	16705.21	16716.58
M ₂	92%	3%	5%	25676.36	25721.00	25703.15	24637.41	24408.29	24316.31	23718.20	23760.20	23778.86
M ₃	90%	5%	5%	33310.73	33322.30	33330.01	33514.81	33507.12	33518.66	33410.93	33464.82	33437.88
M ₄	87.50%	5%	7.50%	33322.30	33330.01	33303.02	33495.59	33514.81	33522.50	33437.88	33407.08	33457.12

Fuente: elaboración propia

4.1.4. Resultados de la investigación

4.1.4.1. Resultados de la plasticidad (IP) de la subrasante

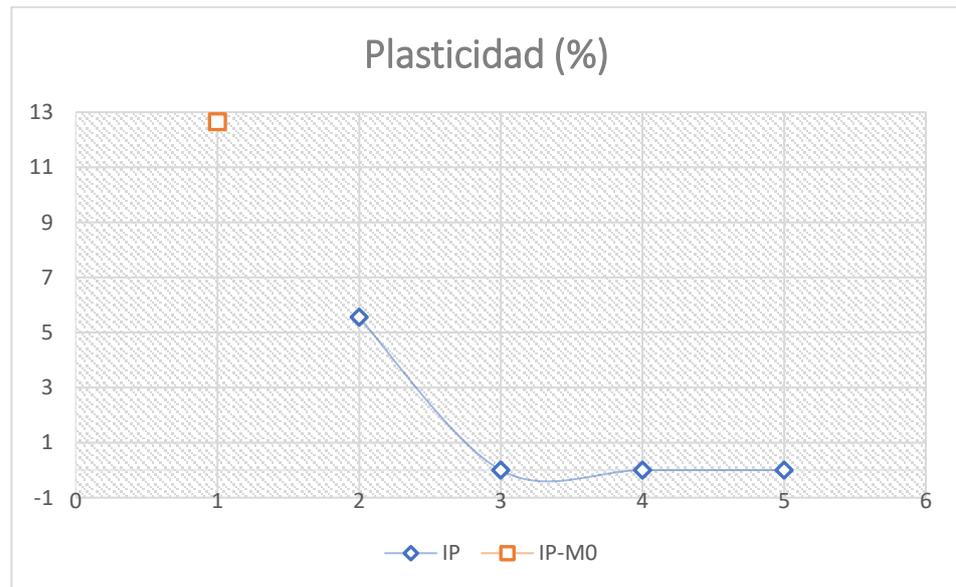
En la tabla 32 se presenta los resultados obtenidos de la Máxima Densidad Seca (MDS) de la muestra de la subrasante sin estabilizar (M₀) y las muestras de la subrasante estabilizadas con su dosificación respectiva (M₁, M₂, M₃ y M₄), así como también la media de estos por cada muestra.

Tabla 32: Resultados de plasticidad

Muestra	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Plasticidad (%)			
				C-1	C-2	C-3	Promedio
M ₀	100%	0%	0%	10.8	14.5	12.6	12.65
M ₁	96.50%	1%	2.50%	4.0	7.1	3.9	5.55
M ₂	92%	3%	5%	NP	NP	NP	NP
M ₃	90%	5%	5%	NP	NP	NP	NP
M ₄	87.50%	5%	7.50%	NP	NP	NP	NP

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12: Resultados de plasticidad



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la tabla 32, se observa que la plasticidad (IP) de la subrasante estabilizada con la adición de cemento y el aditivo Conaid varía en las dosificaciones M0 (100%S + 0%C + 0%A), M1 (96.5%S + 1%C + 2.5%A), M2 (92%S + 3%C + 5%A), M3 (90%S + 5%C + 5%A), y M4 (87.5%S + 5%C + 7.5%A), registrando valores de 12.65%, 5.55%, NP, NP y NP, respectivamente. El valor más bajo de plasticidad (IP) se obtiene con la dosificación M1 (96.50%S + 1% C + 2.50%A), con un IP de 5.55% ± 0.5094%. Además, en el gráfico 12 se aprecia que a medida que aumentan las dosificaciones, tiende a transformarse en un suelo no plástico.

4.1.4.2. Resultados de la máxima densidad seca (MDS) de la subrasante

En la tabla 33 se presenta los resultados obtenidos de la Máxima Densidad Seca (MDS) de la muestra de la subrasante sin estabilizar (M₀) y las muestras de la subrasante estabilizadas con su dosificación respectiva (M₁, M₂, M₃ y M₄), así como también la media de estos por cada muestra.

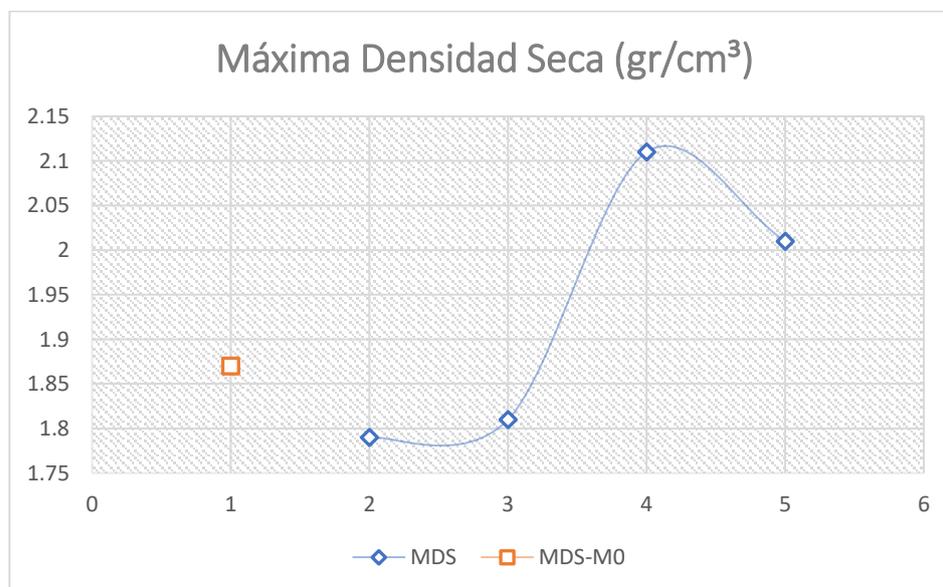
Tabla 33: Resultados de máxima densidad seca

Muestra	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Máxima Densidad Seca (g/cm ³)			
				C-1	C-2	C-3	Promedio
M ₀	100%	0%	0%	1.78	1.95	1.93	1.87

M ₁	96.50%	1%	2.50%	1.92	1.66	1.88	1.79
M ₂	92%	3%	5%	1.94	1.68	1.93	1.81
M ₃	90%	5%	5%	2.12	2.11	2.11	2.11
M ₄	87.50%	5%	7.50%	2.01	2.01	2.01	2.01

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 13: Resultados de máxima densidad seca



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la tabla 33, se observa que la Máxima Densidad Seca (MDS) de la subrasante estabilizada con la adición de cemento y el aditivo Conaid varía en las dosificaciones M0 (100%S + 0%C + 0%A), M1 (96.5%S + 1%C + 2.5%A), M2 (92%S + 3%C + 5%A), M3 (90%S + 5%C + 5%A), y M4 (87.5%S + 5%C + 7.5%A), registrando valores de 1.87g/cm³, 1.79g/cm³, 1.81g/cm³, 2.11g/cm³ y 2.01g/cm³, respectivamente. El valor más alto de Máxima Densidad Seca (MDS) se obtiene con la dosificación M3 (90%S + 5%C + 5%A), con una MDS de 2.11g/cm³ ± 0.0099g/cm³. Además, en el gráfico 13 se aprecia que a medida que aumentan las dosificaciones, tiende a disminuir la Máxima Densidad Seca.

4.1.4.3. Resultados de la capacidad resistente (CBR) de la subrasante

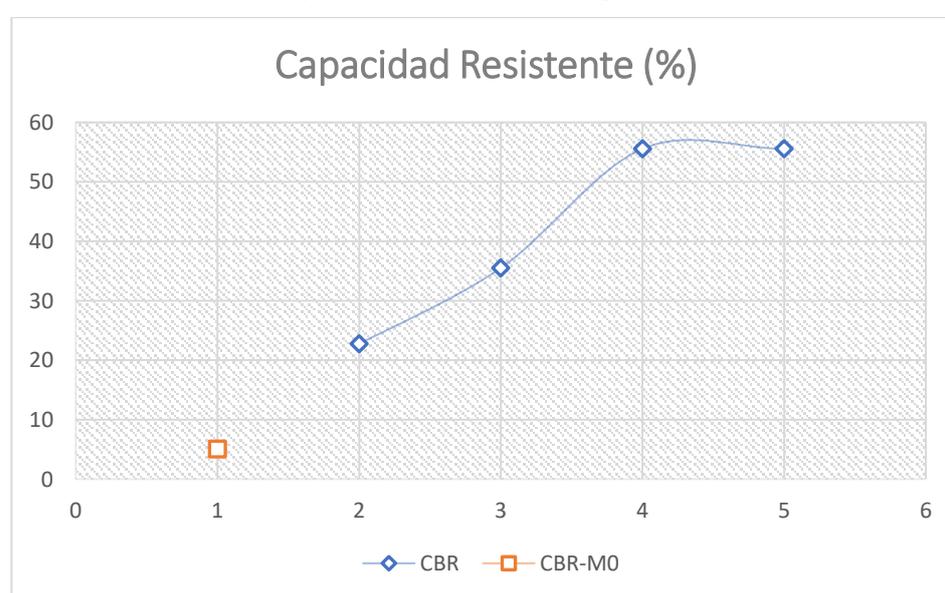
En la tabla 34 se presenta los resultados obtenidos de la capacidad resistente (CBR) de la muestra de la subrasante sin estabilizar (M₀) y las muestras de la subrasante estabilizadas con su dosificación respectiva (M₁, M₂ y M₃), así como también la media de estos por cada muestra.

Tabla 34: Resultados de capacidad resistente

Muestra	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Capacidad Resistente (%)			
				C-1	C-2	C-3	Promedio
M ₀	100%	0%	0%	4.6	5.5	7.8	5.05
M ₁	96.50%	1%	2.50%	22.7	22.8	18.8	22.75
M ₂	92%	3%	5%	36.9	34.1	32.6	35.50
M ₃	90%	5%	5%	55.3	55.8	55.6	55.55
M ₄	87.50%	5%	7.50%	55.3	55.8	55.6	55.55

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14: Resultados de capacidad resistente



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la tabla 34, se observa que la Capacidad Resistente (CBR) de la subrasante estabilizada con la adición de cemento y el aditivo Conaid varía en las dosificaciones M₀ (100%S + 0%C + 0%A), M₁ (96.5%S + 1%C + 2.5%A), M₂ (92%S + 3%C + 5%A), M₃ (90%S + 5%C + 5%A) y M₄ (87.5%S + 5%C + 7.5%A), registrando valores de 5.05%, 22.75%, 35.50%, y 55.55%, respectivamente. El valor más alto de la Capacidad Resistente (CBR) se obtiene con la dosificación M₃ (90%S + 5%C + 5%A), con un CBR de 55.55% ± 0.5800%. Además, en el gráfico 14 se aprecia que, para mayores dosificaciones, la Capacidad Resistente tiende a mantenerse constante.

4.1.4.4. Resultados del módulo de resiliencia (Mr) de la subrasante

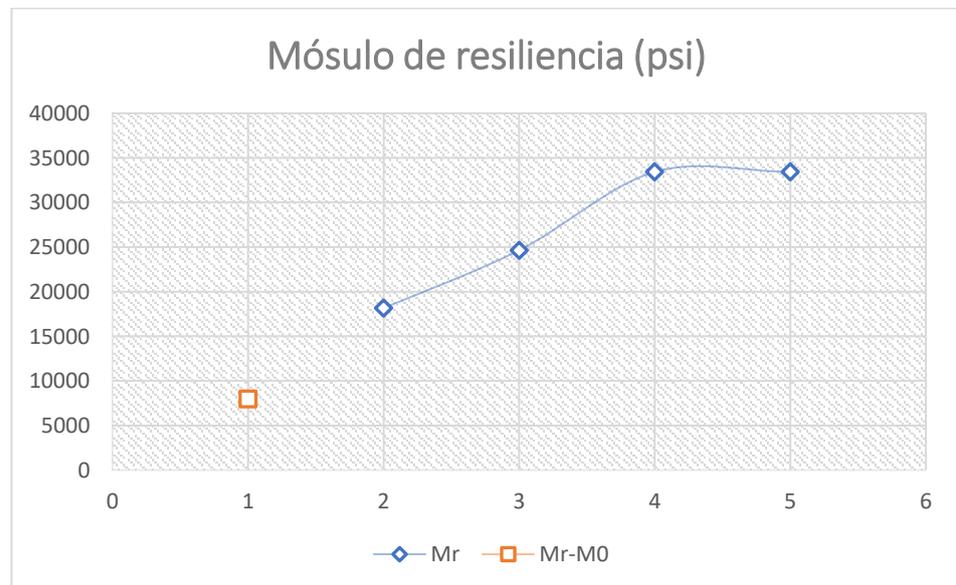
En la tabla 35 se presenta los resultados obtenidos del módulo de resiliencia (Mr) de la muestra de la subrasante sin estabilizar (M₀) y las muestras de la subrasante estabilizadas con su dosificación respectiva (M₁, M₂, M₃ y M₄), así como también la media de estos por cada muestra.

Tabla 35: Resultados de módulo de resiliencia

Muestra	Suelo (S)	Cemento (C)	Aditivo Conaid (A)	Módulo de resiliencia (psi)			
				C-1	C-2	C-3	Promedio
M ₀	100%	0%	0%	6781.90	7595.33	9502.87	7960.03
M ₁	96.50%	1%	2.50%	18845.45	18925.06	16695.72	18155.41
M ₂	92%	3%	5%	25700.17	24454.00	23752.42	24635.53
M ₃	90%	5%	5%	33321.01	33513.53	33437.88	33424.14
M ₄	87.50%	5%	7.50%	33318.44	33510.97	33434.03	33421.15

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 15: Resultados de módulo de resiliencia



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la tabla 35, se evidencia que el Módulo de Resiliencia (Mr) de la subrasante estabilizada con la adición de cemento y el aditivo Conaid varía en las dosificaciones M0 (100%S + 0%C + 0%A), M1 (96.5%S + 1%C + 2.5%A), M2 (92%S + 3%C + 5%A), M3 (90%S + 5%C + 5%A) y M4 (87.5%S + 5%C + 7.5%A), registrando valores de 7960.03 psi, 18155.41 psi, 24635.53 psi, y 33421.15 psi, respectivamente. El valor más alto del Módulo de Resiliencia (Mr) se obtiene con la dosificación M3 (90%S + 5%C + 5%A), con un Mr de 33424.14 psi \pm 0.4273 psi. Además, en el gráfico 15 se aprecia que, para mayores dosificaciones, el Módulo de Resiliencia tiende a disminuir.

4.1.4.5. Análisis de precios unitarios

En la tabla 36 se presenta el análisis de precios unitarios de la estabilización de la subrasante sin aditivo Conaid y sin cemento, el cual alcanza un valor de 21.56 nuevos soles por m³, en la tabla 35 se posee el análisis de precios unitarios de la estabilización de la subrasante con cemento y aditivo Conaid, el cual alcanza un monto de 77.36 nuevos soles por m³. La diferencia de costos antes y después de la estabilización con cemento y aditivo Conaid nos da un monto de 58 nuevos soles, con lo cual el incremento del costo es de un 258.81%.

Tabla 36: Análisis de costos unitarios de la estabilización de subrasante sin aditivo Conaid ni cemento

Partida	01.01					
Rendimiento	m ³ / día	2340	EQ	2340	Costo unitario por m ³ :	S/. 21.86
Código	Descripción recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario S/.	Precio parcial S/.
Mano de obra						
0101010002	Capataz	hh	0.8775	0.0030	23.44	0.07
0101010005	Peón	hh	6.1425	0.0210	16.76	0.35
0101030008	Controlador	hh	0.8775	0.0030	23.44	0.07
0.49						
Materiales						
02070400010007	Material seleccionado	m ³		1.0000	20.00	20.00
0290130022	Agua	m ³		0.0200	2.36	0.05

20.05

Equipos						
0301010006	Herramientas manuales	%mo		0.0300	0.19	
0301010006	Rodillo liso vibratorio	hm	0.8775	0.0030	220.00	0.66
0301200001	Motoniveladora	hm	0.8775	0.0030	220.00	0.66
						1.32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: Análisis de costos unitarios de la estabilización de subrasante con aditivo Conaid y cemento

Partida	01.01					
Rendimiento	m ³ / día	2340	EQ	2340	Costo unitario por m³:	S/. 77.66
Código	Descripción recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario S/.	Precio parcial S/.
Mano de obra						
0101010002	Capataz	hh	0.8775	0.0030	23.44	0.07
0101010005	Peón	hh	6.1425	0.0210	16.76	0.35
0101030008	Controlador	hh	0.8775	0.0030	23.44	0.07
						0.21
Materiales						
02070400010007	Material seleccionado	m ³		1.0000	20.00	20.00
0290130022	Agua	m ³		0.0200	2.36	0.05
0213010008	Cemento Portland tipo I (42.5 kg)	Kg		50.0000	0.66	33.00
0222180002	Aditivo Conaid	l		0.0500	456.00	22.80
						75.85
Equipos						
0301010006	Herramientas manuales	%mo		0.0300	0.19	
0301010006	Rodillo liso vibratorio	hm	0.8775	0.0030	220.00	0.66
0301200001	Motoniveladora	hm	0.8775	0.0030	220.00	0.66

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 16: Análisis comparativo de costos de estabilización con y sin aditivo Conaid y cemento



Fuente: Elaboración propia

Si bien es cierto el hecho de utilizar una estabilización mediante la aplicación de cemento y aditivo Conaid nos indica un alto costo con respecto a la estabilización por compactación tradicional, este alto costo es concordante con las ventajas que nos ofrece su uso, siendo la más principal la mejora de las propiedades físico mecánicas del suelo siendo capaces de soportar mayor cantidad de esfuerzos, acorde a ello se logra una mayor durabilidad de la carretera sin necesidad de llevar a cabo mantenimientos a corto plazo.

4.1.5. Contrastación de hipótesis

Para la contrastación de hipótesis se realizó la prueba t student para una muestra tanto para la contratación con la hipótesis general e hipótesis específicas.

4.1.5.1. Contrastación de la Hipótesis general

H1: La estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

H1: La estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid no varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

Tabla 38: Contrastación de hipótesis general

Prueba para una muestra				
	Valor de prueba = 100%			
	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de confianza	
			Inferior	Superior
Estabilización	0,029	10,19000	-0,10446	3,58446

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al valor de significancia (bilateral) igual a 0.029, este valor es menor a 0.05 (nivel de error al 5%); revela que, con suficiente certeza estadística se acepta la hipótesis general y se rechaza la hipótesis nula (H0); por tanto, la estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid, y el patrón con una estabilización de 100% poseen diferencias significativas. En síntesis, existe una variación significativa entre la estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

4.1.5.2. Contrastación de las Hipótesis específicas

4.1.5.2.1. Primera Hipótesis específica

HE1: La plasticidad con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

HE0: La plasticidad con cemento y aditivo Conaid no varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022

Tabla 39: Contrastación de hipótesis específica 1

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 12.65					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de confianza	
					Inferior	Superior
Plasticidad	-5,838	2	0,028	-10,8000	-18,7599	-2,8401

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al valor de significancia (bilateral) igual a 0.028, este valor menor a 0.05 (nivel de error al 5%); revela que, la plasticidad con cemento y aditivo Conaid, y el patrón con una plasticidad de 12.5%, poseen diferencias significativas. Por lo que, la plasticidad con cemento y aditivo Conaid varía significativamente del patrón en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

4.1.5.2.2. Segunda hipótesis específica

H1: La máxima densidad seca con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

H0: La máxima densidad seca con cemento y aditivo Conaid no varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

Tabla 40: Contrastación de hipótesis específica 2

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 1.87					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de confianza	
					Inferior	Superior
Densidad máxima	0,000	2	0,010	0,000000	-0,30221	0,30221

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al valor de significancia (bilateral) igual a 0.010, este valor es menor a 0.05 (nivel de error al 5%); revela que, con suficiente certeza estadística se acepta la hipótesis general y se rechaza la hipótesis nula (H0); por tanto, la máxima densidad de con cemento y aditivo Conaid, y el patrón con máxima densidad igual 1.87 poseen diferencias significativas. En síntesis, existe una variación significativa entre la máxima densidad con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

4.1.5.2.3. Tercera hipótesis específica

H1: La capacidad resistente potencial con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

H0: La capacidad resistente potencial con cemento y aditivo Conaid no varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

Tabla 41: Contrastación de hipótesis específica 3

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 5.05					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de confianza	
					Inferior	Superior
capacidad resistente	3,445	2	0,0350	43,88333	-8,1915	73,9581

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al valor de significancia (bilateral) igual a 0.035, este valor es menor a 0.05 (nivel de error al 5%); revela que, con suficiente certeza estadística se acepta la tercera hipótesis uno y se rechaza la hipótesis nula (H0); por tanto, capacidad resistente potencial con cemento y aditivo Conaid, y el patrón con una CBR de 5.05 poseen diferencias significativas. En síntesis, existe variación significativa entre la CBR con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022 y el patrón.

4.1.5.2.4. Cuarta hipótesis específica

H1: El módulo de resiliencia con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

H0: El módulo de resiliencia con cemento y aditivo Conaid no varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

Tabla 42: Contrastación de hipótesis específica 4

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 7960.03					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de confianza	
					Inferior	Superior

Módulo de resistencia	3,943	2	0,029	17444,00000	-1589,0424	36477,0424
-----------------------	-------	---	-------	-------------	------------	------------

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al valor de significancia (bilateral) igual a 0.029, este valor es menor a 0.05 (nivel de error al 5%); revela que, con suficiente certeza estadística se acepta la hipótesis general y se rechaza la hipótesis nula (H0); por tanto, el módulo de resiliencia con cemento y aditivo Conaid, y el patrón con un módulo de resiliencia igual 7960.03, poseen diferencias significativas. En síntesis, existe una variación significativa entre el módulo de resiliencia con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.

4.2. Discusión de resultados

4.2.1. Discusión 01: Plasticidad de la subrasante

La Plasticidad (IP) de la subrasante estabilizada con adición de cemento y aditivo Conaid varía de 12.65%, 5.55%, NP, NP, y NP para dosificaciones de $M_0(100\%S + 0\%C + 0\%A)$, $M_1(96.5\%S + 1\%C + 2.5\%A)$, $M_2(92\%S + 3\%C + 5\%A)$, $M_3(90\%S + 5\%C + 5\%A)$ y $M_4(87.5\%S + 5\%C + 7.5\%A)$ respectivamente, aclarando que la dosificación $M_2(92\%S + 3\%C + 5\%A)$, $M_3(90\%S + 5\%C + 5\%A)$ y $M_4(87.5\%S + 5\%C + 7.5\%A)$ no presentan plasticidad. Donde el valor más bajo de la plasticidad (IP) se presenta con la dosificación de $M_1(96.5\%S + 1\%C + 2.5\%A)$ con un IP de $5.55\% \pm 0.5094\%$; para mayores dosificaciones tiende a convertirse en un suelo no plástico. Al respecto Cuzco (2019), citado como antecedente nacional en su tesis de grado aplicó 3 porcentajes de dosificación de cemento para el cálculo de la Plasticidad, las cuales fueron 1%, 1.5% y 2%, en dichos resultados se observa que antes del proceso de estabilización el suelo posee un IP de 15%, dándonos a conocer que la subrasante no es adecuada y al estabilizarlo, en promedio posee un IP de 7%, lo cual indica que la subrasante es regular. Asimismo, Sinarahua (2021), citado como antecedente nacional en su artículo de investigación aplicó 5 dosificaciones de aditivo Conaid para el cálculo de la Plasticidad, las cuales fueron 0.15cm^3 , 0.18cm^3 , 0.21cm^3 , 0.24cm^3 y 0.27cm^3 por 60cm^3 de agua, en dichos resultados se observa que antes del proceso de estabilización el suelo posee un IP de 12.35% y al estabilizarlo, en promedio posee un IP de 8.24% para la adición en 0.24cm^3 de aditivo Conaid y para dosificaciones superiores va dejando de presentar plasticidad. Como se logra apreciar, los valores

calculados para el primer objetivo planteado son consistentes con los antecedentes; por lo tanto, se logró cumplir con el objetivo deseado.

4.2.2. Discusión 02: Máxima Densidad Seca de la subrasante

La Máxima Densidad Seca (MDS) de la subrasante estabilizada con adición de cemento y aditivo Conaid varía de 1.87g/cm^3 , 1.79g/cm^3 , 1.81g/cm^3 , 2.11g/cm^3 y 2.01g/cm^3 para dosificaciones de $M_0(100\%S + 0\%C + 0\%A)$, $M_1(96.5\%S + 1\%C + 2.5\%A)$, $M_2(92\%S + 3\%C + 5\%A)$, $M_3(90\%S + 5\%C + 5\%A)$ y $M_4(87.5\%S + 5\%C + 7.5\%A)$ respectivamente. Donde el valor más alto de la máxima densidad seca (MDS) se presenta con la dosificación $M_3(87.5\%S + 5\%C + 7.5\%A)$ con una MDS de $2.01\text{g/cm}^3 \pm 0.0099\text{g/cm}^3$; para mayores dosificaciones tiende a disminuir la Máxima Densidad Seca. Al respecto Cuzco (2019), citado como antecedente nacional aplicó 3 porcentajes de dosificación de cemento para el cálculo de la Máxima Densidad Seca, las cuales fueron 1%, 1.5% y 2%, en dichos resultados se observa que antes del proceso de estabilización el suelo posee una DSM de 1.804g/cm^3 , dándonos a conocer que la subrasante no es adecuada y al estabilizarlo, en promedio posee una DSM de 1.865g/cm^3 , lo cual indica que la subrasante es regular. Asimismo, Sinarahua (2021), citado como antecedente nacional aplicó 5 dosificaciones de aditivo Conaid para el cálculo de la Máxima Densidad Seca, las cuales fueron 0.15cm^3 , 0.18cm^3 , 0.21cm^3 , 0.24cm^3 y 0.27cm^3 por 60cm^3 de agua, en dichos resultados se observa que luego de estabilizarlo presentaba una DSM de 2.054g/cm^3 para la adición en 4cm^3 de aditivo Conaid y para dosificaciones superiores va disminuyendo. Como se logra apreciar, los valores calculados para el segundo objetivo planteado son consistentes con los antecedentes; por lo tanto, se logró cumplir con el objetivo deseado.

4.2.3. Discusión 03: Capacidad Resistente de la subrasante

La Capacidad Resistente (CBR) de la subrasante estabilizada con adición de cemento y aditivo Conaid varía de 5.05%, 22.75%, 35.50%, 55.55% y 55.55% para dosificaciones de $M_0(100\%S + 0\%C + 0\%A)$, $M_1(96.5\%S + 1\%C + 2.5\%A)$, $M_2(92\%S + 3\%C + 5\%A)$ y $M_3(87.5\%S + 5\%C + 7.5\%A)$, $M_3(90\%S + 5\%C + 5\%A)$ y $M_4(87.5\%S + 5\%C + 7.5\%A)$ respectivamente; donde el valor más alto de la capacidad resistente (CBR) se presenta con la dosificación de $M_3(90\%S + 5\%C + 5\%A)$ con un CBR de $55.55\% \pm 0.5800\%$, para mayores dosificaciones la Capacidad Resistente tiende a ser la misma. Al respecto Cuzco (2019), citado como antecedente nacional aplicó 3 porcentajes de dosificación de cemento para

el cálculo del CBR, las cuales fueron 1%, 1.5% y 2%, en dichos resultados se observa que antes del proceso de estabilización el suelo posee un CBR de 7.2%, siendo así una subrasante mala, y al estabilizarlo, en promedio posee un CBR de 71.8% al 100% de la DSM para la adición de 1% de cemento, lo cual indica que la subrasante es muy buena. Asimismo, Sinarahua (2021), citado como antecedente nacional en su artículo de investigación aplicó 5 dosificaciones de aditivo Conaid para el cálculo del CBR, las cuales fueron 0.15cm³, 0.18cm³, 0.21cm³, 0.24cm³ y 0.27cm³ por 60cm³ de agua, en dichos resultados se observa que luego de estabilizarlo presentaba un CBR de 11.50% al 100% de la MDS y un CBR de 8% al 95% de la MDS para la adición en 4cm³ de aditivo Conaid y para dosificaciones superiores va disminuyendo. Como se logra apreciar, los valores calculados para el tercer objetivo planteado son consistentes con los antecedentes; por lo tanto, se logró cumplir con el objetivo deseado.

4.2.4. Discusión 04: Módulo de Resiliencia de la subrasante

El Módulo de Resiliencia (M_r) de la subrasante estabilizada con adición de cemento y aditivo Conaid varía de 7960.03psi, 18155.41psi, 24635.53psi, 33424.14 y 33421.15psi para dosificaciones de $M_0(100\%S + 0\%C + 0\%A)$, $M_1(96.5\%S + 1\%C + 2.5\%A)$, $M_2(92\%S + 3\%C + 5\%A)$, $M_3(90\%S + 5\%C + 5\%A)$ y $M_4(87.5\%S + 5\%C + 7.5\%A)$ respectivamente. Donde el valor más alto del módulo de resiliencia (M_r) se presenta con la dosificación de $M_3(90\%S + 5\%C + 5\%A)$ con un M_r de 33424.14psi \pm 0.4273psi; para mayores dosificaciones tiende a disminuir el Módulo de Resiliencia. Al respecto, Watson & Manrique (2021), citado como antecedente internacional aplicó 4 dosificaciones de cemento de cemento para el cálculo del módulo de resiliencia, las cuales fueron 3%, 4%, 5% y 6% de cemento, en dichos resultados se observa que antes de estabilizarlo el M_r es 58 883.85 kPa y al estabilizarlo alcanza un M_r de 201 356.69 kPa al aplicar 5% de cemento y para dosificaciones superiores va disminuyendo el M_r . Asimismo, Sinarahua (2021), citado como antecedente nacional aplicó 5 dosificaciones de aditivo Conaid para el cálculo del M_r , las cuales fueron 0.15cm³, 0.18cm³, 0.21cm³, 0.24cm³ y 0.27cm³ por 60cm³ de agua, en dichos resultados se observa que luego de estabilizarlo presentaba un M_r de 11 506.73 psi al 100% de la MDS y un M_r de 9 668.71 psi al 95% de la MDS para la adición en 4cm³ de aditivo Conaid y para dosificaciones superiores va disminuyendo. Como se logra apreciar, los valores calculados para el cuarto objetivo planteado son consistentes con los antecedentes; por lo tanto, se logró cumplir con el objetivo deseado.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

5.1.1. Conclusión 01: Plasticidad de la subrasante estabilizada

La Plasticidad (IP) de la subrasante estabilizada con la adición de cemento y aditivo Conaid varía en las dosificaciones de M0 (100%S + 0%C + 0%A), M1 (96.5%S + 1%C + 2.5%A), M2 (92%S + 3%C + 5%A), M3 (90%S + 5%C + 5%A) y M4 (87.5%S + 5%C + 7.5%A) con valores de 12.65%, 5.55%, NP, NP, y NP respectivamente. Es importante señalar que las dosificaciones M2, M3 y M4 no presentan plasticidad. El valor más bajo de la plasticidad (IP) se encuentra en la dosificación M1 (96.5%S + 1%C + 2.5%A) con un IP de $5.55\% \pm 0.5094\%$. En consecuencia, la combinación más adecuada es aquella que contiene un 1% de cemento y un 2.5% de aditivo Conaid en relación al peso de la muestra de suelo, ya que, al aumentar estas dosificaciones en diversas combinaciones, el suelo tiende a volverse no plástico.

5.1.2. Conclusión 02: Máxima Densidad Seca de la subrasante estabilizada

La Máxima Densidad Seca (MDS) de la subrasante estabilizada con la adición de cemento y aditivo Conaid varía en las dosificaciones de M0 (100%S + 0%C + 0%A), M1 (96.5%S + 1%C + 2.5%A), M2 (92%S + 3%C + 5%A), M3 (90%S + 5%C + 5%A) y M4 (87.5%S + 5%C + 7.5%A) con valores de 1.87g/cm³, 1.79g/cm³, 1.81g/cm³, 2.11g/cm³ y 2.01g/cm³ respectivamente. El valor más alto de la Máxima Densidad Seca (MDS) se encuentra en la dosificación M3 (90%S + 5%C + 5%A) con una MDS de $2.01\text{g/cm}^3 \pm 0.0099\text{g/cm}^3$. Por lo tanto, la combinación más adecuada es aquella que contiene un 5% de cemento y un 7.5% de aditivo Conaid en relación al peso de la muestra de suelo para lograr la Máxima

Densidad Seca óptima de la subrasante estabilizada, ya que, al aumentar estas dosificaciones en diversas combinaciones, tiende a disminuir la MDS.

5.1.3. Conclusión 03: Capacidad Resistente de la subrasante estabilizada

La Capacidad Resistente (CBR) de la subrasante estabilizada con la adición de cemento y aditivo Conaid varía en las dosificaciones de M0 (100%S + 0%C + 0%A), M1 (96.5%S + 1%C + 2.5%A), M2 (92%S + 3%C + 5%A), M3 (90%S + 5%C + 5%A) y M4 (87.5%S + 5%C + 7.5%A), con valores de 5.05%, 22.75%, 35.50%, 55.55% y 55.55%, respectivamente. El valor más alto de Capacidad Resistente (CBR) se encuentra en la dosificación de M3 (90%S + 5%C + 5%A) con un CBR de $55.55\% \pm 0.5800\%$. Por lo tanto, la combinación más adecuada es aquella que contiene un 5% de cemento y un 5% de aditivo Conaid en relación al peso de la muestra de suelo para lograr la Capacidad Resistente óptima de la subrasante estabilizada, ya que, al aumentar estas dosificaciones en diversas combinaciones, el CBR tiende a mantenerse constante.

5.1.4. Conclusión 04: Módulo de resiliencia de la subrasante estabilizada

El Módulo de Resiliencia (Mr) de la subrasante estabilizada mediante la adición de cemento y aditivo Conaid varía en las dosificaciones de M0 (100%S + 0%C + 0%A), M1 (96.5%S + 1%C + 2.5%A), M2 (92%S + 3%C + 5%A), M3 (90%S + 5%C + 5%A) y M4 (87.5%S + 5%C + 7.5%A), con valores de 7960.03 psi, 18155.41 psi, 24635.53 psi, 33424.14 psi y 33421.15 psi, respectivamente. El valor más alto del Módulo de Resiliencia (Mr) se encuentra en la dosificación de M3 (90%S + 5%C + 5%A) con un Mr de $33424.14 \text{ psi} \pm 0.4273 \text{ psi}$. Por lo tanto, la combinación más adecuada es aquella que contiene un 5% de cemento y un 5% de aditivo Conaid en relación al peso de la muestra de suelo para lograr el Módulo Resiliente óptimo de la subrasante estabilizada, ya que, al aumentar estas dosificaciones en diversas combinaciones, tiende a disminuir el Mr.

5.1.5. Conclusión 05: Conclusión general

A partir de los resultados obtenidos en la determinación de los cuatro parámetros estudiados: plasticidad, máxima densidad seca, capacidad resistente y módulo de resiliencia, se concluye que la combinación más adecuada consiste en utilizar un 90% de suelo, un 5% de cemento y un 5% de aditivo Conaid. Esta

combinación se considera la más apropiada para llevar a cabo la estabilización de la carretera en estudio.

5.2. Recomendaciones

5.2.1. Recomendación 01

Se recomienda emplear una relación máxima de 1% de cemento y 2.5% de aditivo Conaid con respecto al peso de la muestra de suelo con el objetivo de alcanzar la plasticidad óptima en la subrasante estabilizada. Esto se fundamenta en la observación de que, al aumentar estas dosificaciones en diferentes combinaciones, el suelo tiende a perder sus propiedades plásticas. En consecuencia, se concluye que el aditivo Conaid ejerce la influencia más significativa como agente estabilizador.

5.2.2. Recomendación 02

Se recomienda emplear una proporción máxima de 5% de cemento y 5% de aditivo Conaid con respecto al peso de la muestra de suelo con el fin de lograr la Máxima Densidad Seca óptima en la subrasante estabilizada. Esta recomendación se basa en la observación de que, al aumentar estas dosificaciones en diversas combinaciones, se evidencia una disminución en la Máxima Densidad Seca (MDS). Por lo tanto, se concluye que el agente estabilizador de mayor influencia es el aditivo Conaid.

5.2.3. Recomendación 03

Se recomienda emplear una proporción máxima de 5% de cemento y 5% de aditivo Conaid en relación al peso de la muestra de suelo con el fin de alcanzar la Capacidad Resistente óptima en la subrasante estabilizada. Esta recomendación se basa en la observación de que, al aumentar estas dosificaciones en diversas combinaciones, no se observa una variación significativa en la Capacidad Resistente (CBR). Por lo tanto, se concluye que el agente estabilizador más influyente es el aditivo Conaid.

5.2.4. Recomendación 04

Se recomienda emplear una proporción máxima de 5% de cemento y 5% de aditivo Conaid en relación al peso de la muestra de suelo con el fin de lograr el Módulo de Resiliencia (Mr) óptimo en la subrasante estabilizada. Esta recomendación se basa en la observación de que, al aumentar estas dosificaciones

en diversas combinaciones, se registra una disminución del Mr. Por lo tanto, se concluye que el agente estabilizador más influyente es el aditivo Conaid.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Banco de Desarrollo de América Latina. Diagnóstico estratégico y propuestas para una agenda prioritaria Transporte. La Infraestruct en el Desarro Integr América Lat [Internet]. 2011; Available from: http://www.iirsa.org/admin_iirsa_web/Uploads/Documents/CAF transporte 2011.pdf
2. MTC PROVIAS NACIONAL. Estado de la superficie de rodadura de dic. 2021. 2021;
3. CON-AID Argentina S.A. Estabilización Iónica de Suelos. 2021; Available from: <https://www.conaid.com.ar/descargas/folleto-conaid.pdf>
4. Promart Homecenter. Cemento Sol Portland Tipo I [Internet]. 2020. Available from: <https://www.promart.pe/cemento-portland-tipo-i-x42-5kg-sol/p>
5. Norma Técnica Peruana. CE.020 Estabilización de suelos y taludes [Internet]. Perú; 2016. Available from: http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMACE020.pdf
6. Sinarahua D. Evaluación de aditivos Perma Zyme 30X y Conaid para la estabilización de subrasante en vías urbanas no pavimentadas de la urbanización Urrunaga Sector 1 en el distrito de José Leonardo Ortiz, Chiclayo 2020 [Internet]. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo; 2021. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.12423/3783>
7. Cuzco S. Mejoramiento de la subrasante incorporando el estabilizador cemento Portland Tipo I, en la Asociación los Rosales II, distrito de Carabayllo, 2019 [Internet]. Universidad Cesar Vallejo; 2019. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/53036>
8. Aucalla M, Valenzuela J. Estabilización de la Sub rasante de suelos arcillosos, aplicando la cal con cemento en el tramo de san José-Chichizu, Junin 2019 [Internet]. Universidad Cesar Vallejo; 2019. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/55879>
9. Fernandez N. Estabilización de subrasante con material de demoliciones en avenida Malecón Checa, San Juan de Lurigancho en el 2017 [Internet]. Universidad Cesar Vallejo; 2018. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/27076>
10. Carranza A, Fernandez D. Aplicación de los aditivos proes y Conaid para mejorar la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante en la vía de acceso al C.P. Barraza, Laredo, La Libertad-2018 [Internet]. Universidad Privada del Norte; 2018. Available from: <https://hdl.handle.net/11537/14968>

11. Watson E, Manrique M. Dimensionamiento de estructuras de pavimento en función del contenido de cal o cemento en la subrasante [Internet]. Universidad Militar Nueva Granada; 2021. Available from: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/40361/ManriqueMedinaMarlon2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
12. Ospina-García MÁ, Chaves-Pabón SB, Jiménez-Sicachá LM. Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero. *Rev Investig Desarro e Innovación* [Internet]. 2020 Aug 15;11(1):185–96. Available from: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/investigacion_duitama/article/view/11692
13. Llano E, Ríos D, Restrepo G. Evaluación de tecnologías para la estabilización de suelos viales empleando intemperismo acelerado. Una estrategia de análisis de impactos sobre la biodiversidad. *TecnoLógicas* [Internet]. 2020 Sep 15;23(49):185–99. Available from: <https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/1624>
14. Alarcón J, Jiménez M, Benítez R. Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. *Rev Ing construcción* [Internet]. 2020 Apr;35(1):5–20. Available from: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732020000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=en
15. Rivera JF, Aguirre-Guerrero A, Mejía de Gutiérrez R, Orobio A. Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión). *Inf Técnico* [Internet]. 2020 Mar 30;84(2):43–67. Available from: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/2530
16. Polydem. Polyses [Internet]. 2022. Available from: <https://www.polydem.com.ar/portfolio-item/polyses/>
17. CON-AID Argentina S.A. Información técnica - aditivo Conaid. 2021; Available from: <https://www.conaid.com.ar/descargas/informacion-tecnica-conaid.pdf>
18. Guzman C. Estabilizacion con cemento y aditivos reactivos de bases granulares marginales [Internet]. COOVIAS. 2020. Available from: <https://coovias.com/estabilizacion-con-cemento-y-aditivos-reactivos-de-bases-granulares-marginales/#:~:text=El empleo de cemento con,la arcilla promoviendo un mayor>
19. IECA. Componentes y propiedades del cemento. *El Cem* [Internet]. 2018; Available from: <https://www.ieca.es/componentes-y-propiedades-del-cemento/>
20. Cementos Inka. Tipos de cemento portland. *Blog Cem inka* [Internet]. 2019; Available

from: <http://www.cementosinka.com.pe/blog/tipos-de-cemento-portland/>

21. UNACEM. Cemento Portland Tipo I. 2012; Available from: <https://www.unacem.com.pe/wp-content/uploads/2012/03/Cemento-Andino-TIPO-I.pdf>
22. CON-AID Argentina S.A. Aplicabilidad del aditivo conaid. 2021;
23. Universidad Centroamericana. Determinación del peso específico del cemento [Internet]. 2003. Available from: <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO.pdf>
24. ASTM C136. Método de prueba estándar para el análisis de tamiz de agregados finos y gruesos [Internet]. 2006. Available from: <https://www.astm.org/astm-tpt-165.html>
25. Yepes V. Instalaciones de dosificación para la fabricación de hormigón. 2017; Available from: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/dosificacion/>
26. Fernandez S. Diseño de experimentos: diseño factorial. Memorias y anexos [Internet]. 2020; Available from: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339723/TFM_Fernandez_Bao_Sheila.pdf?sequence=1&isAllowed=y
27. MEF. Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras. 2015; Available from: https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf
28. FAO. Consistencia del Suelo. 2022; Available from: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm#:~:text=El índice de plasticidad se,el suelo se mantiene plástico .
29. MTC. Manual de ensayo de materiales [Internet]. Perú; 2016. Available from: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual Ensayo de Materiales.pdf
30. Filehveem, Carmany. El módulo resiliente. 1948; Available from: <https://fddocuments.ec/document/capitulo-4-el-modulo-resiliente-hveem-y-carmany-en-1948-25-reconocieron.html?page=1>
31. Gamica P, Perez N, Gomez J. Módulo de resiliencia en suelos finos y materiales

- granulares. Secr Comun y Transp - Inst Mex del Transp [Internet]. 2010;142:58. Available from: <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt142.pdf>
32. Perez N, Garnica P, Gonzalez J, Curiel N, Ruiz M. Modelo para estimar el módulo de resiliencia de suelos finos compactados en la condición óptima de compactación. Secr Comun y Transp - Inst Mex del Transp [Internet]. 2016; Available from: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt475.pdf>
 33. Atamara E. Evaluación de la transitabilidad para caminos de bajo tránsito estabilizados con aditivo PROES [Internet]. Universidad de Piura; 2015. Available from: <https://hdl.handle.net/11042/2262>
 34. Colchado C, Díaz A. Investigación de las condiciones de transitabilidad del camino vecinal Simbron - Farrat - Colpa - Sacha Grande, provincia de Gran Chimú - La Libertad [Internet]. Universidad Privada Antenor Orrego; 2018. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12759/4447>
 35. Campos A. Determinación del estado de transitabilidad y nivel de intervención del camino vecinal “Magllanal - Loma Santa”, distrito de Jaén - Jaén - Cajamarca 2017 [Internet]. Universidad Nacional de Cajamarca; 2019. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3014>
 36. Miranda J. Evaluación de las propiedades del afirmado y su influencia en la transitabilidad del camino vecinal PU-999, Lampa-2021 [Internet]. Universidad Cesar Vallejo; 2022. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/90032>
 37. MTC. Especificaciones técnicas generales para construcción. 2015; Available from: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC_NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10 EG 2013.pdf
 38. Humicorp. Carretera sin pavimentar [Internet]. 2016. Available from: <https://www.humicorp.com/carreteras-sin-pavimentar/>
 39. Yepes V. Capacidad de soporte. Evaluación técnica una Carret [Internet]. 2019; Available from: victoryepes.blogs.upv.es/
 40. Seismous. ¿Qué es la resiliencia? 2019; Available from: <https://seismous.com/que-es-la-resiliencia-estructural/#:~:text=En ingeniería%2C el término resiliencia,la deformación en un principio.>
 41. Hernandez R, Fernandez C, Baptista M del P. Metodología de la Investigación.

Metodología de la investigación. 2018. 76–88 p.

42. Tamayo, Tamayo. Aprende a investigar. 1999.
43. Arias F. El proyecto de investigación. 6th ed. 2012.
44. Oседа. Validez de instrumentos. 2011.

ANEXOS

ANEXO 01: Matriz de Consistencia

Tabla 43: Matriz de Consistencia

Formulación del problema	Formulación del objetivo	Formulación de la hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
Problema general ¿Cuánto varía la estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022?	Objetivo general Determinar la variación de la estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.	Hipótesis general La estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.	VI: Cemento y aditivo Conaid	D1: Peso específico	I1: < 3100 kg/m ³	Método: Hipotético deductivo Tipo de Investigación: Aplicada Nivel de investigación: Descriptivo Diseño de investigación: Cuasiexperimental
					I2: 3100 kg/m ³ - 3200 kg/m ³	
					I3: > 3200 kg/m ³	
				D2: Granulometría	I1: Grueso	
					I2: Mediano	
					I3: Fino	
				D3: Dosificación	I1: 1% cemento + 2.5% Conaid	
					I2: 3% cemento + 5% Conaid	
					I3: 5% cemento + 7.5% Conaid	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	VD: Estabilización	D1: Plasticidad	I1: Baja 4 – 15	Población:
					I2: Media 16 –	

¿Cuánto varía la plasticidad con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022?	Calcular la variación de la plasticidad con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.	La plasticidad con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.	de subrasantes		30 I3: Alta ≥ 31	Carretera Sicuani - Trapiche Muestreo: No probabilístico Muestra: 216 unidades Instrumentos: Ficha de recolección de datos en formato Excel	
¿Cuánto varía la máxima densidad seca con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022?	Medir la variación de la máxima densidad seca con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.	La máxima densidad seca con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.		D2: Máxima densidad seca	I1: Suelto I2: Medio		I3: Denso
¿Cuánto varía la capacidad de resistencia	Cuantificar la variación de la capacidad de	La capacidad de soporte potencial con cemento y		D3: Capacidad de resistencia potencial	I1: Calidad baja		I2: Calidad regular

<p>potencial con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022?</p>	<p>resistencia potencial con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.</p>	<p>aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.</p>			<p>I3: Calidad alta</p>	
<p>¿Cuánto varía el módulo de resiliencia con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022?</p>	<p>Estimar la variación del módulo de resiliencia con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.</p>	<p>El módulo de resiliencia con cemento y aditivo Conaid varía significativamente en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022.</p>		<p>D4: Módulo de resiliencia</p>	<p>I1: Baja absorción de energía</p>	
<p>I2: Absorción media de energía</p>						
<p>I3: Alta absorción de energía</p>						

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 02: Instrumento de investigación validado

Tabla 44: Formato de validación de instrumento

SIMULACION DE ANALISIS DE VALIDEZ DE FICHA DE RECOPIACION DE DATOS						
PROYECTO : Estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Conaid en caminos vecinales, carretera Sicuani – Trapiche, Canchis, Cusco 2022						
AUTOR: _Yessenia Tinajeros Martinez 0000-0003-1722-1283						
_Cristhian Francisco Sanchez Lima 0000-0002-9321-466X						
I.- INFORMACION GENERAL:						
UBICACIÓN:						
DISTRITO:				ALTITUD:		
PROVINCIA:				LATITUD:		
REGION:				LONGITUD:		
II.- D1V1/D1V2:						
Colocar la información a recopilar de campo para medir la D1V1 ó D1V2:						
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	
III.- D2V1/D2V2:						
Colocar la información a recopilar de campo para medir la D1V1 ó D2V2:						
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	
IV.- D3V1/D3V2:						
Colocar la información a recopilar de campo para medir la D1V1 ó D3V2:						
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	
V.- D1V2/D1V1:						
Colocar la información a recopilar de campo para medir la D1V2 ó D1V1:						
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	
VI.- D2V2/D2V1:						
Colocar la información a recopilar de campo para medir la D2V2 ó D2V1:						
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	
VII.- D3V2/D3V1:						
Colocar la información a recopilar de campo para medir la D3V2 ó D3V1:						
Indicador 1:	Und	Indicador 2:	Und	Indicador 3:	Und	
APELLIDOS Y NOMBRES:						
PROFESION						
REGISTRO CIP No:						
EMAIL:						
TELEFONO:						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46: Instrumento validado por el especialista B

SIMULACION DE ANALISIS DE VALIDEZ DE FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

PROYECTO: Estabilización de subrasantes con cemento y aditivo Cosalid en caminos vecinales, carretera Sicuani - Trapiche, Canchis, Cusco 2022

AUTORES: Tereza Tinajas Martínez 8080-0809 (F2)-1183
Orlando Sanchez Sanchez Ulloa 8080-0800-8321-486X

II. Información General					
UBICACIÓN: Camino vecinal Sicuani - Trapiche					
COMUNIDAD:	Trapiche	ALTITUD:	3898 msnnm		
PROVINCIA:	Canchis	UTM:	18SK01322, 10a W		
REGIÓN:	Cusco		9418890, 1a S		
III. Peneplano (terreno y agua) actual					
Consulte la información e ingrese el campo para medir la ECVI y EVC:					
Elevación	Dist	Dist	Dist	Dist	Dist
1000	1000	1000	1000	1000	1000
IV. Gradiente (terreno y agua) actual					
Consulte la información e ingrese el campo para medir la ECVI y EVC:					
Grado	Dist	Dist	Dist	Dist	Dist
1000	1000	1000	1000	1000	1000
V. Densidad (terreno y agua) actual					
Consulte la información e ingrese el campo para medir la ECVI y EVC:					
% cemento + 5% Cosalid	Dist	10% cemento + 5% Cosalid	Dist	10% de cemento + 10% de Cosalid	Dist
1000	1000	1000	1000	1000	1000
VI. Permeabilidad (terreno y agua) actual					
Consulte la información e ingrese el campo para medir la ECVI y EVC:					
Exp. 4 - 10	Dist	Medida 15 - 30	Dist	Med	Dist
1000	1000	1000	1000	1000	1000
VII. Módulo de elasticidad (terreno y agua) actual					
Consulte la información e ingrese el campo para medir la ECVI y EVC:					
Dist	Dist	Dist	Dist	Dist	Dist
1000	1000	1000	1000	1000	1000
VIII. Resistencia (terreno y agua) actual					
Consulte la información e ingrese el campo para medir la ECVI y EVC:					
Según clasificación de energía	Dist	Resistencia media de energía	Dist	Módulo de elasticidad de energía	Dist
1000	1000	1000	1000	1000	1000
APELLIDOS Y NOMBRES: CORTEZ VARGAS JUAN PEDRO LUCIANO PROFESIÓN: INGENIERO CIVIL TELÉFONO (CELULAR): 998888888 EMAIL: PEDROCORTEZ1992@GMAIL.COM FECHA: 9/05/2022					

Según Oueda (2011):

0	0,5	1
1000	1000	1000

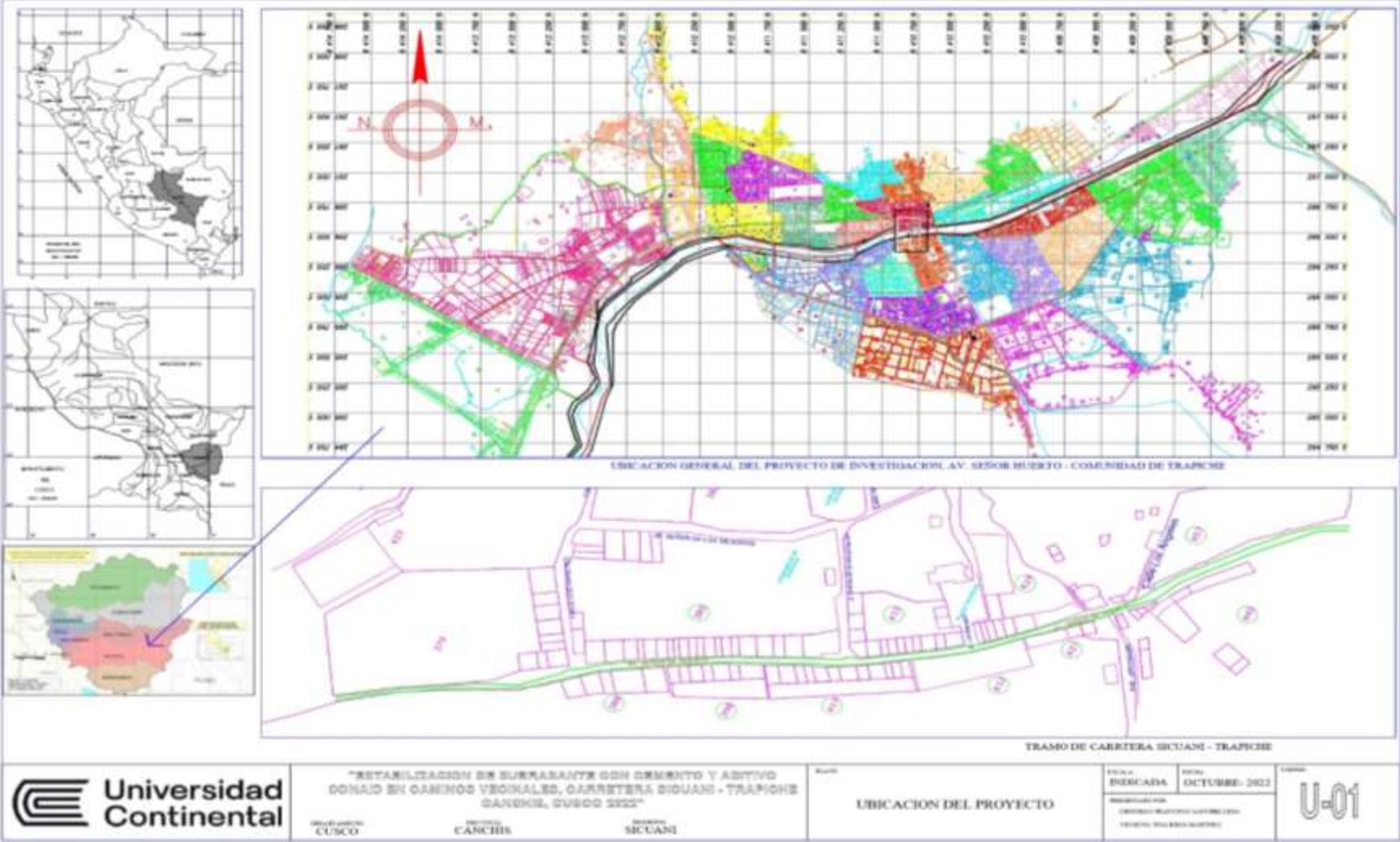
0000
0
001
002
003
004
005
006
007
008
009
010
011
012
013
014
015
016
017
018
019
020
021
022
023
024
025
026
027
028
029
030
031
032
033
034
035
036
037
038
039
040
041
042
043
044
045
046
047
048
049
050
051
052
053
054
055
056
057
058
059
060
061
062
063
064
065
066
067
068
069
070
071
072
073
074
075
076
077
078
079
080
081
082
083
084
085
086
087
088
089
090
091
092
093
094
095
096
097
098
099
100



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 03: Imagen satelital – plano de ubicación

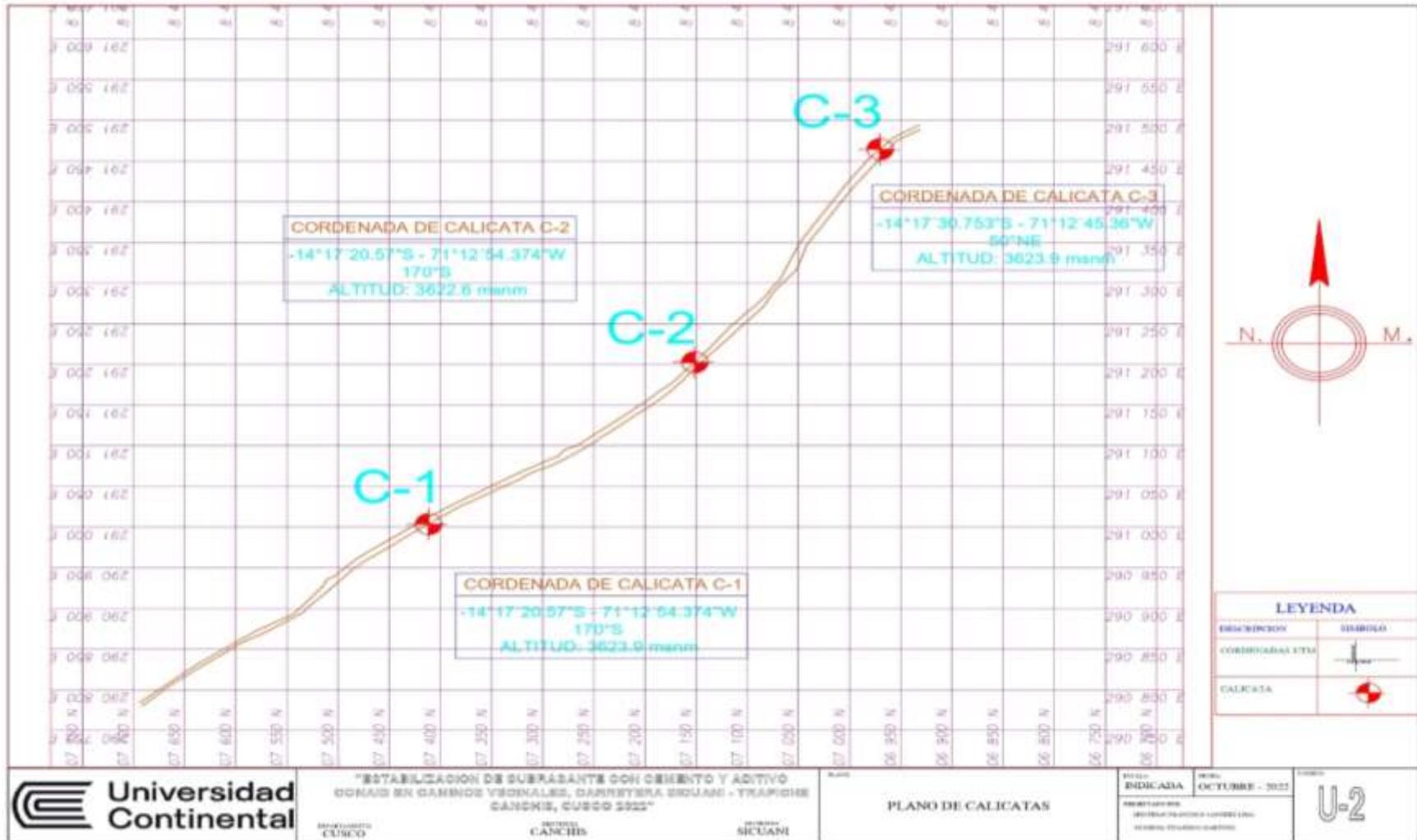
Figura 29: Plano de ubicación de la Vía Trapiche



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 04: Plano de calicatas

Figura 30: Plano de calicatas de la Vía Trapiche



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 05: Perfiles estratigráficos

A05.1. Perfil estratigráfico de la Calicata C-1

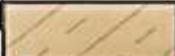
Figura 31: Perfil estratigráfico de la Calicata C-1

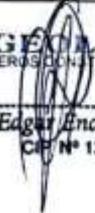
		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
		PERFIL ESTATIGRAFICO (ASTM D 2488)			
TESIS		ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONAID EN CAMINO VECINAL CARRETERA SICUANI - TRAPICHE, CANCHIS CUSCO.			
UBICACIÓN:		DISTRITO: SICUANI	PROVINCIA: CANCHIS	DEPARTAMENTO: CUSCO	
CLIENTE:		BACHILLER CRISTIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA - BACHILLER YESENIA TINAGEROS MARTINEZ			
		CALICATA C - 1			
		Fecha :	06-10-22		
		Concepto:	EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION		
		Ubicación:	SICUANI - TRAPICHE		
		Lado:	DERECHO		
		Localización:	-		
		Referencia:	SICUANI - TRAPICHE		
		Prof. (m):	1.50m.		
		Presencia de Nivel Freático:	NO		
		Prof. de Nivel Freático (m):	- 0.00 m.		
		Condiciones de la Superficie:	SEMI COMPACTA		
		Profundidad de las Raíces (m):	- 0.00 m.		
PROF. (m)	GRAFICO	ESTRATO	SUCS	DESCRIPCION DEL SUELO	
			AASHTO	<small>Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compactación / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolos / cantos, etc.</small>	
0.10		E-1		Material Orgánico con presencia de vegetación grava y raíces.	
0.15		E-2		Terreno natura;ARCILLA LIMOSA; Resistencia MEDIANAMENTE COMPACTA ; Índice de plasticidad ALTA; Humedad Natural HUMEDO; Consistencia BLANDA; Color:MARRÓN CLARO, Tamaño máx. 1/2"; Forma de partículas fina; GRAVAS SUB ANGULOSAS; presencia de material orgánico SI; presencia de oxidaciones NO; presencia de nivel frático NO	
0.20					
0.25					
0.30					
0.35					
0.40					
0.45					
0.50					
0.55					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
OBSERVACIONES:					
LABORATORIO GEOLAF C S.A.C.		REVISADO		SUPERVISOR	
Firma:		Firma:		Firma:	
Nombre: Ing. Edgardo Echevarría		Nombre:		Nombre:	
Fecha: 06-10-22		Fecha: 06-10-22		Fecha:	
CIREN* 13100*					

Fuente: Elaboración propia

A05.2. Perfil estratigráfico de la Calicata C-2

Figura 32: Perfil estratigráfico de la Calicata C-2

		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS PERFIL ESTRATIGRÁFICO (ASTM D 2488)		
PROYECTO:	ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONAID EN CAMINO VECINAL CARRETERA SICUANI - TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO			
UBICACIÓN:	DISTRITO: SICUANI	PROVINCIA: CANCHIS	DEPARTAMENTO: CUSCO	
CLIENTE:	BACHILLER CRISTIAN FRANCISCO SANCHES LIMA - BACHILLER YESENIA TINAGEROS MARTINEZ			
		CALICATA C-2 Fecha : 11-10-22 Concepto: EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION Ubicación: SICUANI - TRAPICHE Lado: EJE Localización: - Referencia: SICUANI - TRAPICHE Prof. (m): 1.50 MT. Presencia de Nivel Freático: NO Prof. de Nivel Freático (m): NO Condiciones de la Superficie: HUMEDO Profundidad de las Raíces (m): - 0.15 m.		
PROF. (m)	GRAFICO	ESTRATO	SUCS	DESCRIPCION DEL SUELO <small>Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compactad / consistencia, Otros, presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolitas / carnos, etc.</small>
			AASHTO	
0.1		E-1		Material Orgánico con presencia de vegetación, Gravas y raíces.
0.15		ML A-7-5(9)		Terreno natura; ARENAS FINAS CON ARCILLA O DENOMINADA LIMOS ARCILLOSOS; Resistencia BAJA ; Índice de plasticidad ALTA PLASTICA; Humedad Natural HUMEDO; Consistencia BAJA; Color: MARRON , Tamaño máx. 3/8"mm ; Forma de partículas fina; presencia de material orgánico SI; presencia de oxidaciones NO; presencia de nivel frático NO
0.2				
0.25				
0.3				
0.35				
0.4				
0.45				
0.5				
0.55				
0.6				
0.70				
0.8				
0.90				
1.0				
1.10				
1.2				
1.30				
1.4				
1.50				
OBSERVACIONES:				
LABORATORIO GEOLAFIC INGENIEROS S.A		REVISADO		SUPERVISOR
Firma:		Firma:		Firma:
Nombre:		Nombre:		Nombre:
Fecha: 11-10-22		Fecha: 11-10-22		Fecha:


GEOLAFIC
 INGENIEROS CONSTRUCTORES SAC
 Ing. Edgar Enciso Tomasto
 CIP N° 13100

Fuente: Elaboración propia

A05.3. Perfil estratigráfico de la Calicata C-3

Figura 33: Perfil estratigráfico de la Calicata C-3

		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
		PERFIL ESTATIGRAFICO (ASTM D 2488)			
PROYECTO:	ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONAID EN CAMINO VECINAL CARRETERA SICUANI - TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO				
UBICACIÓN:	DISTRITO: SICUANI	PROVINCIA: CANCHIS	DEPARTAMENTO: CUSCO		
CLIENTE:	BACHILLER CRISTIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA - BACHILLER YESENIA TINAGEROS MARTINEZ				
		CALICATA C - 3			
		Fecha :	04-10-22		
		Concepto:	EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION		
		Ubicación:	SICUANI - TRAPICHE		
		Lado:	IZQUIERDO		
		Localización:	-		
		Referencia:	SICUANI - TRAPICHE		
		Prof. (m):	1.50m.		
Presencia de Nivel Freático:	NO				
Prof. de Nivel Freático (m):	- --- m.				
Condiciones de la Superficie:	SEMI COMPACTA				
Profundidad de las Raíces (m):	- 0.10 m.				
PROF. (m)	GRAFICO	ESTRATO	SUCS	DESCRIPCION DEL SUELO <small>Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / cohesividad, grado de compactación / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolitas / carritos, etc.</small>	
			AASHTO		
0.1		E-1		Material Orgánico con presencia de vegetación grava y raíces.	
0.20		E-2			
0.3					
0.40					
0.5					
0.60					
0.7					
0.80					
0.9					
1.00					
1.1					
1.20					
1.3					
1.40					
1.5					
1.60					
1.7					
1.80					
1.9					
2.00					
OBSERVACIONES:					
LABORATORIO GEOMET S.A.C.		REVISADO		SUPERVISOR	
Firma:		Firma:		Firma:	
Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Fecha: 04-10-22		Fecha: 04-10-22		Fecha:	

GEOLAFIC
INGENIERIA Y CONSTRUCTORES SAC
Ing. Edgar Enciso Tomasto
CIP N° 13100*

Fuente: Elaboración propia

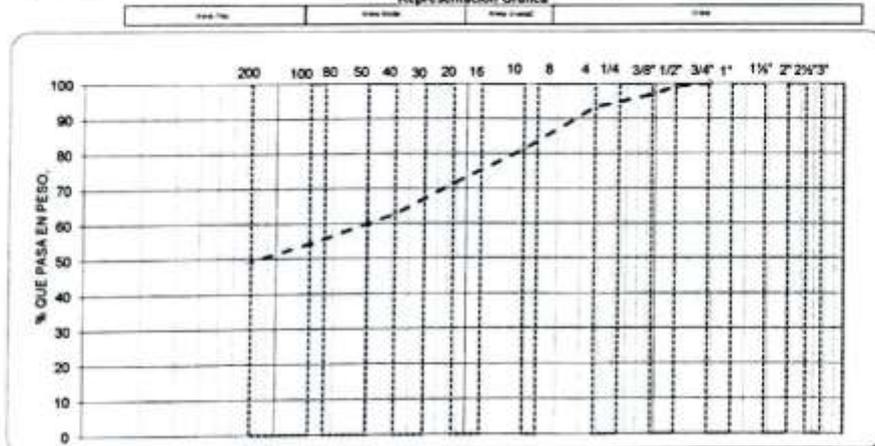
ANEXO 06: Evidencia de Trabajo en Laboratorio

A06.1. Evidencia del ensayo de granulometría de la Calicata C-1

	
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	
(NORMA MTC 8.107)	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
TEMA :	ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONAO EN CAMINOS VEICUALES,
SOLICITA :	CARRETERA SICUANI - TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO 2022
	BACHILLER CRISTHIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA
	BACHILLER YESSICA TINAJEROS MARTINEZ
MATERIAL :	CALICATA N° 1 L/ DERECHO - SUELO NATURAL
	FECHA : 05-oct-22
DATOS DE LA MUESTRA	
PROGRESIVA :	CERTIFICADO : 32
MUESTRA :	SUELO NATURAL
	LADO : DERECHO
ALTURA :	1.80 ml.
	OBSERVACIONES :

Tamiz (ϕ)	Muestra entera			Material Pasante (%)	Especificaciones		Descripción
	Peso (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)		min (%)	max (%)	
5"	127.00						
4"	100.00						% de Humedad : 9.1
3"	75.00						% de Grava : 6.6
2 1/2"	63.80						% de Arena : 93.4
2"	50.80						Tamaño Máximo:
1 1/2"	38.10						% Pasante N° 200 : 49.3
1"	25.40						Peso Inicial : 14,370.0
3/4"	19.05			100.0			Porción de fines : 950.0
1/2"	12.70	100.0	0.7	0.7	99.3		Color : MARRON AMARILLO
3/8"	8.53	326.0	2.3	3.0	97.0		L.L. : 32.0
N°	6.35						L.P. : 21.3
N° 4	4.75	523.0	3.6	6.6	93.4		I.P. : 10.7
N° 8	2.36						M.F. : %
N° 10	2.00	122.3	12.02	18.63	81.4		CLASIFIC. SUCS : CL
N° 15	1.18						CLASIFIC. AASHTO : A-6 (5)
N° 20	0.85	102.0	10.0	28.7	71.3		GRAVA > 2"
N° 30	0.60						INDICE DE CONSISTENCIA (I _c) : 2.14
N° 40	0.42	88.0	8.70	37.35	62.64		DESCRIPCIÓN DEL (U _c) :
N° 50	0.30						INDICE DE LIQUIDES (I _L) : -1.14
N° 60	0.25						Observaciones:
N° 80	0.18						
N° 100	0.15	85.3	8.4	45.8	54.3		
N° 200	0.074	50.0	4.92	50.67	49.3		
Residuo		502.4	49.3	100			

Representación Gráfica



Observaciones:

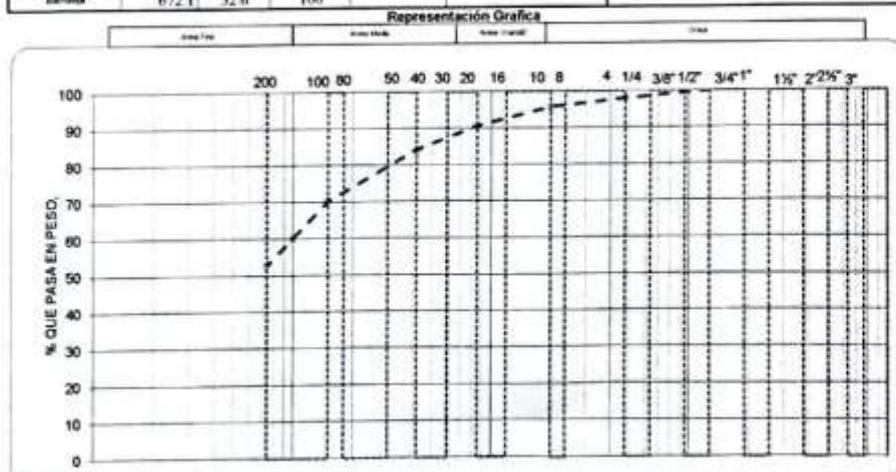
GEOLAF
INGENIEROS PAVIMENTADORES SAC

Ing. Edgar Enciso Tomasto
CIF N° 13100*

A06.2. Evidencia del ensayo de granulometría de la Calicata C-2

	
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	
NORMA MTC E - 1075	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
OBRA :	ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONAJO EN CAMINOS VECINALES
SOLICITA :	BACHILLER CRISTHIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA
MATERIAL :	CALICATA N° 2 L IZQUIERDO- SUELO NATURAL
FECHA :	10-10-2022
DATOS DE LA MUESTRA	
PROGRESIVA :	
SUELO :	SUELO NATURAL
PROF. (mL) :	1.50 ml.

Tamaño (ϕ)	Pulgada mm	Material retenido			Muestra Pasante (%)	Especificaciones		Descripción
		Peso (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)		mm (%)	mas. (%)	
5"	127.00							
4"	100.00							% de Humedad : 13.9
3"	75.00							% de Grava : 2.1
2 1/2"	63.50							% de Arena : 97.9
2"	50.80							Tamaño Máximo : -
1 1/2"	38.10							% Pasante N° 200 : 52.6
1"	25.40							Peso Inicial : -
3/4"	19.05							Porción de finos : 1,250.2
1/2"	12.70				100.0			Color : -
3/8"	9.53	7.2	0.6	0.6	99.4			L.L. : 44.8
1/4"	6.35							L.P. : 30.3
N° 4	4.75	18.6	1.5	2.1	97.9			I.P. : 14.5
N° 8	2.36							M.F. : %
N° 10	2.00	28.0	2.2	4.3	95.7			CLASIFIC. SUCS : ML
N° 16	1.19							CLASIFIC. AADHTO : A-7-5 (9)
N° 20	0.85	65.2	5.1	9.4	90.6			GRAVA > 2"
N° 30	0.60							INDICE DE CONSISTENCIA (I.C.) : 2.12
N° 40	0.42	82.7	6.5	15.8	84.2			DESCRIPION DEL (IC) :
N° 50	0.30							INDICE DE LIQUIDOS (I.L.) : -1.12
N° 60	0.25							Observaciones
N° 80	0.18							
N° 100	0.15	177.9	13.9	29.8	70.2			
N° 200	0.074	224.3	17.6	47.4	52.6			
Balanza		672.1	52.6	100				



Observaciones:

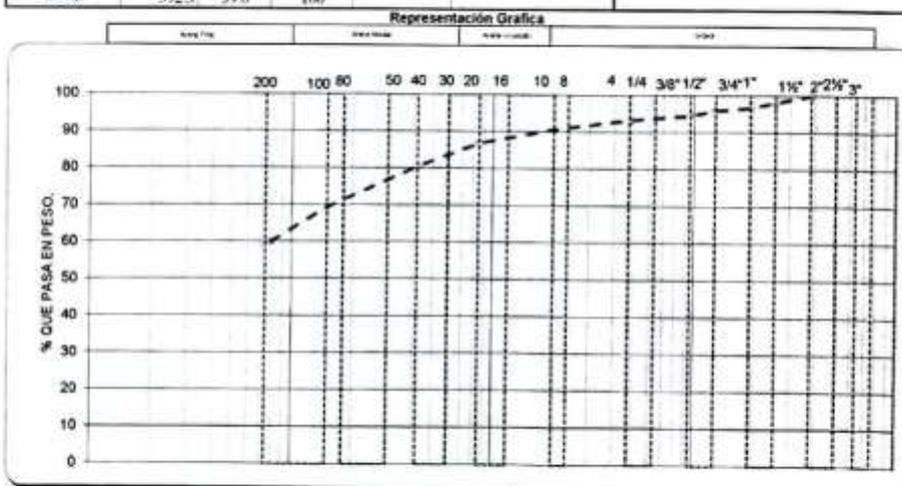
GEOLAFIC
INGENIEROS CONSULTORES SAC

Ing. Edgar Enciso Tomasto
CIP N° 13100*

A06.3. Evidencia del ensayo de granulometría de la Calicata C-3

	
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	
NORMA MTC E - 107	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
TESIS : ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONAID EN CAMINOS VECINALES SOLICITA : BACHILLER CRISTHIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA MATERIAL : CALICATA N° 3 IZQUIERDO- SUELO NATURAL	FECHA : 03-10-2022
DATOS DE LA MUESTRA	
PROGRESIVA : KM. TRAMO : - PROF. (mt.) : DE CALICATA 6.00 - 1.50 mt.	CERTIFICADO : 34 LADO : IZQUIERDO OBSERVACIONE :

Tamaño Pulgada	Tamaño mm	Material retenido			Material Pasante (%)	Especificaciones		Descripción
		Peso (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)		Min. (%)	Max. (%)	
5"	127.00							
4"	100.00							
3"	75.00							% de Humedad : 14.7
2 1/2"	63.50							% de Grava : 6.8
2"	50.80							% de Arena : 93.2
1 1/2"	38.10				100.0			Tamaño Máximo:
1"	25.40	120.3	1.9	1.9	98.1			% Pasante N° 200 : 59.0
3/4"	19.05	85.6	1.4	3.3	96.7			Peso Inicial : 6,250.0
1/2"	12.70	52.3	0.8	4.1	95.9			Porción de finos : 620.0
3/8"	9.53	85.6	1.4	5.5	94.5			Color :
1/4"	6.35							L.L. : 33.0
N° 4	4.75	80.0	1.3	6.8	93.2			L.P. : 20.4
N° 8	2.36							I.P. : 12.6
N° 10	2.00	16.9	2.5	9.3	90.7			M.F. : %
N° 16	1.19							CLASIFIC. SUCS : CL
N° 20	0.85	25.6	3.8	13.2	86.8			CLASIFIC. AASHTO : A-6 (8)
N° 30	0.60							GRAVA = 2%
N° 40	0.42	42.4	6.4	19.5	80.5			INDICE DE CONSISTENCIA (IC) : 1.45
N° 50	0.30							DESCRIPCIÓN DEL (IC) :
N° 60	0.25							INDICE DE LIQUIDES (I.L.) : -0.45
N° 80	0.18							Observaciones
N° 100	0.15	73.5	11.1	30.6	69.4			
N° 200	0.074	69.3	10.4	41.0	59.0			
Residuo		392.3	59.0	100				



Observaciones:

GEOAFIC
INGENIEROS GEOTECNICOS SAC

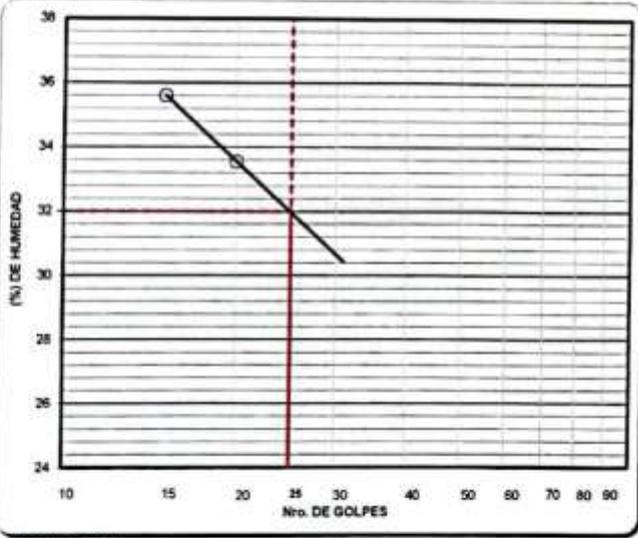
Ing. Edgar Enciso Tomasto
CP N° 13100

A06.4. Evidencia del ensayo de límites de Atterberg de la Calicata C-1

	
LIMITES DE CONSISTENCIA	
<small>(NORMA MTC.E. 110.111)</small>	
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
TEMA :	ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONAID EN CAMINOS VECINALES.
SUB TRAMO :	CARRETERA SICUANI - TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO 2022
MATERIAL :	BACHILLER CRISTHIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA BACHILLER YESSERNA TINAJEROS MARTINEZ
FECHA :	06-10-22
DATOS DE LA MUESTRA	
PROGRESIVA :	
MUESTRA :	SUELO NATURAL
PROF. (m) :	1.50 ml
CERTIFICADO :	32
LADO :	DERECHO
OBSERVACIONES :	

LIMITE LIQUIDO (LL)				
Nº RECIPIENTE	32	20	26	
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	22.96	20.58	20.68	
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE	19.05	16.65	17.95	
PESO DEL AGUA	3.91	3.93	2.73	
PESO DEL RECIPIENTE	8.07	4.94	8.08	
PESO DEL SUELO SECO	10.98	11.71	9.87	
CONTENIDO DE AGUA (W%)	35.61	33.56	27.66	
NUMERO DE GOLPES	15	20	26	

LIMITE PLASTICO (LP)				
Nº RECIPIENTE	1	2		
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	24.75	23.34		
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE	23.97	22.60		
PESO DEL AGUA	0.78	0.74		
PESO DEL RECIPIENTE	20.18	19.24		
PESO DEL SUELO SECO	3.79	3.36		
CONTENIDO DE AGUA (W%)	20.58	22.02		
PROMEDIO DE W%				



LL =	32.00
LP =	21.30
LP =	10.70

OBSERVACIONES

GEOLAF C
INGENIEROS CONSTRUCTORES SAC

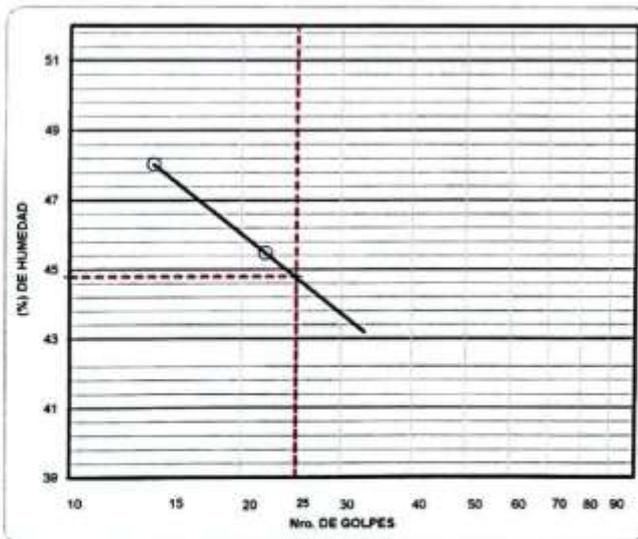
Ing. Edgar Enciso Tomasto
CIP Nº 13100*

A06.5. Evidencia del ensayo de límites de Atterberg de la Calicata C-2

	
LIMITES DE CONSISTENCIA	
(NORMA MTCE - 110 111)	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
OBRA :	ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONAID EN CAMINOS VECINALES CARRETERA SICUANI - TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO
SOLICITA :	BACHILLER CRISTHIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA BACHILLER YESSSENIA TINAJEROS MARTINEZ
MATERIAL :	CALICATA N° 2 L/ IZQUIERDO- SUELO NATURAL FECHA : 11-10-22
DATOS DE LA MUESTRA	
PROGRESIVA :	
TRAMO :	SUELO NATURAL
PROF. (m) :	1.50 mt.

LIMITE LIQUIDO (LL)					
N° RECIPIENTE	30	31	32		
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	20.18	22.87	20.39		
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE	18.10	19.51	18.74		
PESO DEL AGUA	2.08	3.36	3.65		
PESO DEL RECIPIENTE	13.77	12.12	8.07		
PESO DEL SUELO SECO	4.33	7.39	8.67		
CONTENIDO DE AGUA (W%)	48.04	45.49	42.10		
NUMERO DE GOLPES	14	22	26		

LIMITE PLASTICO (LP)					
N° RECIPIENTE	3	4			
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	21.86	19.87			
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE	18.60	17.10			
PESO DEL AGUA	3.06	2.77			
PESO DEL RECIPIENTE	8.16	8.22			
PESO DEL SUELO SECO	10.44	8.88			
CONTENIDO DE AGUA (W%)	29.30	31.21			
PROMEDIO DE W%					



Observaciones:

LL =	44.80
LP =	30.25
IP =	14.55

OBSERVACIONES

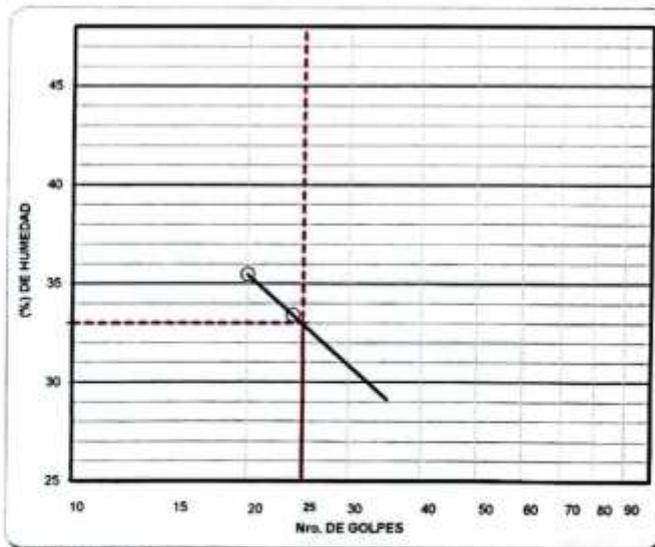
		 <p>GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES SAC</p> <p>Ing. Edgar Enciso Tomasto CIP N° 13100*</p>
--	--	--

A06.6. Evidencia del ensayo de límites de Atterberg de la Calicata C-3

	
LIMITES DE CONSISTENCIA	
(NORMA MTC E-110.111)	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
OBRA :	ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONAID EN CAMINOS VECINALES CARRETERA SICHANI - TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO 2022
SOLICITA :	BACHILLER CRISTHIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA
MATERIAL :	CALICATA N° 3 V IZQUIERDEO- SUELO NATURAL FECHA : 04-10-22
DATOS DE LA MUESTRA	
PROGRESIVA :	KM.
TRAMO :	-
PROF. (m) :	DE CALICATA 0.00 - 1.50 ml.

LIMITE LIQUIDO (LL)					
N° RECIPIENTE	6	7	8		
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	23.16	23.32	21.50		
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE	30.40	20.50	19.32		
PESO DEL AGUA	2.78	2.82	2.18		
PESO DEL RECIPIENTE	12.62	12.06	12.27		
PESO DEL SUELO SECO	7.78	8.44	7.05		
CONTENIDO DE AGUA (W%)	35.47	33.40	30.92		
NUMERO DE GOLPES	20	24	28		

LIMITE PLASTICO (LP)					
N° RECIPIENTE	3	4			
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	19.36	20.01			
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE	17.48	18.00			
PESO DEL AGUA	1.88	2.01			
PESO DEL RECIPIENTE	8.16	8.22			
PESO DEL SUELO SECO	9.32	9.78			
CONTENIDO DE AGUA (W%)	20.17	20.56			
PROMEDIO DE W%					



LL =	33.00
LP =	20.36
LP =	12.64

OBSERVACIONES

Observaciones:

		<p>GEOLAPIC INGENIEROS CONSULTORES SAC</p> <p>Ing. Edgar Exiso Tomasto CIP N° 13100*</p>
--	--	---

A06.7. Evidencia del ensayo de Compactación de la Calicata C-1

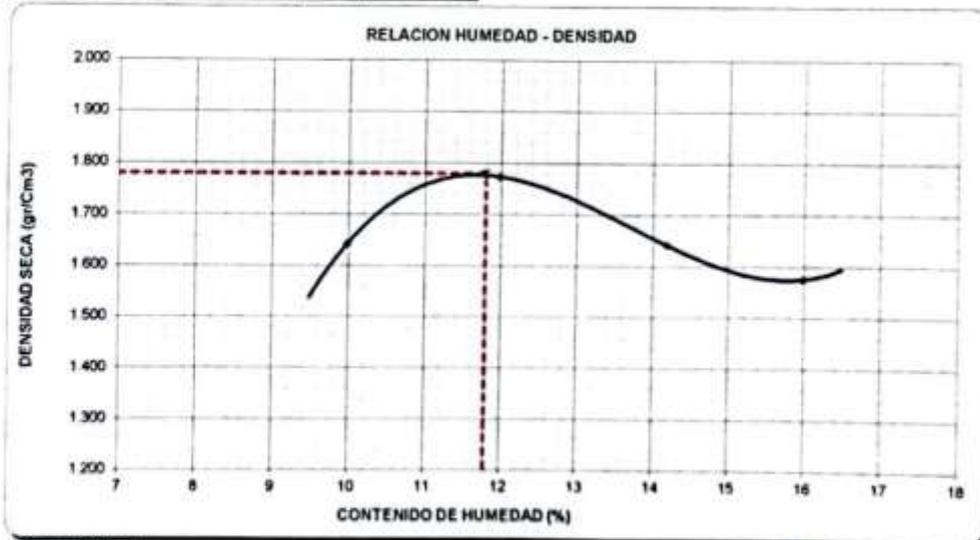
 COMPACTACIÓN (ASTM D-1557) <small>(NORMA NTC E. 8115. 0116)</small>	
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
TESIS :	ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONAID EN CAMBIOS VECINALES.
:	CARRERA SICUANI - TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO 2022
SOLICITA :	BACHILLER CRISTHIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA
:	BACHILLER YESSERIA TINAJEROS MARTINEZ
MATERIAL :	CALICATA N° 1 U/ DERCHO - SUELO NATURAL FECHA 07-10-22
DATOS DE LA MUESTRA	
PROGRESIVA :	LADO DERECHO
MUESTRA :	SUELO NATURAL CLASF. (SUCS) CL
PROF. (m) :	1.60 m. CLASF. (AASHTO) A-6 (7)

METODO DE COMPACTACION : (A) FECHA DE ENSAYO 07-10-22

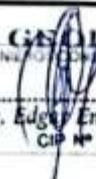
Peso suelo + molde	gr	9855	10235	10000	9900
Peso molde	gr	6032	6032	6032	6032
Peso suelo húmedo compactado	gr	3823	4203	3968	3868
Volumen del molde	cm3	2116	2116	2116	2116
Peso volumétrico húmedo	gr	1.81	1.99	1.88	1.83
Recipiente N°					
Peso del suelo húmedo	gr	431.8	443.7	411.5	522.2
Peso del suelo seco	gr	392.6	396.2	360.4	450.2
Tara	gr				
Peso de agua		39.2	47.5	51.1	72.0
Peso del suelo seco	gr	392.60	396.20	360.40	450.20
Contenido de agua	%	9.98	11.99	14.18	15.99
Peso volumétrico seco	gr/cm3	1.643	1.774	1.642	1.576

MATERIAL DE ESPONJAMIENTO	D. MAX (A)	P. U. S.	% ESP.

Densidad máxima (gr/cm³) 1.780
 Humedad óptima (%) 11.80



Observaciones:


INGENIEROS CONSTRUCTORES SAC
 Ing. Edgar Enciso Tomasto
 CIP N° 13100*

A06.10. Evidencia del ensayo de CBR de la Calicata C-1

 ENSAYO DE C.B.R. <small>NORMA NTC E. 132</small> LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS													
TITULO		ESTABILIZACION DE SUBGRANITE CON CEMENTO Y ADITIVO GOMAD EN CAMPOS VEGETALES											
SOLICITA		CARRETERA SCLAYN - TRAPICHE, CANCHES, DISTRITO 2000											
MATERIAL		BACHILLER CRISTHIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA BACHILLER YESSENIA TRUJILLOS MARTINEZ CALICATA N° 1, L. DERECHO, SUELO NATURAL											
		FECHA								07-10-22			
DATOS DE LA MUESTRA													
PROGRAMA	SUELO NATURAL												
MUESTRA	1.50 m												
PROF. (m)													
CERTIFICADO	30								DERECHO				
LADO	2												
TIPO DE ANILLO													
Molde N°	1			2			3						
N° Capa	5			5			5						
Golpes por capa N°	56			25			12						
Cond. de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		
Peso molde + suelo humedo (gr)	13221				12895				12325				
Peso de molde (gr)	8450				8742				8432				
Peso del suelo humedo (gr)	4771				4153				3893				
Volumen del molde (cm ³)	2398				2270				2250				
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.990				1.830				1.730				
Humedad (%)	11.80				11.80				11.81				
Densidad seca (gr/cm ³)	1.780				1.636				1.547				
Tarro N°	1			2			3						
Tarro + Suelo humedo (gr)	241.94			514.50			444.80						
Tarro + Suelo seco (gr)	216.40			460.20			397.80						
Peso del Agua (gr)	25.54			54.30			47.00						
Peso del tarro (gr)													
Peso del suelo seco (gr)	216.40			460.20			397.80						
Humedad (%)	11.80			11.80			11.81						
Promedio de Humedad (%)	11.80			11.80			11.81						
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
07-10-22		0.00											
08-10-22	10:15	24	1.00	0.010	0.01	2.20	0.022	0.014	3.00	0.030	0.02		
09-10-22		48	2.00	0.020	0.01	3.00	0.030	0.020	5.00	0.050	0.03		
10-10-22		72	3.00	0.030	0.02	4.00	0.040	0.026	6.00	0.060	0.04		
PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (mm)	kg	kg	%	Dial (mm)	kg	kg	%	Dial (mm)	kg	kg	%
0.025		3	14.2			2	6.4			2	6.4		
0.050		6	37.4			4	21.9			3	14.2		
0.075		8	52.9			5	29.7			4	21.9		
0.100	70.31	10	68.4	89.0	5.6	7	45.2	53.0	3.9	5	29.7	41.0	3.0
0.150		16	137.3			9	60.7			8	52.9		
0.200	105	19	164.5	182.0	9.0	15	107.2	110.0	5.4	12	83.8	86.0	4.2
0.250		23	200.8			17	122.6			13	91.7		
0.300		24	209.8			17	122.6			13	91.7		
0.400													

Observaciones:


GEOLARC
 INGENIEROS CONSTRUCTORES SAC
 Ing. Edgar Enciso Tomasto
 CIP N° 13100



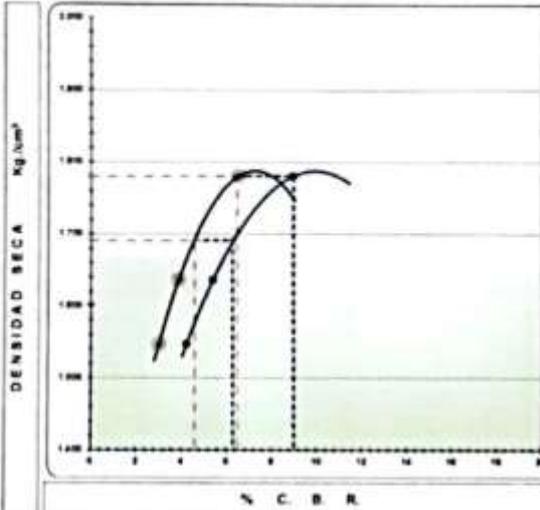
GRAFICO DE PENETRACION C.B.R.

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

TESES: ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y AGRINO DONADO EN CAMPOS VEGETALES.
 CARRETERA SICUANI - TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO 2022
 SOLICITA: BACHILLER CRISTHIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA
 BACHILLER YESSICA TRAJEROS MARTINEZ
 MATERIAL: CALICATA N° 1 L/DERCHO - SUELO NATURAL. FECHA: 10-10-22

DATOS DE LA MUESTRA

PROGRESIVA MUESTRA: SUELO NATURAL
 PROFUNDIDAD: 1.80 m
 CERTIFICADO: 32
 LADO: DERECHO
 OBSERVACIONES:

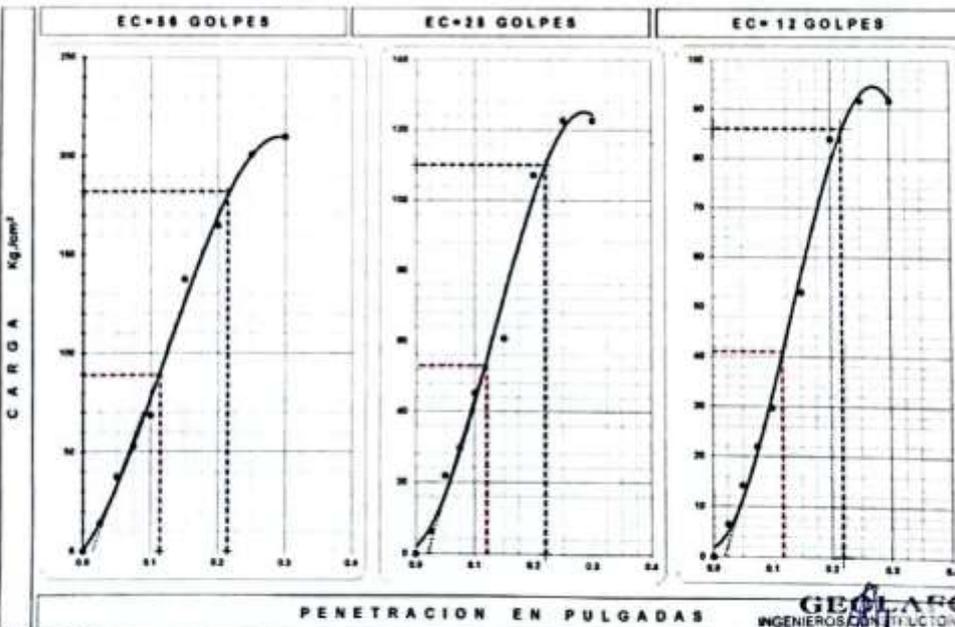


PENETRACION A :	0.1"	0.2"
C.B.R. AL 100% de M.D.S. (%) :	6.5	9.0
C.B.R. AL 95% de M.D.S. (%) :	4.8	6.3
C.B.R. AL 90% de M.D.S. (%) :		
C.B.R. (DENSIDAD NATURAL) :		

Datos del Proctor		
Densidad Seca	1.780	gr./cm³
Optimo Humedad	11.80	%

OBSERVACIONES:

	C.B.R. ESP.	M.D.S.
C.B.R. AL 100% de ESP. :		
C.B.R. AL 100% de ESP. :		



OBSERVACIONES:

GEOLAB
 INGENIEROS EN FUNCIONES SAC
 Ing. Edgardo Enciso Tomasto
 CIP N° 13100

A06.11. Evidencia del ensayo de CBR de la Calicata C-2

OPERA		ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CORAD EN CAMINOS VEICUALES											
TRAMO		CARRETERA SICLIM - TRAPICHE, CANCHIS, CUSCO											
MATERIAL		CALICATA N° 2 UJZUNFRIO, SUELO NATURAL											
		FECHA				10-10-22							
ENSAYO DE C.B.R.													
(NORMA MTC E-103)													
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS													
PROGRESIVA MUESTRA (MOP) (M)		SUELO NATURAL				CERTIFICADO LADO TIPO DE ANILLO							
		1.50 m				2							
DATOS DE LA MUESTRA													
Molde N°		3C		4C		5C							
N° Capa		5		5		5							
Golpes por capa N°		56		25		12							
Cond. de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO						
Peso molde + suelo húmedo (gr)		12715		12566		12000							
Peso de molde (gr)		8944		9005		8912							
Peso del suelo húmedo (gr)		3771		3561		3088							
Volumen del molde (cm ³)		2121		2116		2123							
Densidad húmeda (gr/cm ³)		1.778		1.683		1.455							
Humedad (%)		16.98		17.00		17.00							
Densidad seca (gr/cm ³)		1.520		1.438		1.244							
Tarro N°		1		2		3							
Tarro + Suelo húmedo (gr)		429.10		492.00		599.40							
Tarro + Suelo seco (gr)		366.80		420.50		512.30							
Peso del Agua (gr)		62.30		71.50		87.10							
Peso del tarro (gr)													
Peso del suelo seco (gr)		366.80		420.50		512.30							
Humedad (%)		16.98		17.00		17.00							
Promedio de Humedad (%)		16.98		17.00		17.00							
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION				
			mm	%	mm	%	mm	%					
10-10-22													
11-10-22		24	1.00	1.000	0.66	2.00	2.000	1.32	3.00	3.000	1.97		
12-10-22		48	3.00	3.000	1.97	4.00	4.000	2.63	4.00	4.000	2.63		
13-10-22		72	4.00	4.000	2.63	5.00	5.000	3.29	6.00	6.000	3.95		
PENETRACION													
PENETRACION %/2	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N° 3C				MOLDE N° 4C				MOLDE N° 5C			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.025		3	14.2			2	6.4			1	-1.3		
0.050		4	21.9			4	21.9			2	6.4		
0.075		6	37.4			6	37.4			4	21.9		
0.100	70.31	9	60.7	75.0	5.5	7	45.2	55.0	4.1	5	29.7	35.0	2.6
0.150		16	114.9			10	68.4			7	45.2		
0.200	106	18	130.4	140.0	6.9	13	91.7	99.0	4.9	9	60.7	65.0	3.2
0.250		20	145.9			15	107.2			10	68.4		
0.300		20	145.9			15	107.2			10	68.4		
0.400													

Observaciones:


Ing. Edgar Espino Tomasto
 CIP N° 13100*

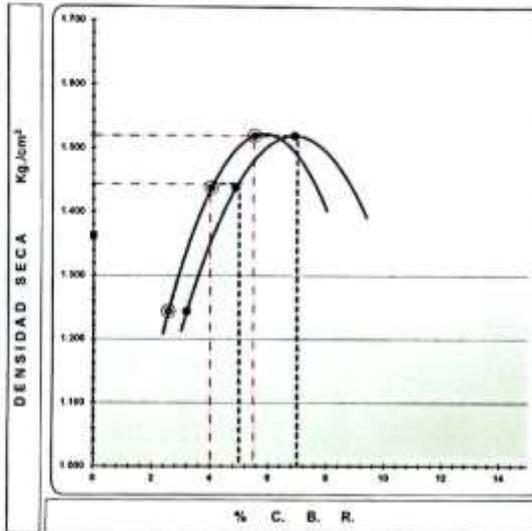


GRAFICO DE PENETRACION C.B.R.

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA : ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONADO EN CAMINOS VECIALES
 SOLICITA : CARRETERA SICUANI - TRAPICHE, CARCHI, CUICO
 BACHILLER CRISTIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA
 BACHILLER YESSERA TRIAJEROS MARTINEZ
 MATERIAL : CALICATA N° 3 L/ EDUARDO- SUELO NATURAL
 FECHA : 13-10-22

DATOS DE LA MUESTRA
 PROGRESO : SUELO NATURAL
 MUESTRA : SUELO NATURAL
 PROF. (m) : 1.50 mt.
 CERTIFICADO :
 LADO :
 OBSERVACIONES :

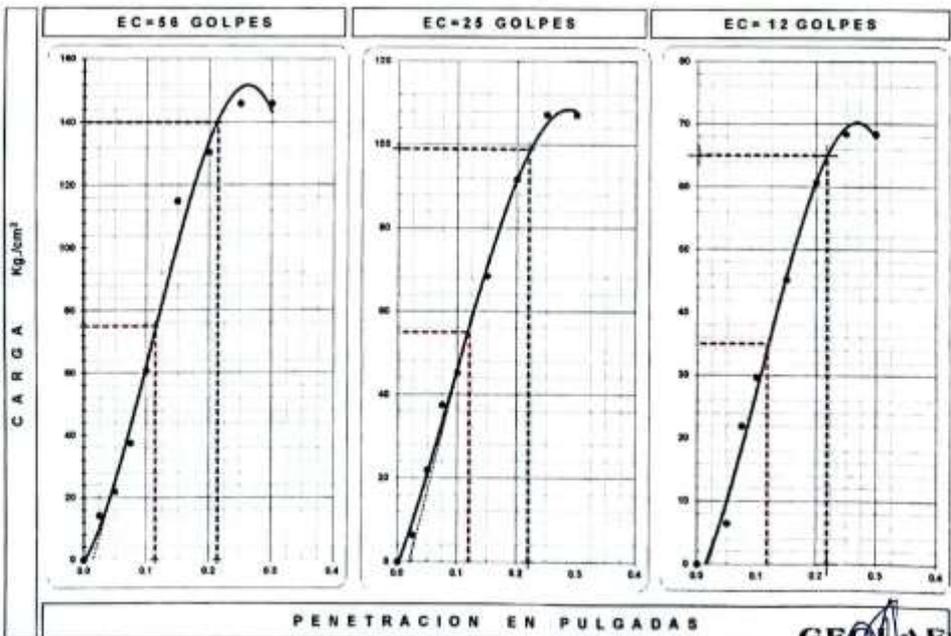


PENETRACION A :	0.1"	0.2"
C.B.R. AL 100% de M.D.S. (%) :	5.5	7.0
C.B.R. AL 95% de M.D.S. (%) :	4.0	5.0
C.B.R. AL 90% de M.D.S. (%) :		
C.B.R. (DENSIDAD NATURAL) :		

Densidad Seca	1.520	gr./cm ³
Óptimo Humedad	17.00	%

OBSERVACIONES:

	C.B.R. ESP.	M.D.S.
C.B.R. AL 100% ESP. :		
C.B.R. AL 100% ESP. :		



Observaciones:

GEOLAFEC
INGENIEROS CONSTRUCTORES SAC

Ing. Edgar Enciso Tomasto
CIP N° 13100*

A06.12. Evidencia del ensayo de CBR de la Calicata C-3

OBRA		ESTABLECIMIENTO DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y AGUJERO CONCRETO EN CAMINOS VECINALES											
TRAMO		CARRETERA BCLIANE - TRANCHE, CANCHER, JUNIO 2022											
MATERIAL		CALICATA N. 10 QUERENDO, SUELO NATURAL											
		FECHA		06-10-22									
DATOS DE LA MUESTRA													
PROGRESIVA MUESTRA	KM	CERTIFICADO LADO	34 QUERENDO										
PROF. (m)	DE CALICATA 0.90 - 1.50 m	TIPO DE ANILLO	3										
Molde N°	15	25	35										
N° Capa	5	5	5										
Órdenes por capa N°	56	25	12										
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO							
Peso molde + suelo húmedo (gr)	12756		12380		11250								
Peso de molde (gr)	8227		8242		7852								
Peso del suelo húmedo (gr)	4529		4138		3398								
Volumen del molde (cm ³)	2307		2307		2191								
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.963		1.794		1.551								
Humedad (%)	12.83		12.80		12.82								
Densidad seca (gr/cm ³)	1.740		1.590		1.375								
Tarro N°	1		2		3								
Tarro + Suelo húmedo (gr)	468.00		400.00		300.00								
Tarro + Suelo seco (gr)	414.80		354.60		265.90								
Peso del Agua (gr)	53.20		45.40		34.10								
Peso del tarro (gr)													
Peso del suelo seco (gr)	414.80		354.60		265.90								
Humedad (%)	12.83		12.80		12.82								
Promedio de Humedad (%)	12.83		12.80		12.82								
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
03-10-22													
04-10-22		24	3.00	3.000	1.97	4.00	4.000	2.63	5.00	5.000	3.29		
05-10-22		48	5.00	5.000	3.29	6.00	6.000	3.95	7.00	7.000	4.61		
06-10-22		72	6.00	6.000	3.95	8.00	8.000	5.26	9.00	9.000	5.92		
PENETRACION													
PENETRACION PIV	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N° 15				MOLDE N° 25				MOLDE N° 35			
		CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION		
		Dial (pvt)	kg	kg	%	Dial (pvt)	kg	kg	%	Dial (pvt)	kg	kg	%
0.025		4	21.9			3	14.2			2	8.4		
0.050		6	37.4			4	21.9			3	14.2		
0.075		10	68.4			5	29.7			4	21.9		
0.100	70.31	12	83.9	100.0	7.4	8	52.9	60.0	4.4	5	29.7	37.0	2.7
0.150		17	122.6			11	76.2			7	45.2		
0.200	106	24	176.8	180.0	8.9	15	107.2	110.0	5.4	9	60.7	67.0	3.3
0.250		27	200.1			16	114.9			11	76.2		
0.300		29	215.5			17	122.6			11	76.2		
0.400													

Observaciones:


GEOLAFIC
 INGENIEROS CONSTRUCTORES SAC
 Ing. Edgar Enciso Tomasto
 CIP N° 13100*



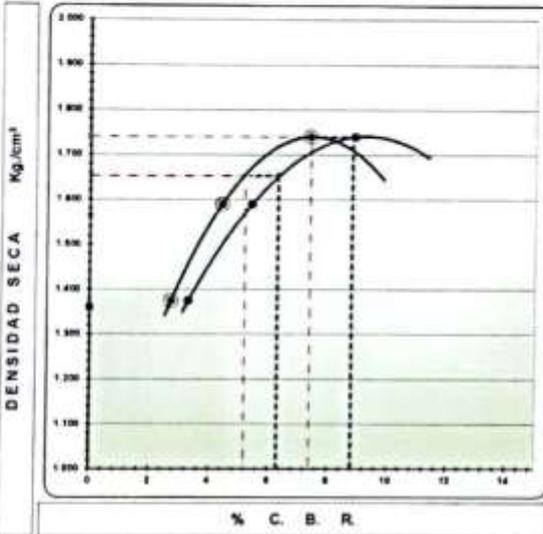
GRAFICO DE PENETRACION C.B.R.

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA : ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON CEMENTO Y ADITIVO CONAD EN CARMINOS VECINALES
 SOLICITA : CARRETERA SUCUM - TRAPICHE, DANCHE, CUSCO 2022
 MATERIAL : BACHILLER CRISTHIAN FRANCISCO SANCHEZ LIMA
 FECHA : 06-10-22

DATOS DE LA MUESTRA

PROGRES : KM
 MUESTRA : -
 PROF. (m) : DE CALICATA 0.90 - 1.50 m
 CERTIFICADO :
 LADO :
 OBSERVACIONES :

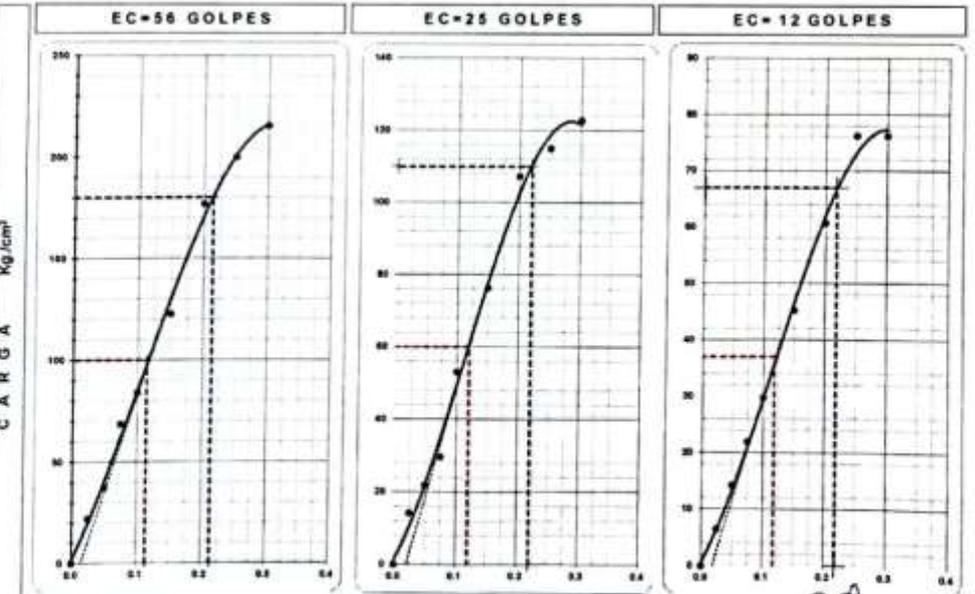


PENETRACION A :	0.1"	0.2"
C.B.R. AL 100% de M.D.S. (%) :	7.4	8.8
C.B.R. AL 95% de M.D.S. (%) :	5.2	6.3
C.B.R. AL 90% de M.D.S. (%) :		
C.B.R. (DENSIDAD NATURAL) :		

Datos del Proctor		
Densidad Seca	1.740	gr./cm³
Optimo Humedad	13.00	%

OBSERVACIONES :

	CBR ESP.	M.D.S.
C.B.R. AL 100% ESP. :		
C.B.R. AL 100% ESP. :		



PENETRACION EN PULGADAS

GEOLAFIC
 INGENIEROS CONSTRUCTORES SAC

Ing. Edgar Enciso Tomasta
 CIP N° 13100

ANEXO 07: Evidencia Fotográfica

Fotografía 6. Tamizado de material obtenido de las calicatas



Fotografía 7. Obtención de material después del tamizado



Fotografía 8. Toma de datos del peso de las muestras



Fotografía 9. Inserción de muestras en el horno



Fotografía 10. Colocación de muestra en la probeta



Fotografía 11. Toma de datos para plasticidad



Fotografía 12. Toma de datos del contenido de humedad



Fotografía 13. Colocación del material grueso en los tamices



Fotografía 14. Calibración de la carga



Fotografía 15. Nivelación de la muestra



Fotografía 16. Aplicación de carga



ANEXO 08: Certificado de calibración de equipos



LABORATORIO DE
METROLOGÍA

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN – LABORATORIO DE FUERZA Calibration Certificate – Laboratory of Force

OBJETO DE PRUEBA:

Rangos
Measurement ranges
FABRICANTE
Manufacturer
Modelo
Model
Serie
Identification number
Ubicación de la máquina
Location of the machine
Norma de referencia
Form of used reference
Intervalo calibrado
Calibrated interval
Solicitante
Customer
Dirección
Address
Ciudad
City

PATRON(ES) UTILIZADO(S)

Tipo / Modelo
Type / Model
Rangos
Measurement ranges
Fabricante
Manufacturer
No. serie
Identification number
Certificado de calibración
Calibration certification
Incertidumbre de medida
Uncertainty of measurement
Método de calibración
Method of calibration
Unidades de medida
Units of measurement
FECHA DE CALIBRACIÓN
Date of calibration
FECHA DE EXPEDICIÓN
Date of issue

NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS

Number of pages of the certificate including attached documents

FIRMAS AUTORIZADAS

Authorized signatories

Téc. Omar A. Huamán Paqyoma
Responsable Laboratorio de Metrología

MÁQUINA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN

4 551 kgf
A&A INSTRUMENTS
STCBR – 1
13036

LAB. DE SUELOS Y CONCRETO DE GEOLAFIC INGENIEROS S.A.C
NTC – ISO 7500 – 1 (2007 – 07 – 25)
Del 10% al 100% del Rango
GEOLAFIC INGENIEROS S.A.C
AV. SICUANI NRO. 411 CUSCO - CANCHIS – SICUANI
SICUANI

T71P / DEF – A
5000 kgf
OHAUS / KELI
B504530209 / AGB8505
N° CC – 1752 – 2021
0.062 %
Comparación Directa
Sistema Internacional de Unidades (SI)
2022 – 06 – 03
2022 – 06 – 06

Pág. 1 de 5

5

Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de **G&L LABORATORIO S.A.C**



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO 592-2022 GLF

Pág. 2 de 5

Método de Calibración: FUERZA INDICADA CONSTANTE
 Tipo de Instrumento: MÁQUINA MANUAL PARA ENSAYOS CBR CON ANILLO DE CARGA

DATOS DE LA CALIBRACIÓN

Dirección de la Carga: COMPRESIÓN Resolución: 1.52 kgf

Indicación de la Máquina		Series de medición: Indicación del Patrón				
%	UNIDADES	1 (ASC) kgf	2 (ASC) kgf	2 (DESC) No Aplica	3 (ASC) kgf	4 (ASC) No Aplica
10	60	454	454		454	
20	120	917	917		917	
30	180	1382	1382		1382	
40	240	1840	1840		1840	
50	300	2289	2289	No Aplica	2289	No Aplica
60	360	2747	2747		2747	
70	420	3202	3202		3202	
80	480	3657	3657		3657	
90	540	4103	4103		4103	
100	600	4550	4550		4550	
Indicación después de Carga:		0	0		0	No Aplica

RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN

Indicación de la Máquina		Errores Relativos Calculados				Resolución	Incertidumbre
%	kgf	Exactitud q (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Accesorios Acces. (%)	Relativa a (%)	Relativa U± (%) k=2
10	455.06	0.23	0.00			0.333	0.216
20	917.81	0.09	0.00			0.165	0.137
30	1378.42	-0.26	0.00			0.110	0.117
40	1836.99	-0.16	0.00			0.083	0.109
50	2293.62	0.20	0.00	No Aplica	No Aplica	0.066	0.105
60	2748.42	0.05	0.00			0.055	0.103
70	3201.49	-0.02	0.00			0.047	0.102
80	3652.94	-0.11	0.00			0.042	0.101
90	4102.86	0.00	0.00			0.037	0.100
100	4551.37	0.03	0.00			0.033	0.100
Error Relativo de Cero fo (%)		0.00	0.00	0.00	0.00	No Aplica	

Técnico de Calibración: Gilmer Huamán Poquioma

CONDICIONES AMBIENTALES

La calibración se realizó bajo las siguientes condiciones ambientales:

Temperatura Mínima: 17.4 °C Humedad Mínima: 34.0 %/hr
 Temperatura Máxima: 17.8 °C Humedad Máxima: 34.0 %/hr



Teléfono: (01) 622 - 5814
 Celular: 992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo: laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
 servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
 Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
 Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO 592-2022 GLF

Pág. 3 de 5

CLASIFICACIÓN DE MÁQUINA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN

Errores relativos absolutos máximos hallados					
Exactitud q(%)	Repetibilidad b(%)	Reversibilidad v(%)	Accesorios aces(%)	Cero fo(%)	Resolución a(%) en el 20%
0,26	0,00	No Aplica	No Aplica	0,00	0,165

De acuerdo con los datos anteriores y según las prescripciones de la norma técnica Peruana NTC-ISO 7500-1, la máquina de ensayos se clasifica: **CLASE 0.5 Desde el 20%**

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Procedimiento de calibración se realizó por el método de comparación directa utilizado patrones trazables de SI calibrados en las instituciones del IEDI-PUCP tomando como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción / compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza" – Julio 2006.

PATRONES DE REFERENCIA

El laboratorio de Metrología de G & L LABORATORIO S.A.C. asegura el mantenimiento y la trazabilidad de nuestra Celda de Carga tipo "S", con N° de Serie: B504530209 / AGB8505, con incertidumbre del orden de 0,062 % con CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° CC – 1752 – 2021.

OBSERVACIONES

1. Se realizó una inspección general de la máquina encontrándose en buen estado de funcionamiento
2. Los certificados de calibración sin las firmas no tienen validez
3. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "El tiempo entre las verificaciones depende del tipo de máquina de ensayo, de la norma de mantenimiento y de la frecuencia de uso. A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores a 12 meses." (NTC-ISO 7 500-1)
4. "En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes." (NTC-ISO 7 500-1)
5. Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
6. Los resultados contenidos parcialmente en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
7. La calibración se realizó bajo condiciones establecidas en la NTC-ISO 7 500 - 1 de 2007, numeral 6.4.2. La cual especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10 °C y 35 °C; con una variación máxima de 2 °C durante cada serie de mediciones.
8. Se adjunta en el certificado la estampilla de calibración No. 592-2022 GLF

FIRMAS AUTORIZADAS

Téc. Gilmer A. Huarán Boguima
Responsable de Metrología





LABORATORIO DE METROLOGÍA

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO 992-2022 G&L
Pág. 4 de 5

TABLA DE CALIBRACIÓN

Carga en kgf = $A_0 + (A_1 * X) + (A_2 * X^2) + (A_3 * X^3)$, donde X = Lectura del Dial

$A_0 = -9.93330E+00$
 $A_1 = 7.76926E+00$

$A_2 = -3.26502E-04$
 $A_3 = 8.00383E-08$

Desvío estandar del ajuste = 7.21458 kgf

Lecturas	Carga en kgf									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	67.73	75.49	83.25	91.01	98.77	106.53	114.29	122.05	129.81	137.57
20	145.32	153.08	160.83	168.59	176.34	184.10	191.85	199.60	207.35	215.10
30	222.85	230.60	238.35	246.10	253.85	261.59	269.34	277.09	284.83	292.58
40	300.32	308.06	315.81	323.55	331.29	339.03	346.77	354.51	362.25	369.99
50	377.72	385.46	393.20	400.93	408.67	416.40	424.14	431.87	439.60	447.33
60	455.06	462.79	470.52	478.25	485.98	493.71	501.44	509.17	516.89	524.62
70	532.34	540.07	547.79	555.51	563.24	570.96	578.68	586.40	594.12	601.84
80	609.56	617.28	624.99	632.71	640.43	648.14	655.86	663.57	671.29	679.00
90	686.71	694.43	702.14	709.85	717.56	725.27	732.98	740.69	748.39	756.10
100	763.81	771.51	779.22	786.92	794.63	802.33	810.04	817.74	825.44	833.14
110	840.84	848.54	856.24	863.94	871.64	879.34	887.03	894.73	902.42	910.12
120	917.81	925.51	933.20	940.89	948.59	956.28	963.97	971.66	979.35	987.04
130	994.73	1002.42	1010.10	1017.79	1025.48	1033.16	1040.85	1048.53	1056.22	1063.90
140	1071.58	1079.27	1086.95	1094.63	1102.31	1109.99	1117.67	1125.35	1133.02	1140.70
150	1148.38	1156.06	1163.73	1171.41	1179.08	1186.76	1194.43	1202.10	1209.77	1217.45
160	1225.12	1232.79	1240.46	1248.13	1255.80	1263.47	1271.13	1278.80	1286.47	1294.13
170	1301.80	1309.46	1317.13	1324.79	1332.45	1340.12	1347.78	1355.44	1363.10	1370.76
180	1378.42	1386.08	1393.74	1401.40	1409.06	1416.71	1424.37	1432.02	1439.68	1447.33
190	1454.99	1462.64	1470.29	1477.95	1485.60	1493.25	1500.90	1508.55	1516.20	1523.85
200	1531.50	1539.15	1546.79	1554.44	1562.09	1569.73	1577.38	1585.02	1592.67	1600.31
210	1607.95	1615.60	1623.24	1630.88	1638.52	1646.16	1653.80	1661.44	1669.08	1676.72
220	1684.35	1691.99	1699.63	1707.26	1714.90	1722.53	1730.17	1737.80	1745.43	1753.07
230	1760.70	1768.33	1775.96	1783.59	1791.22	1798.85	1806.48	1814.11	1821.74	1829.36
240	1836.99	1844.62	1852.24	1859.87	1867.49	1875.11	1882.74	1890.36	1897.98	1905.60
250	1913.23	1920.85	1928.47	1936.09	1943.71	1951.32	1958.94	1966.56	1974.18	1981.79
260	1989.41	1997.02	2004.64	2012.25	2019.87	2027.48	2035.09	2042.71	2050.32	2057.93
270	2065.54	2073.15	2080.76	2088.37	2095.98	2103.59	2111.19	2118.80	2126.41	2134.01
280	2141.62	2149.22	2156.83	2164.43	2172.04	2179.64	2187.24	2194.84	2202.44	2210.04
290	2217.65	2225.25	2232.84	2240.44	2248.04	2255.64	2263.24	2270.83	2278.43	2286.03



● Teléfono:
(01) 622 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

✉ Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

📍 Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



TABLA DE CALIBRACIÓN

300	2 293.62	2 301.22	2 308.81	2 316.40	2 324.00	2 331.59	2 339.18	2 346.77	2 354.36	2 361.95
310	2 369.54	2 377.13	2 384.72	2 392.31	2 399.90	2 407.49	2 415.08	2 422.66	2 430.25	2 437.83
320	2 445.42	2 453.00	2 460.59	2 468.17	2 475.75	2 483.34	2 490.92	2 498.50	2 506.08	2 513.66
330	2 521.24	2 528.82	2 536.40	2 543.98	2 551.56	2 559.14	2 566.71	2 574.29	2 581.87	2 589.44
340	2 597.02	2 604.59	2 612.17	2 619.74	2 627.31	2 634.89	2 642.46	2 650.03	2 657.60	2 665.17
350	2 672.74	2 680.31	2 687.88	2 695.45	2 703.02	2 710.59	2 718.15	2 725.72	2 733.29	2 740.85
360	2 746.42	2 753.98	2 761.55	2 769.11	2 776.68	2 784.24	2 791.80	2 801.37	2 808.93	2 816.49
370	2 824.05	2 831.61	2 839.17	2 846.73	2 854.29	2 861.85	2 869.40	2 876.96	2 884.52	2 892.07
380	2 899.63	2 907.19	2 914.74	2 922.30	2 929.85	2 937.40	2 944.96	2 952.51	2 960.06	2 967.61
390	2 975.16	2 982.72	2 990.27	2 997.82	3 005.37	3 012.91	3 020.46	3 028.01	3 035.56	3 043.11
400	3 050.65	3 058.20	3 065.74	3 073.29	3 080.84	3 088.38	3 095.92	3 103.47	3 111.01	3 118.55
410	3 126.09	3 133.64	3 141.18	3 148.72	3 156.26	3 163.80	3 171.34	3 178.88	3 186.42	3 193.95
420	3 201.49	3 209.03	3 216.56	3 224.10	3 231.64	3 239.17	3 246.71	3 254.24	3 261.78	3 269.31
430	3 276.84	3 284.37	3 291.91	3 299.44	3 306.97	3 314.50	3 322.03	3 329.56	3 337.09	3 344.62
440	3 352.15	3 359.68	3 367.20	3 374.73	3 382.26	3 389.78	3 397.31	3 404.84	3 412.36	3 419.89
450	3 427.41	3 434.93	3 442.46	3 449.98	3 457.50	3 465.03	3 472.55	3 480.07	3 487.59	3 495.11
460	3 502.63	3 510.15	3 517.67	3 525.19	3 532.70	3 540.22	3 547.74	3 555.26	3 562.77	3 570.29
470	3 577.80	3 585.32	3 592.83	3 600.35	3 607.86	3 615.38	3 622.89	3 630.40	3 637.91	3 645.43
480	3 652.94	3 660.45	3 667.96	3 675.47	3 682.98	3 690.49	3 698.00	3 705.50	3 713.01	3 720.52
490	3 726.03	3 733.53	3 741.04	3 748.55	3 756.05	3 763.56	3 771.06	3 778.57	3 786.07	3 793.57
500	3 803.08	3 810.58	3 818.08	3 825.58	3 833.08	3 840.58	3 848.09	3 855.59	3 863.09	3 870.58
510	3 876.08	3 883.58	3 891.08	3 898.58	3 906.07	3 913.57	3 921.07	3 928.56	3 936.06	3 943.55
520	3 953.05	3 960.54	3 968.04	3 975.53	3 983.03	3 990.52	3 998.01	4 005.50	4 012.99	4 020.49
530	4 027.98	4 035.47	4 042.96	4 050.45	4 057.94	4 065.42	4 072.91	4 080.40	4 087.89	4 095.38
540	4 102.86	4 110.35	4 117.83	4 125.32	4 132.81	4 140.29	4 147.78	4 155.26	4 162.74	4 170.23
550	4 177.71	4 185.19	4 192.67	4 200.16	4 207.64	4 215.12	4 222.60	4 230.08	4 237.56	4 245.04
560	4 252.52	4 260.00	4 267.47	4 274.95	4 282.43	4 289.91	4 297.38	4 304.86	4 312.34	4 319.81
570	4 327.29	4 334.76	4 342.24	4 349.71	4 357.18	4 364.66	4 372.13	4 379.60	4 387.08	4 394.55
580	4 402.02	4 409.49	4 416.96	4 424.43	4 431.90	4 439.37	4 446.84	4 454.31	4 461.78	4 469.25
590	4 476.71	4 484.18	4 491.65	4 499.11	4 506.58	4 514.05	4 521.51	4 528.98	4 536.44	4 543.91
600	4 551.37									

FIRMA AUTORIZADA

 Tec. Gilmar A. Huamán Poguioma
 Responsable de Metrología



Teléfono:
 (01) 622 - 5814
 Celular:
 992 - 302 - 883 / 962 - 227 - 858

Correo:
 laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
 servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
 Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
 Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN – LABORATORIO DE FUERZA
Calibration Certificate – Laboratory of Force

OBJETO DE PRUEBA:

Instrument
Rangos
Measurement range
FABRICANTE
Manufacturer
Modelo
Model
Serie
Identification number
Ubicación de la máquina
Location of the machine
Norma de referencia
Form of used reference
Intervalo calibrado
Calibrated interval
Solicitante
Customer
Dirección
Address
Ciudad
City

PATRON(ES) UTILIZADO(S)

Measurement standard
Tipo / Modelo
Type / Model
Rangos
Measurement range
Fabricante
Manufacturer
No. serie
Identification number
Certificado de calibración
Calibration certification
Incertidumbre de medida
Uncertainty of measurement
Método de calibración
Method of calibration
Unidades de medida
Units of measurement

FECHA DE CALIBRACIÓN

Date of calibration

FECHA DE EXPEDICIÓN

Date of issue

NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS

Number of pages of certificate and documents attached

FIRMAS AUTORIZADAS

Authorized Signatures

Téc. Ermelinda Huapaya Poquiroma
Responsable Laboratorio de Metrología

MÁQUINA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN

1 000 kN

A&A INSTRUMENTS

STYE – 2000

121010

LAB. DE SUELOS Y CONCRETO DE GEOLÁFC INGENIEROS S.A.C

NTC – ISO 7500 – 1 (2007 – 07 – 25)

Del 10% al 100% del Rango

GEOLÁFC INGENIEROS S.A.C

AV. SICUANI NRO. 411 CUSCO - CANCHIS – SICUANI

SICUANI

T71P / ZSC

150 tn

OHAUS / KELI

B504530209 / 5M56609

N° INF – LE – 618 – 21

0,060 %

Comparación Directa

Sistema Internacional de Unidades (SI)

2022 – 06 – 03

2022 – 06 – 06

Pág. 1 de 3

3



Teléfono:
(01) 612 - 5014
Celular:
992 - 302 - 883 / 362 - 227 - 858

Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO 593-2022 GLF

Pág. 2 de 3

Método de Calibración: FUERZA INDICADA CONSTANTE
 Tipo de Instrumento: MÁQUINA ELÉCTRICA DIGITAL PARA ENSAYOS DE CONCRETO

DATOS DE LA CALIBRACIÓN

Dirección de la Carga: COMPRESIÓN Resolución: 0.00 kN

Indicación de la Máquina	Series de medición: Indicación del Patrón					
	1 (ASC)	2 (ASC)	2 (DESC)	3 (ASC)	4 (ASC)	
%	kN	kN	kN	No Aplica	kN	No Aplica
10	100.00	99.58	98.78		98.52	
20	200.00	200.45	199.27		198.64	
30	300.00	300.27	298.95		297.39	
40	400.00	400.31	398.68		398.13	
50	500.00	500.63	498.37	No Aplica	498.05	No Aplica
60	600.00	600.81	598.46		598.19	
70	700.00	701.08	698.26		698.15	
80	800.00	801.39	798.16		797.24	
90	900.00	901.76	898.58		898.16	
100	1 000.00	1002.38	998.65		997.67	
Indicación después de Carga:	0.00	0.00			0.00	No Aplica

RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN

Indicación de la Máquina	Errores Relativos Calculados				Resolución Relativa a (%)	Incertidumbre Relativa U± (%) k=2
	Exactitud g (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Accesorios Acces. (%)		
%	kN					
10	100.00	1.05	1.07		0.002	0.648
20	200.00	0.27	0.91		0.001	0.536
30	300.00	0.38	0.96		0.001	0.561
40	400.00	0.24	0.55		0.001	0.335
50	500.00	0.20	0.52	No Aplica	0.000	0.333
60	600.00	0.14	0.44		0.000	0.286
70	700.00	0.12	0.42		0.000	0.283
80	800.00	0.13	0.52		0.000	0.322
90	900.00	0.06	0.40		0.000	0.262
100	1 000.00	0.04	0.47		0.000	0.295
Error Relativo de Cero fo (%)		0.00	0.00	0.00	No Aplica	

Técnico de Calibración: Gilmer Huamán Poquioma

CONDICIONES AMBIENTALES

La calibración se realizó bajo las siguientes condiciones ambientales:

Temperatura Mínima: 17.2 °C
 Temperatura Máxima: 17.3 °C

Humedad Mínima: 38.0 %Hr
 Humedad Máxima: 38.0 %Hr



Teléfono:
 (01) 632 - 5814
 Celular:
 992 - 302 - 883 / 362 - 227 - 858

Correo:
 laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
 servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
 Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
 Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO 593-2022 GLF
Pág. 3 de 3

CLASIFICACIÓN DE MÁQUINA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN

Errores relativos absolutos máximos hallados					
Exactitud q(%)	Repetibilidad b(%)	Reversibilidad v(%)	Accesorios aces(%)	Cero fe(%)	Resolución a(%) en el 20%
0,38	0,96	No Aplica	No Aplica	0,00	0,001

De acuerdo con los datos anteriores y según las prescripciones de la norma técnica Peruana NTC-ISO 7500-1, la máquina de ensayos se clasifica: **CLASE 1 Desde el 20%**

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Procedimiento de calibración se realizó por el método de comparación directa utilizado patrones trazables de SI calibrados en las instituciones del UCDI-PUCP tomando como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción / compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza" – Julio 2006.

PATRONES DE REFERENCIA

El laboratorio de Metrología de G & L LABORATORIO S.A.C. asegura el mantenimiento y la trazabilidad de nuestra Celda de Carga HBM, #Serie: B504530209 / 5M56609, Patrón utilizado Celda de carga de 150 t. con incertidumbre del orden de 0,060 % con INFORME TÉCNICO LEA – PUCP, INF – LE – 618 – 21.

OBSERVACIONES .

1. Se realizó una inspección general de la máquina encontrándose en buen estado de funcionamiento
2. Los certificados de calibración sin las firmas no tienen validez
3. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "El tiempo entre las verificaciones depende del tipo de máquina de ensayo, de la norma de mantenimiento y de la frecuencia de uso. A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores a 12 meses." (NTC-ISO 7 500-1)
4. "En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes." (NTC-ISO 7 500-1)
5. Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
6. Los resultados contenidos parcialmente en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
7. La calibración se realizó bajo condiciones establecidas en la NTC-ISO 7 500 - 1 de 2007, numeral 6,4,2. La cual especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10 °C y 35 °C; con una variación máxima de 2 °C durante cada serie de medición.
8. Se adjunta al presente certificado la estampilla de calibración No. 593-2022 GLF

FIRMAS AUTORIZADAS
SUPERVISOR
LABORATORIO
Téc. *Guillermo A. Huamán Podquioma*
Responsable Técnico de Metrología



Teléfono:
(01) 632 - 5814
Celular:
992 - 302 - 883 / 362 - 227 - 858

Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 594-2022 GLT

Página 1 de 4

Fecha de Emisión : 2022-06-06

1. SOLICITANTE : GEOLAFIC INGENIEROS S.A.C

DIRECCIÓN : AV. SICUANI NRO. 411 CUSCO - CANCHIS
- SICUANI

2. EQUIPO DE MEDICIÓN: HORNO ELÉCTRICO

MARCA : A&A INSTRUMENTS

MODELO : STHX-2A

NÚMERO DE SERIE : 12214

PROCEDECIA : CHINA

IDENTIFICACIÓN : NO PRESENTA

UBICACIÓN : LABORATORIO

Descripción del Termómetro del Equipo

Tipo : Digital

Alcance de Indicación : 1 °C a 250 °C

División de Escala : 0.1 °C

3. FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

Calibrado el 2022-06-03

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

G & L LABORATORIO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

La calibración se realizó en el LAB. DE SUELOS Y CONCRETO DE GEOLAFIC INGENIEROS S.A.C.

4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó por comparación directa con termómetros patrones calibrados que tienen trazabilidad a la Escala Internacional de Temperatura de 1990, se usó el procedimiento PC-018 "Calibración de Medios con Aire como Medio Termostático", edición 2, Junio 2009, del SHM-INDECOP - Perú.

5. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

	Inicial	Final
Temperatura °C	17.6	18.2
Humedad Relativa %HR	36	38

6. TRAZABILIDAD

Los resultados de calibración tienen trazabilidad a los patrones nacionales, reportados de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
TOTAL WEIGHT	Termómetro de indicación digital de 10 termocupias	CC - 6319 - 2021



Téc. Guzmán Miguéla
Responsable del Laboratorio de Metrología

Teléfono:
(01) 622 - 6014
Celular:
992 - 302 - 881 / 962 - 227 - 854

Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C



7. RESULTADOS DE MEDICIÓN

TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN 110 °C ± 10 °C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	Indicación termómetros patrones (°C)										T. Prom. (°C)	Tmax-Tmin. (°C)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110.0	111.3	119.4	108.4	109.7	114.2	111.4	117.5	112.8	110.4	112.2	112.7	11
02	110.0	111.2	119.5	108.6	109.8	114.3	111.4	117.3	112.8	110.8	112.2	112.8	10.9
04	110.0	111.4	119.2	108.5	109.5	114.1	111.3	117.1	112.8	110.6	112.1	112.6	10.7
06	110.0	111.3	119.1	108.4	109.8	114.2	111.4	117.2	112.8	110.4	112.0	112.8	10.7
08	109.8	111.5	119.1	108.6	109.6	114.6	111.2	117.1	112.7	110.4	111.9	112.7	10.5
10	109.9	111.3	119.1	108.4	109.8	114.1	111.2	117.1	112.5	110.6	111.8	112.6	10.7
12	110.0	111.6	119.5	108.7	109.9	114.4	111.4	117.6	112.8	110.7	112.2	112.9	10.8
14	110.3	111.8	119.2	108.8	110.0	114.4	111.6	117.8	112.7	110.8	112.2	112.9	10.4
16	110.0	111.5	119.1	108.7	109.7	114.1	111.4	116.9	112.6	110.6	112.2	112.7	10.4
18	109.7	111.6	119.2	108.4	109.7	114.1	111.4	116.8	112.6	110.5	112.1	112.6	10.8
20	110.0	111.5	119.1	108.6	109.6	114.6	111.2	117.1	112.7	110.4	111.9	112.7	10.5
22	110.0	111.3	119.1	108.4	109.8	114.1	111.2	117.1	112.5	110.6	111.8	112.6	10.7
24	110.0	111.6	119.5	108.7	109.9	114.4	111.4	117.6	112.8	110.7	112.2	112.9	10.8
26	110.0	111.3	119.4	108.4	109.7	114.2	111.4	117.5	112.8	110.4	112.2	112.7	11.0
28	109.8	111.2	119.5	108.6	109.8	114.3	111.4	117.3	112.8	110.8	112.2	112.8	10.9
30	109.9	111.4	119.2	108.5	109.5	114.1	111.3	117.1	112.8	110.6	112.1	112.6	10.7
32	110.0	111.3	119.1	108.4	109.8	114.2	111.4	117.2	112.8	110.4	112.0	112.6	10.7
34	110.3	111.5	119.1	108.6	109.6	114.6	111.2	117.1	112.7	110.4	111.9	112.7	10.5
36	110.0	111.3	119.1	108.4	109.8	114.1	111.2	117.1	112.5	110.6	111.8	112.6	10.7
38	109.7	111.6	119.5	108.7	109.9	114.4	111.4	117.6	112.8	110.7	112.2	112.9	10.8
40	110.0	111.8	119.2	108.8	110.0	114.4	111.6	117.8	112.7	110.8	112.2	112.9	10.4
42	110.0	111.5	119.1	108.7	109.7	114.1	111.4	116.9	112.6	110.6	112.2	112.7	10.4
44	110.0	111.6	119.2	108.4	109.7	114.1	111.4	116.8	112.6	110.5	112.1	112.6	10.8
46	110.0	111.4	119.2	108.5	109.5	114.1	111.3	117.1	112.8	110.6	112.1	112.6	10.7
48	109.8	111.3	119.1	108.4	109.6	114.2	111.4	117.2	112.8	110.4	112.0	112.6	10.7
50	109.9	111.5	119.1	108.6	109.6	114.6	111.2	117.1	112.7	110.4	111.9	112.7	10.5
52	110.0	111.3	119.1	108.4	109.8	114.1	111.2	117.1	112.5	110.6	111.8	112.6	10.7
54	110.3	111.6	119.5	108.7	109.9	114.4	111.4	117.6	112.8	110.7	112.2	112.9	10.8
56	110.0	111.8	119.2	108.8	110.0	114.4	111.6	117.8	112.7	110.8	112.2	112.9	10.4
58	109.7	111.5	119.1	108.7	109.7	114.1	111.4	116.9	112.6	110.6	112.2	112.7	10.4
60	110.0	111.8	119.2	108.4	109.7	114.1	111.4	116.8	112.6	110.5	112.1	112.6	10.8
T. PROM.	110.0	111.5	119.2	108.6	109.7	114.3	111.4	117.2	112.6	110.6	112.1	112.7	
T. MAX	110.3	111.8	119.5	108.8	110.0	114.6	111.6	117.8	112.8	110.8	112.2		
T. MIN	109.7	111.2	119.1	108.4	109.5	114.1	111.2	116.8	112.5	110.4	111.8		
DTT	0.6	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	1.0	0.3	0.4	0.4		

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	119.5	0.3
Mínima Temperatura Medida	108.4	0.3
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1.0	0.1
Desviación de Temperatura en el Espacio	10.7	0.3
Estabilidad Medida (±)	0.5	0.04
Uniformidad Medida	11	0.3



Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
 Promedio de las temperaturas en las diez posiciones de medición en un instante dado.
 Temperatura máxima.
 Temperatura mínima.
 Desviación de temperatura en el tiempo.



Teléfono:
(01) 622 - 6014
Celular:
992 - 302 - 881 / 962 - 227 - 854

Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohíbida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°594-2022 GLT

Página 3 de 4

8. OBSERVACIONES

Los resultados obtenidos corresponden al promedio de 31 lecturas por punto de medición considerando, luego del tiempo de estabilización.

Las lecturas se iniciaron luego de un precalentamiento y estabilización de 2 min.

El esquema de distribución y posición de los termocuplas calibradas en los puntos de medición se muestra en la página 4.

(*) Código asignado por G&L LABORATORIO S.A.C.

Para la temperatura de 110°C.

La calibración se realizó sin carga.

El promedio de temperatura durante la medición fue 110 °C.

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

NOTA:

Los resultados contenidos en el presente documento son válidos únicamente para las condiciones del equipo durante la calibración. G&L LABORATORIO SAC. no se responsabiliza de ningún perjuicio que pueda derivarse del uso inadecuado del objeto calibrado.

Una copia de este documento será mantenido en archivo electrónico en el laboratorio por un periodo de por lo menos 4 años.

9. FOTOGRAFÍA DEL INTERIOR DEL EQUIPO



Teléfono:
(01) 622 - 5014
Celular:
992 - 302 - 881 / 962 - 227 - 854

Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

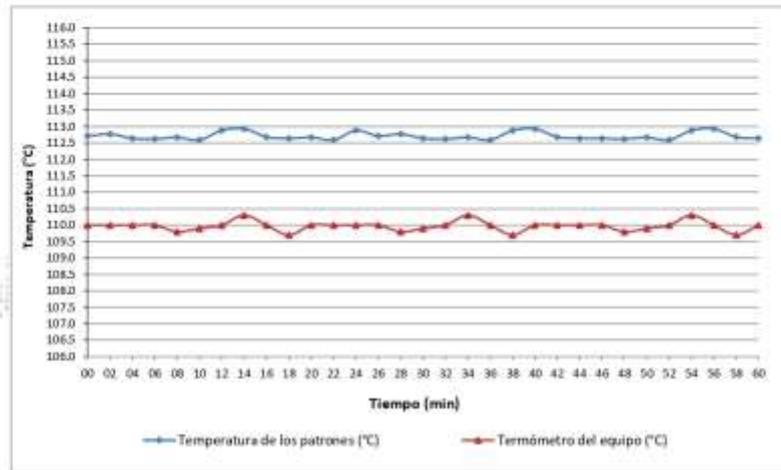
Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.

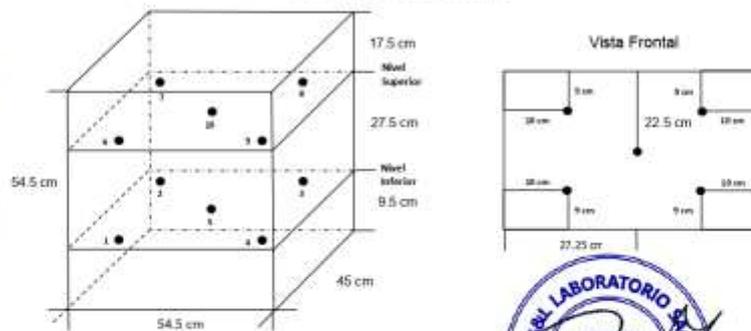


CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°594-2022 GLT
Página 4 de 4

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN EL EQUIPO
TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN 110 °C ± 10 °C



UBICACIÓN DE LOS SENSORES



Los sensores se colocaron a 6 cm de altura sobre sus respectivos niveles.



Teléfono:
(01) 622 - 5014
Celular:
992 - 302 - 881 / 962 - 227 - 854

Correo:
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com
servicios@gylaboratorio.com

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa Los Olivos
Lima

Prohibida la Reproducción total de este documento sin la autorización de G&L LABORATORIO S.A.C.