

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Mejoramiento de las propiedades mecánicas del
suelo arcilloso con resina de pino de la subrasante
de carretera Pumamarca del distrito de San
Sebastián, Cusco**

Lizinka Gianella Bautista Rafaele

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Civil

Cusco, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

Informe de Turnitin - TESIS V04__Lizinka Bautista

INFORME DE ORIGINALIDAD

33%

INDICE DE SIMILITUD

33%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

8%

2

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

7%

3

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

biblioteca.itson.mx

Fuente de Internet

1%

6

pirhua.udep.edu.pe

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.unicauca.edu.co:8080

Fuente de Internet

1%

8

tesis.luz.edu.ve

Fuente de Internet

1%

9

revistas.unica.cu

Fuente de Internet

1%

10	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
12	www.imt.mx Fuente de Internet	<1 %
13	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	es.weatherspark.com Fuente de Internet	<1 %
17	jupiter.utm.mx Fuente de Internet	<1 %
18	jamesurtis.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	guatemala.pochteca.net Fuente de Internet	<1 %

22	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
26	biblioteca.mti.gob.ni:8080 Fuente de Internet	<1 %
27	www.tdx.cat Fuente de Internet	<1 %
28	1library.co Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	investigacionmetodologicaderojas.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
31	id.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.unan.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

34	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
35	www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	dbpedia.demo.openlinksw.com Fuente de Internet	<1 %
37	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	repository.uniminuto.edu Fuente de Internet	<1 %
40	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
41	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
43	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	<1 %
44	www.proviasdes.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.unphu.edu.do Fuente de Internet	<1 %

46

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

47

www.researchgate.net

Fuente de Internet

<1 %

48

repositorio.uwiener.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

49

epage.pub

Fuente de Internet

<1 %

50

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

51

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

52

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

53

repositorio.umecit.edu.pa

Fuente de Internet

<1 %

54

repositorio.unp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

55

dspace.utpl.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

56

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

57

repositorio.ucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

58	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
59	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
60	paleodiversitas.org Fuente de Internet	<1 %
61	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
62	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
63	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
64	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
65	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
66	esboesp.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
67	repositorio.upecen.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
68	repositorio.uprit.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
69	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %

70	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
71	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
72	www.geaconsultores.com Fuente de Internet	<1 %
73	es.wikipedia.org Fuente de Internet	<1 %
74	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
75	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
76	www.exportperu.com Fuente de Internet	<1 %
77	www.pdpmm.org.co Fuente de Internet	<1 %
78	Galo Hernán García Tamayo, Marco Antonio Hernández Arauz, Sylvia Elizabeth Zárate Fonseca, Oscar Lenin Chicaiza Sánchez. "NIIF 15: un diagnóstico inicial conforme la norma internacional de información financiera", REVISTA ERUDITUS, 2023 Publicación	<1 %
79	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

80	es.laketra.com Fuente de Internet	<1 %
81	journal.alzahra.ac.ir Fuente de Internet	<1 %
82	repositorio.uct.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
83	web2.senasica.sagarpa.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
84	www.bcentral.cl Fuente de Internet	<1 %
85	www.cippsv.com Fuente de Internet	<1 %
86	ar.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
87	ciberconta.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
88	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
89	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
90	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
91	sociedadcivil.cl Fuente de Internet	<1 %

92	virtual.urbe.edu Fuente de Internet	<1 %
93	www.bitacorita.net Fuente de Internet	<1 %
94	www.inia.cl Fuente de Internet	<1 %
95	www.repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
96	www.texaco.com Fuente de Internet	<1 %
97	xdoc.mx Fuente de Internet	<1 %
98	Martin G. Becker. "3.2 Wortschatzbereich: Gesellschaftspolitisches Handeln", Walter de Gruyter GmbH, 2004 Publicación	<1 %
99	cecodes.org.co Fuente de Internet	<1 %
100	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
101	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
102	repositorio.uaustral.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

103	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
104	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
105	revista.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
106	www.mineria.gov.ar Fuente de Internet	<1 %
107	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
108	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 26 (2010)", Brill, 2014 Publicación	<1 %
109	Rathish Kumar, B.. "Free convection in a non-Darcian wavy porous enclosure", International Journal of Engineering Science, 200309 Publicación	<1 %
110	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
111	10ejemplos.com Fuente de Internet	<1 %

DEDICATORIA

Esta investigación, está dedicado con todo mi amor a mis padres, familiares y amigos; por su cooperación y comprensión, por su apoyo en los momentos difíciles, así como, por los abrazos y besos. Esta investigación, es de ustedes y para ustedes.

AGRADECIMIENTO

Al Señor Dios

Por la creación y por proveerme la sabiduría y los impulsos para alcanzar los objetivos planteados. Gracias por darme una familia que se preocupa por mí y que siempre me ha apoyado.

Mis padres

Gracias por traerme al mundo y apoyarme siempre, brindándome sus sabios consejos. Gracias por formarme bajo una cadena de principios y valores invaluable.

A mis queridos hermanos:

Gracias por ser ~~con~~ conmigo, amables y cariñosos. Dios les regale mucha salud y bendiciones.

Mis amigos:

Quiero también agradecer profundamente a todos mis amigos y compañeros por el cariño y el afecto brindado hacia mi persona.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	1
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE CONTENIDO	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	10
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	16
1.1 Planteamiento y Formulación del Problema.	16
1.1.1 Problema General.	17
1.1.2 Problema Específico.	18
1.2 Objetivos.	18
1.2.1 Objetivo General.	18
1.2.2 Objetivos Específicos.	18
1.3 Justificación e Importancia.....	18
1.3.1 Justificación social	18
1.3.2 Justificación teórica	19
1.3.3 Justificación metodológica	19
1.3.4 Importancia.	19
1.4 Delimitación del proyecto.	19
1.4.1 Delimitación espacial	19
1.4.2 Delimitación temporal	19
1.4.3 Delimitación conceptual	19
1.5 Hipótesis y Descripción de Variables.....	20
1.5.1 Hipótesis.....	20
1.5.2 Descripción de Variables.....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	22
2.1 Antecedentes del Problema	22
2.1.1 Antecedentes Internacionales	22
2.1.2 Antecedentes Nacionales	25
2.2 Bases Teóricas.....	29

2.2.1	Resina de pino	29
2.2.2	Clasificación de las carreteras	32
2.2.3	Subrasante	34
2.2.4	Superficies de Camino Estabilizados.....	39
2.2.5	Tratamiento con Resinas y Polímeros.	42
2.3	Definición de Términos Básicos.....	57
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		59
3.1	Método, tipo, alcance de la Investigación.....	59
3.1.1	Enfoque de la Investigación.	59
3.1.2	Tipo de Investigación.	59
3.1.3	Nivel de Investigación.	59
3.1.4	Diseño de Investigación.	59
3.1.5	Población y Muestra.	60
3.1.6	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.	60
3.1.7	Validez	62
3.1.8	Confiabilidad.....	63
3.1.9	Aspectos éticos.....	63
3.2	Materiales y Métodos (aplicación de la ingeniería)	63
3.2.1	Materiales y Procedimiento realizado.....	63
3.2.2	Métodos de análisis de Datos	66
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		67
4.1	Descripción y características del tramo de estudio.	67
4.1.1	Localización del Área de estudio.....	67
4.1.2	Acceso del área de estudio.....	67
4.1.3	Geología.....	68
4.1.4	Hidrología	68
4.1.5	Clima.....	69
4.2	Presentación de resultados.....	70
4.2.1	Resultados de las características físico-mecánicas del material en estado natural de la Subrasante de la carretera Pumamarca.	71
4.2.2	Resultados de la influencia de la adición con resina de pino en la densidad seca máxima y humedad óptima en la subrasante de la carretera Pumamarca.	76
4.2.3	Resultados de la influencia de la adición con resina de pino en la relación de soporte california de la subrasante de la carretera Pumamarca.	81
4.2.4	Resultados de la influencia de la adición de resina de pino en el grado de compactación in situ en la subrasante de la carretera Pumamarca.	84
4.3	Análisis estadístico y contrastación de hipótesis	86

4.4	Discusión de resultados	95
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		100
5.1	Conclusiones	100
5.2	Recomendaciones.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		102
ANEXOS 104		
ANEXO 1. Matriz de Consistencia		105
ANEXO 2. Matriz de Operacionalización.....		107
ANEXO 3. Panel Fotográfico		109
ANEXO 4. Certificado de los Ensayos Realizados.....		114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Numero de calicatas para exploración de suelos	35
Tabla 2.	Numero de ensayos Mr y CBR.....	36
Tabla 3.	Clasificación de suelos según tamaño de partículas	37
Tabla 4.	Clasificación de suelos según índice de plasticidad.....	37
Tabla 5.	Clasificación de suelos según equivalente de arena.....	38
Tabla 6.	Clasificación de suelos según índice de grupo	38
Tabla 7.	Correlación de tipos de suelos AASHTO – SUCS	38
Tabla 8.	Categoría de Subrasante	39
Tabla 9.	Tipos de suelo	47
Tabla 10.	Formato para la extracción de muestras	61
Tabla 11.	Formato para datos de densidad in situ.....	61
Tabla 12.	Formato para el procesamiento del contenido de humedad natural	62
Tabla 13.	Formato para el procesamiento del contenido líquido y Límite plástico	62
Tabla 14.	Tabla Rangos de validez	63
Tabla 15.	Tabla Rangos de confiabilidad	63
Tabla 16.	Dosificación de resina de pino natural.....	65
Tabla 17.	Análisis granulométrico de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.	71
Tabla 18.	Contenido de Humedad Natural de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.	72
Tabla 19.	Límites de Atterberg de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.	73
Tabla 20.	Prueba de proctor modificado de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.	74
Tabla 21.	Resultados – de la Densidad Máxima Seca (2% de adición de resina de pino) 76	
Tabla 22.	Resultados – de la Densidad Máxima Seca (4% de adición de resina de pino) 76	
Tabla 23.	Resultados – de la Densidad Máxima Seca (6% de adición de resina de pino).	77
Tabla 24.	Resumen promedio – de la Densidad Máxima Seca (Proctor modificado).	78
Tabla 25.	Resultados – del Contenido de Humedad optimo (2% de adición de resina de pino).....	78

Tabla 26.	Resultados – del Contenido de Humedad optima (4% de adición de resina de pino).....	79
Tabla 27.	Resultados – del Contenido de Humedad optimo (6% de adición de resina de pino).....	79
Tabla 28.	Resumen promedio – del Contenido de Humedad Óptimo (Proctor modificado). 80	
Tabla 29.	Resultados – de la Relación de Soporte California (2% de adición de resina de pino).....	81
Tabla 30.	Resultados – de la Relación de Soporte California (4% de adición de resina de pino).....	82
Tabla 31.	Resultados – de la Relación de Soporte California (6% de adición de resina de pino).....	82
Tabla 32.	Resumen promedio – Relación de Soporte California (CBR).	83
Tabla 33.	Resultados – del grado de compactación (2% de adición de resina de pino)	84
Tabla 34.	Resultados – del grado de compactación (4% de adición de resina de pino)	84
Tabla 35.	Resultados – del grado de compactación (6% de adición de resina de pino)	85
Tabla 36.	Resultados – del grado de compactación (6% de adición de resina de pino)	85
Tabla 37.	Estadísticos descriptivos de la densidad máxima seca con adición de resina de pino	87
Tabla 38.	Prueba de normalidad de la densidad seca máxima a diferentes dosis de resina de pino.....	88
Tabla 39.	Correlaciones de la densidad seca máxima a diferentes dosis de resina de pino	88
Tabla 40.	Estadísticos descriptivos del contenido de humedad con adición de resina de pino 89	
Tabla 41.	Prueba de normalidad del contenido de humedad a diferentes dosis de resina de pino	90
Tabla 42.	Correlaciones del contenido de humedad optima a diferentes dosis de resina de pino	90
Tabla 43.	Estadísticos descriptivos de la relación de soporte CBR con adición de resina de pino	91
Tabla 44.	Prueba de CBR a diferentes dosis de resina de pino.....	92
Tabla 45.	Correlaciones de CBR a diferentes dosis de resina de pino.....	92
Tabla 46.	Estadísticos descriptivos del grado de compactación con adición de resina de pino	93
Tabla 47.	Prueba de normalidad del grado de compactación a diferentes dosis de resina de pino.	94
Tabla 48.	Correlaciones del grado de compactación a diferentes dosis de resina de pino.	94
Tabla 49.	Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson.....	95

Tabla 50.	Resultados obtenidos de otras investigaciones	96
Tabla 51.	Resumen de resultados obtenidos de nuestra investigación.....	96
Tabla 52.	Matriz de Consistencia	106
Tabla 53.	Matriz de Operacionalización	108

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1.	Deterioro de la capa Subrasante por presencia de lluvia en el KM-1+000 de la carretera Pumamarca.	17
Figura 2.	Estructura típica del pavimento rígido.....	30
Figura 3.	Usos de los productos derivados de la resina de pino natural	32
Figura 4.	Signos convencionales para perfil de calicatas	36
Figura 5.	Signos convencionales para el perfil de calicatas – Clasificación SUCS.....	37
Figura 6.	Curva que relaciona la resistencia con la proporción de ácido fosfórico agregada a un suelo arcillo limoso.....	51
Figura 7.	compactación de una arcilla limosa, tratada con 4% y 2% de ácido fosfórico..	51
Figura 8.	Resina de Pino natural (colofonia)	64
Figura 9.	Mapa de accesibilidad al lugar de estudio	67
Figura 10.	Temperatura máxima y mínima promedio en San Sebastián-Pumamarca.	69
Figura 11.	Categorías de nubosidad en San Sebastián-Pumamarca.	69
Figura 12.	Probabilidad diaria de precipitación en San Sebastián-Pumamarca.....	70
Figura 13.	Promedio mensual de lluvia en San Sebastián-Pumamarca	70
Figura 14.	Curva granulométrica de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.	71
Figura 15.	Curva granulométrica de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.	73
Figura 16.	Curva de compactación de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.	74
Figura 17.	Gráfico de penetración CBR de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.	75
Figura 18.	Curva de penetración CBR de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.	75
Figura 19.	Densidad Máxima Seca Promedio.....	77
Figura 20.	Evolución de la Densidad Máxima Seca	78
Figura 21.	Contenido de Humedad Óptima Promedio	80
Figura 22.	Evolución del Contenido de Humedad Óptima	81
Figura 23.	Relación de Soporte california Promedio	83
Figura 24.	Evolución del CBR (Relación de Soporte California)	83

Figura 25.	Grado de Compactación Promedio.....	85
Figura 26.	Evolución del Grado de Compactación	86

RESUMEN

La presente investigación, tiene como propósito fundamental el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo arcilloso con resina de pino de la Sub Rasante en la carretera Pumamarca, San Sebastián – Cusco: cuya población y vías de transporte están establecidas de suelos a nivel Sub Rasante ubicados en el departamento del Cusco; para tal efecto se estableció la manipulación de la variable independientes (proporción de la resina de pino).

El tipo de esta investigación es aplicada, De diseño experimental (cuasi experimento), los instrumentos utilizados para recabar los datos se utilizaron según el planteamiento de la Resolución N° 05-2013-MTC/14. Que establece los procedimientos para los análisis físicos y mecánicos válidos, y confiables.

Por lo anterior, queda demostrado que al incorporar resina de pino al (0%, 2%, 4% y 6%) mejora la densidad seca máxima del suelo, la relación de soporte del suelo; estas, al ser sometidas a tratamientos estadísticos presentan diferencia significativa, puesto que se ha encontrado que el p valor es de 0.00 mucho menor a 0.05; por lo que se afirma que hay una diferencia altamente significativa entre los resultados promedios del CBR al 100% 0.1' de las diferentes muestras tratados con diferentes porcentajes de resina de pino.

Además, concluir que los promedios correlativos de adición al (0%, 2%, 4% y 6%) el CBR al 100% 0.1' es de 4.03%, 6.75%, 10.32% y 9.93% respectivamente, de acuerdo a la categoría de subrasante sin adición de resina de pino, afirma que los CBR menor al 6% corresponden a una subrasante inadecuada – pobre, y con la adición de este insumo natural se alcanzó un CBR mayor al 10%, por lo que se clasificaría en una subrasante buena.

Palabras Clave. Resina de pino, subrasante de carretera, mejoramiento de suelos.

ABSTRACT

The present investigation has as its fundamental purpose the improvement of the mechanical properties of the clayey soil with pine resin of the Sub Grade on the Pumamarca, San Sebastián - Cusco highway, whose population and transportation routes are established from soils at the Sub Grade level located in for this purpose, the department of Cusco established the manipulation of the independent variable (proportion of pine resin).

The type of this research is applied, experimental design (quasi experiment), the instruments used to collect the data were used according to the approach of Resolution No. 05-2013-MTC/14. That establishes the procedures for valid and reliable physical and mechanical analyses.

Due to the above, it is demonstrated that incorporating pine resin at (0%, 2%, 4% and 6%) improves the maximum density of the soil, the soil support ratio, these when subjected to statistical treatments present a difference Significant, since it has been found that the p value is 0.00 much less than 0.05, therefore it is affirmed that there is a highly significant difference between the average results of the CBR at 100% 0.1' of the different samples treated with different percentages of resin Pine.

In addition, to conclude that the correlative averages of addition to (0%, 2%, 4% and 6%) the CBR at 100% 0.1' is 4.03%, 6.75%, 10.32% and 9.93% respectively, according to the category of subgrade without addition of pine resin affirms that the CBR less than 6% correspond to an inadequate subgrade - poor and with the addition of this natural input a CBR greater than 10% was reached, which is why it would be classified as a good subgrade.

Keywords. Pine resin, road subgrade, soil improvement.

INTRODUCCIÓN

En el mundo, se aprecia más de 900 millones de personas de sectores rurales que carecen de un adecuado acceso al sistema de transporte, siendo estos, uno de los factores que explican el grado de desarrollo y pobreza de la sociedad.

Así mismo, en estas últimas décadas se ha visto el desarrollo tecnológico que han alcanzado las sociedades modernas, donde han conseguido la posibilidad de producir perennemente toda una serie de nuevos insumos químicos de materiales de construcción, que les permiten satisfacer sus incesantes requerimientos en el ámbito de la misma.

Pero en su gran mayoría, se puede observar que no presentan alternativas de mejora con aditivos naturales en el sector de la construcción e infraestructura vial. Es por ello, que en esta tesis de investigación se plantea mejorar las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso con la adición de resina de pino; estas, incrementan su soporte en cuanto a sus propiedades mecánicas del suelo arcilloso para contribuir en la seguridad y fácil circulación de vehículos de transporte. Así mismo, permitir el conocimiento de la aplicación de esta resina en superficies de rodaduras constituidas por este tipo de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

Esta investigación tiene un propósito, conocer la cantidad o porcentaje necesaria de resina de pino en suelos arcillosos, estas a partir de sus propiedades físico-mecánicas y viendo el comportamiento con la adición de resina frente a los ensayos del proctor modificado, CBR y densidad de campo in situ.

La pregunta central de esta tesis es ¿De qué manera mejora las propiedades mecánicas del suelo arcilloso al adicionar resina de pino en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco? Estos en correspondencia a sus indicadores de adición de resina de pino al 0 % (patrón), 2%, 4% y 6% en relación a la densidad seca máxima, CBR, y grado de compactación. Tiene como hipótesis general; Las propiedades mecánicas del suelo arcilloso mejoran significativamente con la adición de resina de pino en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.

Los resultados alcanzados con respecto a la densidad seca máxima y humedad óptima fue; para la muestra patrón de 1.678 gr/cc y 14.00 % de humedad óptima, para la muestra con adición de resina de pino al 2% se alcanzó una densidad máxima seca y humedad óptima de 1.705 gr/cc y 14.65%, al 4% de adición se alcanzó 1.725 gr/cc y 13.80% de humedad óptima y para una adición del 6% se obtuvo 1.730 gr/cc de densidad máxima seca y 13.65 % de humedad óptima.

En el ensayo de CBR en la relación de soporte de california, se obtuvieron resultados para el 0% (muestra patrón) al 100% a 0.1” un CBR de 4.63%, con la adición al 2% se consiguió un CBR de 6.75%, al 4% de adición un CBR de 10.32% y al 6% se obtuvo un CBR de 9.93%.

Y como ensayo final de la prueba de densidad in situ mediante el método de cono con arena calibrada, se obtuvo densidades del terreno compactado de 1.540 gr/cc, 1.642 gr/cc, 1.632 en relación con la adición de resina de pino al 2%, 4%, y 6%; así mismo, se lograron grados de compactación correlativos al porcentaje de adición de 90.20%, 95.18%, 94.35% de las cuales estos resultados demuestran la mejora de los suelos arcillosos.

La siguiente tesis está constituida por (5) capítulos. El primero, concierne con el planteamiento del problema de estudio donde se describe el contexto de la problemática, objetivos, importancia, delimitaciones, hipótesis. El segundo capítulo describe el marco teórico, donde menciona los antecedentes a nivel internacional, nacional y bases teóricas referente al tema, El capítulo tres nos habla de la metodología de investigación, población, muestra y técnicas e instrumentos de recolección de datos empleados en el estudio, el capítulo cuatro puntualiza los resultados y discusión; y, por último, el capítulo cinco contiene las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y Formulación del Problema.

En todo el mundo, se ha realizado una estimación de más de 900 millones de personas de sectores rurales que sufren una carencia para el acceso en el sistema de transporte, siendo estos uno de las causas que revelan el grado de pobreza y desarrollo. Es de mucha importancia establecer que la existencia, comunicación y conexión entre zonas, no resulta bastante para lograr un desarrollo sostenible y con equidad. Se requiere también de moderadas operacionales que posibiliten la coexistencia y mejora de un transporte en condiciones mínimas de periodicidad, calidad y seguridad. En ese sentido, es fundamental tener en cuenta que los desplazamientos que se producen en el ámbito rural, se ven fuertemente influenciados tanto por la existencia de vías (aéreas, acuáticas y terrestres) y que las mismas sean transitables en cualquier época del año (Cepal, 2022).

En el cusco, la red vial del departamento menciona que el 17.7% son vías que se encuentran sin afirmar y un 33.3% son únicamente carreteras de tipo trocha carrozables (Casi el 50 % de esta red son carreteras sin afirmar y trochas). Tendrían una densidad de 45 km de carretera por cada 10,000 habitantes, la que es mayor al promedio nacional de vías pavimentadas. (GRC, 2020)

La pérdida de soporte y falla en pavimentos rígidos y flexibles, es un problema muy común en la estructura de la Subrasantes, ya que esta es una capa de soporte, y si estas son compuestas de suelos arcillosos que causa el deterioro prematuro de los pavimentos. El agua de lluvia y las inundaciones son el enemigo número uno de las estructuras de los pavimentos (rasante, subrasante, sub base, base, carpeta asfáltica o losa de pavimento). Al permanecer el agua mucho tiempo en estas estructuras generan problemas. Empezando con el hinchamiento de los suelos y terminando en la disminución de la capacidad de carga de los suelos. Al disminuir el volumen de la masa de los suelos, estos se comprimen reflejando este asentamiento en las estructuras de pavimentos.

El distrito de San Sebastián del Cusco es una población con dos estaciones bien marcadas, tiempo de lluvias y tiempo de secas; por los meses de diciembre hasta marzo, Las lluvias son muy intensas, las carreteras están permanentemente mojadas, húmedas y algunas inundadas por varias horas en algunos casos días; esto hace que al pasar estos tiempos de lluvias, las vías queden con algunos problemas como: Fisuras transversales y longitudinales, fisuras de esquina, losas sub divididas, fisuras en bloque, agrietamientos, hundimientos y baches; que es un peligro para los peatones y choferes y además un gasto excesivo en mantenimiento de carreteras y mantenimiento de vehículos. Por agentes externos climáticos (intemperismo) los pavimentos sufren deterioros prematuros a consecuencia principalmente del agua que se infiltra en el

terreno (inundación), deteriorando la base y/o sub base de los pavimentos (estructuras de los pavimentos). Estas pierden su grado de compactación adecuado o de diseño, por lo que la carpeta asfáltica se deflecta (se deforma) más de lo permisible y se deteriora rápidamente o en forma prematura.

Además, estas estructuras tienen una estabilidad adecuada que, a consecuencia del agua de lluvia, de manantial o de ríos, se deteriora, por lo que puede variar sus características, forma y disipar su estabilidad volumétrica que conllevaría a sufrir pérdidas en sus propiedades físico-mecánicas de los suelos que forman la estructura de los pavimentos. Si toda esta problemática continua, tendremos un mayor número de carreteras intransitables, fisuras, agrietamientos y bombeos en las carpetas asfálticas y un incremento en la probabilidad de accidentes peatonales y vehiculares por deterioro de las vías.



Figura 1. Deterioro de la capa Subrasante por presencia de lluvia en el KM-1+000 de la carretera Pumamarca.

Fuente: Elaboración propia

1.1.1 Problema General.

- ¿De qué manera mejora las propiedades mecánicas del suelo arcilloso al adicionar resina de pino en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco?

1.1.2 Problema Específico.

- ¿Cuáles son las características físico-mecánicas del material en estado natural de la Subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco?
- ¿En qué medida influye la adición de resina de pino en la densidad seca máxima y humedad óptima en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco?
- ¿En qué medida influye la adición de resina de pino en la relación de soporte california de la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco?
- ¿En qué medida influye la adición de resina de pino en el grado de compactación in situ en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco?

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo General.

- Adicionar resina de pino para mejorar las propiedades mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Determinar las características físicomecánicas del material en estado natural de la Subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.
- Determinar la influencia de la adición con resina de pino en la densidad seca máxima y humedad óptima en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.
- Determinar la influencia de la adición con resina de pino en la relación de soporte california de la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.
- Determinar la influencia de la adición de resina de pino en el grado de compactación in situ en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.

1.3 Justificación e Importancia

1.3.1 Justificación social

Con la adición de resina de pino natural, se pretende mejorar la capa subrasante de suelos arcillosos, estas incrementan su soporte en cuanto a sus propiedades mecánicas del suelo arcilloso para contribuir en la seguridad y fácil circulación de vehículos. Así mismo, minimizan el impacto ambiental sobre las partículas polvo (polución), logrando brindar seguridad, comodidad a los habitantes de la localidad de Pumamarca, distrito de San Sebastián-Cusco. Además, permitir el conocimiento de la aplicación de esta resina en suelos arcillosos.

1.3.2 Justificación teórica

La adición de la resina de pino, permite una mayor resistencia ante el desgaste y deterioros de la superficie de rodadura a nivel de trochas carrozables, por medio de una mejora, que se evidencia en la adherencia de suelos arcillosos; además, este estudio permitirá la propagación del tema en futuros estudios.

Así mismo, la resina de pino en cuanto a sus propiedades y componentes, presentan excelente ligadura, esta secreción orgánica que producen los arboles de tipo coníferas se encuentran en varias partes del mundo y son especialmente comunes en países como Canadá, Estados Unidos, México, China y Perú.

1.3.3 Justificación metodológica

La resina de pino empleada para la mejora de la Subrasante, se experimentaron con diferentes cantidades de 0% (patrón), 2%, 4% y 6% de adición de esta resina de pino, de las cuales se observó cómo es el comportamiento de las carreteras que están compuesto de suelos arcillosos, frente a los ensayos de mecánica de suelos para ver la mejora y comportamiento mecánico de la sub rasante de tipo arcillosa.

1.3.4 Importancia.

Esta investigación, es importante porque nos permitirá evaluar el efecto de la adición de la resina de pino en suelos arcillosos, en la adherencia e incremento de las propiedades mecánicas de la Subrasante.

1.4 Delimitación del proyecto.

1.4.1 Delimitación espacial

Esta indagación se desarrolla en el distrito del Cusco, departamento de Cusco situado al sureste del Perú, la experimentación se realizó en evaluación de la problemática que existe en el distrito de Pumamarca, planteando el mejoramiento de dicha vía carrozable con la adición de resina de pino. Los ensayos de investigación previos, se desarrollaron en laboratorios particulares de la ciudad del cusco.

1.4.2 Delimitación temporal

La investigación se desarrolló en el mes de junio, julio, agosto y setiembre del año 2022.

1.4.3 Delimitación conceptual

La presente investigación consiste en el análisis de las Propiedades físico – mecánicas iniciales de un suelo arcilloso a nivel de sub rasante y como es la mejora con la adición de resina de pino

natural en suelos arcillosos de trochas carrózales, donde se evaluará mediante los ensayos de proctor modificado, CBR y cono de arena

- Trochas carrozables
- California Bearing Ratio Ensayo a flexión (CBR)
- Proctor Modificado
- Prueba de densidad in situ (método cono de arena)

1.5 Hipótesis y Descripción de Variables.

1.5.1 Hipótesis.

1.5.1.1 hipótesis general.

- Las propiedades mecánicas del suelo arcilloso mejoran significativamente con la adición de resina de pino en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.

1.5.1.2 hipótesis específica.

- La subrasante no cumple con las características mínimas requeridas según el manual de carreteras, en la localidad de Pumamarca del distrito de San Sebastián – Cusco.

- La adición de resina de pino natural influye significativamente en la densidad seca máxima y humedad óptima en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.

- La adición de resina de pino natural influye significativamente en la relación de soporte california de la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.

- La adición de resina de pino natural influye significativamente en el grado de compactación in situ en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.

1.5.2 Descripción de Variables.

Las variables representan en una investigación todo aquello que se puede verificar, estudiar y medir. La variable es útil para ayudar a calificar y conceptualizar; asumiendo valores bien sea de tipo cualitativos o cuantitativos.

La variable independiente:

- Resina de Pino

Definición conceptual: La resina del árbol pino (de tipo conífera) es una mucosidad orgánica que produce esta planta, de tal manera esta mucosidad sirve como una capa natural de defensa contra insectos u organismos patógenos y fitófagos. Tiene gran valor

debido a sus propiedades químicas y sus usos como la producción de barnices, adhesivos y aditivos. (Wikipedia, 2022)

Definición operacional: Es una sustancia que se extrae de los árboles de pino que no se puede mezclar con el agua, se hace secar y se pulveriza hasta que pase la malla 40, el pasante se mezcla con los suelos arcilloso de forma homogénea

La variable dependiente:

➤ Mejoramiento en las propiedades mecánicas del suelo arcilloso

Definición conceptual: Consiste en adicionar al suelo arcilloso resina de pino natural seca y triturada en una cantidad suficiente para producir reacciones en las partículas terreas de un suelo arcilloso, del modo que la resistencia del suelo a nivel de subrasante aumente de forma significativa. (Montejo, 2018 pág. 40)

Definición operacional:

La variable mejoramiento de suelos arcillosos con resina de pino se va a medir en función a las densidades máximas, humedad óptima, soporte de california CBR y grado de compactación en campo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Problema

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Según (Garcia, Alavéz, & Morales, 2021) En el artículo de su investigación, cuyo nombre es Resina de Pino Como Aglutinante Sostenible para el Refuerzo del Adobe, indagaron este insumo de resina natural como aglomerante y material de construcción, ya que estos especímenes de adobe son vulnerables a las circunstancias atmosféricas. Analizaron en la matriz del adobe la adición con resina de pino para verificar las propiedades como la de durabilidad. Para ello también realizaron ensayos / pruebas de resistencia a la compresión y la permeabilidad en muestras de cubos de 5 cm, adicionando resina de pino y excremento de burro. Las muestras de cubos patrón para el control lo elaboraron solamente con suelo, los demás con resina de pino y excremento de burro a diferentes porcentajes de dosis. Los cubos que mostraron mayor resistencia a la prueba de compresión y que demoraron más tiempo en deshacerse, fueron las muestras de suelo con una adición del 15% de resina de pino y los de 15% de resina de pino con excremento de burro. Luego efectuaron pruebas de permeabilidad, resistencia a la compresión y flexión en adobes de suelo y estiércol de burro, adicionando a este 15% de resina de pino, con longitudes de 30cm x 22cm x 10cm y de 15cm x 22cm x 10cm. Los adobes realizados con suelo, estiércol de burro y 15% de resina de pino obtuvieron mejores resultados en las tres pruebas: una resistencia a la compresión de 5.88 MPa, un porcentaje de absorción de agua del 18.95% y una resistencia a la flexión de 0.840 MPa. Estos valores encontrados son más altos que los determinados en la norma del país de México N-CMT-2-01-001 para los bloques de calidad E. Con los resultados que ellos obtuvieron de la prueba de resistencia a compresión, tanto en cubos como en adobes, realizaron un análisis normal y varianza empleando el software MiniTab.

(Ortiz, 2021) En el artículo de revista publicada denominada: Agregados Naturales como Matriz del Suelo para la Construcción Sostenible, Cuyo problema menciona a los adobes de construcción que estas sufren una inseguridad en los escenarios atmosféricas tales como su persistencia volumétrica, baja resistencia al agua y baja resistencia mecánica, lo que estas provocan fisuración y deformación en el suelo, por el ataque de agua capilar y poca resistencia a la absorción. Esta indagación profundiza el análisis de los agregados naturales en la matriz del suelo para poder mejorar las propiedades mecánicas como de durabilidad del adobe utilizado en la construcción de viviendas. En una primera fase para esta investigación se clasificó el suelo a emplear, que fue procedente de la cantera de San Agustín Yatareni, Oaxaca,

antes se procedió a determinar la humedad óptima del suelo para la elaboración de adobes y posterior a eso se efectuaron las pruebas de resistencia a compresión y degradación en agua, para tal caso, se elaboraron especímenes de cubos de 5 cm de suelo (muestra patrón) y de suelo mezclado con jugo de hoja de plátano, engrudo de trigo, resina de pino, excremento de burro. Finalmente se realizó un análisis de la varianza de los resultados obtenidos en los ensayos de compresión de las muestras de cubos. De las cuales los especímenes que tardaron mayor tiempo en desintegrarse en agua y que tuvieron mayor resistencia a la compresión fueron las de suelo con 10% de resina de pino. El análisis de varianza en los cubos demostró que el ajuste fue óptimo.

Según (Fabre, Bizzoto, & Tirner, 2019) desarrollaron un método para la "Estabilización de la tierra con taninos, Chaco Argentina". Los objetivos generales propuestos en este estudio pueden considerarse alcanzables porque experimentan con diferentes tipos de suelo y estos puede ayudar a mejorar el suelo natural según se desee. Las resinas tienen diferentes proporciones de tanino y formaldehído. Los taninos utilizados son siempre de la misma fuente (extracto de quebracho colorado). Sin embargo, se probó dos tipos de formaldehído (tratamiento a y b) con diferente resultado y calidad, lo que demuestra la importancia de elegir el tipo correcto para la producción de resina de formalina. Los resultados obtenidos en suelos con alta materia orgánica (en la muestra de suelo B) son muy prometedores. El material presenta valores de resistencia elevados, lo que sugiere que el material orgánico contribuye favorablemente a la formación de una resina que actúa como aglutinante. Debido a esta calidad, los productos considerados tienen mayor prioridad que otros productos utilizados para el mismo propósito y pueden mostrar incompatibilidades obvias con la materia orgánica del suelo. El piso laminado ha mejorado dramáticamente las propiedades de impermeabilización y permanece estable bajo los efectos del agua durante largos períodos de inmersión. Además, se ha demostrado el fenómeno del intercambio catiónico, que determina un cambio fundamental en las características físicas del suelo y en algunos casos, una pérdida de plasticidad del suelo. Posteriormente siempre es necesario determinar el porcentaje de estabilidad y la cantidad de la resina e ir acompañado de las correspondientes pruebas de laboratorio realizadas en cualquier suelo donde se plasme un mejoramiento del comportamiento mecánico e hidráulico.

(Forero, Moreno, & Alvarez, 2020), evaluaron las propiedades físicas y mecánicas en suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz. Este trabajo tuvo como objetivo analizar a detalle las mejoras que se pueden conseguir en aquellos suelos de procedencia arcillosa. La ceniza de la cáscara de arroz que adquirieron fue proveniente de los residuos agrícolas. Cuando ellos agregaron ceniza de cáscara de arroz para mejorar el soporte del terreno para que este sea óptimo para realizar y asegurar construcciones de infraestructura vial, considerando la

viabilidad de la resistencia que puede ocurrir en suelos sueltos. Contaminación, los procesos implican controlar los problemas ambientales provocados por un inadecuado control de la calidad de la combustión y reutilizarlos en el proceso de innovación. Por lo tanto, es posible juzgar la fluctuación del coeficiente de humedad del suelo con cascara y sin cáscara de arroz. Por tanto, se puede concluir que las cáscaras de arroz en este caso contribuyen el drenaje y absorción del agua logrando demostrar un comportamiento resistente y positivo en suelos plásticos. En un suelo muy dúctil. El estudio realizado con medidas de distribución granulométrica arrojó los siguientes resultados para el material: Se compone del 0.7 % de grava, 16.2 % de arena y 83.1 % de finos, para un total del 100%. El material analizado da los siguientes resultados: Se determina que el material formado es de buena calidad: La prueba de compactación con el ensayo de Proctor Modificado mostró que el suelo virgen (natural) tiene una máxima densidad a 1,79 gr/cm³ con un óptimo contenido de humedad de 16,25 % y el suelo adicionado con ceniza de cáscara de arroz tenía una densidad seca máxima de 1,76 gr/cm³ y humedad óptima de 11,8 %.

Según (Valle, 2010), en su indagación de como estabilizar un suelo arcilloso de alta plasticidad con minerales de sulfatos, cuya metodología de investigación empleada fue experimental, con población de estudio de suelos arcillosos y la muestra un suelo mineral, establecieron que; Existe un aditivo denominado RBI81 que expone el suelo, provocando así deterioro económico y mejora de caminos que requieren acabados especiales para armonizar con caminos de tierra, camiones y / o alrededores. También es una opción confiable. Los aditivos mencionados en el punto disminuyen la plasticidad, aumentan la resistencia del terreno de muestra y aumentan la capacidad portante del suelo. Se puede utilizar directamente para el acabado de carreteras y Los datos proporcionados por el distribuidor de aditivos aseguran que el suelo rico en sulfatos en el que se utiliza el aditivo en cuestión reacciona bien gestionado.

(Roldan, 2010), presenta alternativas, técnicas viables y económicas, de la cual menciona que las muestras de suelo ya no se compensan por falta de agua. La metodología que usó fue experimental, y se concluye que su población y muestra son suelos sustrato y sustrato base, ya que resulta de la descomposición del agua en el suelo. El uso de cloruro de sodio debe evitarse de todas las formas en suelos con alta capilaridad, donde el nivel freático es constante y por donde pasa el agua, solo en estos casos se puede trabajar. Esto se debe a que el NaCl a menudo se disuelve muy fácilmente con el agua. b) El NaCl debe distribuirse adecuadamente con el tamaño de la muestra utilizada en la prueba. La distribución correcta de NaCl es muy importante para la correcta aplicación de la prueba. Esto se debe a que la prueba se realiza si la distribución se realiza de acuerdo con el líquido. El resultado final puede variar. c) La anexión del aditivo

químico NaCl se utilizó principalmente para oprimir la disipación del suelo en estudio. d) La disipación del terreno ocurrió con un retraso de tiempo mayor que las muestras de suelo sin los compuestos químicos anteriores. Es un buen precedente. e) Todo esto muestra que varias propiedades del suelo están cambiando activamente. Esto se debe a que la capa de NaCl interactúa directamente con las propiedades del suelo para producir humedad en el suelo. Obtener un aumento. Esta interferencia de cloruro de sodio también cambia activamente la humedad en el área de estudio. Por tanto, la fricción entre las partículas se reduce considerablemente. f) La resistencia observable en la muestra de suelo indica un aumento en la superficie comprimida, lo que indica un ligero aumento de arena, pero especialmente para materiales arenosos, la proporción de compuestos debe ser menor al 2%.

(Nuñez, 2016), en su Investigación con respecto a la economía de producir materiales de cantera en los límites, mediante la adición de un nivel aceptable de estabilizadores de iones y soporte (CONAID) tienen bajo coste, por ende adicionar iones a un suelo conlleva a la mejora del CBR del suelo; así mismo, el enfoque de su investigación Cuantitativa y de diseño experimental y concluye lo siguiente: a) Evite el uso de NaCl tanto como sea posible, especialmente en muestras de material que muestren cuán excepcional es, incluso donde haya agua subterránea. b) El NaCl debe distribuirse adecuadamente de acuerdo con la cantidad de muestra, y estas cantidades calculadas tiene que ser precisas ya que los resultados deben interpretarse como el mismo tratamiento óptimo de la muestra. No se proporciona aditivo a la cantidad de líquido agregado. Esto se debe a que los resultados se verán afectados y puede terminar sin darse cuenta. c) El simple hecho de agregar NaCl indica que se está utilizando una de las soluciones alternativas. Este compuesto se utiliza para reducir la evaporación de las muestras de suelo, que se caracteriza por la formación de películas protectoras en niveles iniciales. Parece simple, pero ayuda mucho a retener la humedad, lo que agrega una mejor estabilidad al suelo. d) Las muestras de suelo tienden a evaporarse por más tiempo con aditivos. De lo contrario, este tiempo se reducirá.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Según (Tunque, 2021) en su investigación de tesis titulada Estabilización de subrasantes blandos empleando resina natural de pino, trocha carrozable Mayupata, San pablo, Cusco. Su investigación de tesis tuvo como objetivo, Determinar la estabilización de las subrasantes blandas empleando resina natural de pino. De la cuales como metodología de investigación aplicó el método científico de tipo aplicada y de nivel explicativo, diseño experimental. De las cuales el concluye con sus resultados obtenidos en su indagación al someterlos a ensayos de densidad máxima seca, límites de consistencia y California Bearing Ratio (CBR) con la adición de resina de pino natural a un suelo blando de la subrasante Mayupata estos a diferentes

porcentajes como al 1.0%, 2.00% y 4.00%, se realizó la estabilización de la subrasante blanda estos con fines para realizar una evaluación con los resultados para una pavimentación, logrando conseguir efectos propicios y favorables, de las cuales se logra obtener con la adición del 4.00% de resina natural de pino con la comparación al suelo patrón de la C-2, un CBR del 7.90% , una máxima densidad seca de 1.775 g/cm³ y con un contenido de humedad de 14.25% lo propio se alcanzó contraer el índice de plasticidad en un valor del 4.92%. La investigación realizada indica que se estabilizo la subrasante blanda con los valores máximos alcanzados del 4.00% de la adición con resina natural de pino, estos obteniendo una densidad máxima seca = 1.801gr/cm³, contenido de humedad de 12.27%, un Limite liquido del 21.29%, Limite plástico de 17.29%, IP=4.01%, y el CBR (100% MDS) 0.1” = 19.90 %. De tal manera con los resultados obtenidos el concluye que la máxima densidad seca fluctúa desde el 1.783 g/cm hasta 1.80 g/cm³ para adiciones de resina de pino natural con una dosis del 1% 2% 4% respectivamente, el máximo valor se obtiene de la densidad máxima seca con incremento de resina natural de pino al 4 % este valor máximo alcanzado es de 1.801 g/cm³. De tal manera se acepta la hipótesis planteada en su indagación en cuanto a la variación de la densidad seca máxima.

Según (Bustanza, 2022) En su investigación de tesis titulada Estabilización de suelos incorporando cloruro de sodio y resina de pino en subrasante de la avenida Santo Domingo, Abancay 2022. La cual en su trabajo de indagación tuvo como objetivo general lograr la estabilización de una subrazante débil de bajo valor de CBR, y de la experimentación que realizo de adicionar resina de pino y cloruro de sodio a diferentes dosis de porcentaje consiguió resultados de la C-2; en relación a sus mecánicas y físicas más favorables obtiene con la adición del 5% de cloruro de socio (14.50 de CBR al 95% y 0.1.), 6% de resina de pino (18.30 de CBR al 95% y 0.1”) y con adición del 3% NaCl+ 3% R. de Pino (18.10 de CBR al 95% y 0.1”) de las cuales con esos resultados el autor concluye que la estabilización de suelos de la avenida Santo Domingo mejora significativamente con la adición de cloruro de sodio y resina de pino natural, cabe mencionar que la metodología de investigación fue de diseño experimental de tipo aplicada, y el realizo las evaluación de las propiedades mecánicas y físicas de los suelos en estado natural (C1, C2 y C3),y en suelo con adición de NaCl a dosis del 2%, 4%, 6% y 8%; suelo con incorporación de resina de Pino natural al 2%, 4%, 6% y 8%; Y, suelo con incorporando de ambos estabilizantes NaCl al 1%, 2%, 3% y 4% + R. de Pino al 1%, 2%, 3% y 4%. De las cuales de todas estas muestras adicionadas con aditivos naturales y químicos menciona que obtener mejores propiedades físicas y mecánicas de la sub rasante de suelo, es necesario la adición del 6% de resina de pino para obtener 18.30 de Cbr al 95% y 0.1”, consiguiendo mejorara las propiedades mecánicas en comparación con la muestra patrón, de esta forma se afirma que la resina de pino influye significativamente en la estabilización de suelos.

(Farfan, 2020), en su investigación concluyó que la adición de aditivos naturales mejora y estabiliza los sustratos blandos que posee el suelo, esta adición se aplicó en la carretera de Abancay - Apurímac, en el año 2020. Metodológicamente, él aplica el razonamiento con un diseño de investigación experimental de tipo aplicada, nivel descriptivo. Los resultados obtenidos según su indagación son los siguientes: T1 (0 % CBCA + 0 % NaCl) es el patrón según el análisis de suelo se considera subrasante regular mientras que T2 (4% CBCA + 8% NaCl), T3 (6% CBCA + 6% NaCl) y T4 (8% CBCA + 4% NaCl); Obtuvieron buenos sustratos y descubrieron que el tratamiento T3 era la forma de lograr la máxima estabilidad del suelo. El estudio llegó a una conclusión: Que el tratamiento en la muestra denominada T3 6% CBCA + 6% NaCl se obtuvieron los resultados mejores apreciando a la Sub Rasante como suelo apto puesto que se encuentra en las categorías de Sub rasante entre los parámetros de $\text{CBR} \geq 10\%$ a $\text{CBR} < 20\%$. Luego hubo una diferencia en la estabilidad del sustrato blando que contenía el aditivo natural puesto que $\text{Pr} (>F)$ de 0.905 mayor a 0.05, existe una diferencia de confianza significativa de 99,9% y se puede decir que hubo una diferencia significativa entre las densidades secas medias en el tratamiento, es decir, que al menos una de las aplicaciones o tratamientos tiene un promedio de una densidad seca significativamente. El tratamiento con el CBR más alto al 100% 0.1” y al 95% 0.1” corresponde a tratamientos (T3) de 19.13% y 14.39% respectivamente, y CBRs que contienen aditivos naturales (T1, T2, T3 y T4). Se ha demostrado para apoyar el análisis de varianza en los medios. Aquí, el valor P de 0,000 resultante es menor que 0,05, que es significativamente diferente de la confiabilidad de 99,9%.

(Pelaez & Benitez, 2020), en su estudio de tratamiento de suelos requirieron mejorar las propiedades de los suelos arenosos de los pavimentos, agregando ceniza de cáscara de arroz con cal. En este estudio se realizó un análisis de las propiedades mecánicas del terreno encontrado. Estas propiedades son pegajosas según lo determinado por la prueba a la compresión sin restricciones (R.C.I.) y la resistencia a la perforación según lo determino con la prueba de carga de California. Informe (CBR). Los aditivos utilizados en el estudio fueron: Diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz (C.C.A.) y 10% de cal constante. C.C.A y la cal viva son estabilizadores y si se mezclan con tierra y agua, C.C.A. Debido al alto contenido de sílice en sus propiedades químicas, forma propiedades similares al hormigón. Se tomaron muestras de suelo en Villa el Salvador, donde se realizaron tres pozos para determinar las propiedades físicas, y se analizó la caracterización de suelos arenosos con clasificación SP y A-3 (0) para la mejora de sus propiedades mecánicas con la adición de Cascara de arroz con cal. Se midió la cantidad de sílice en la ceniza de la cáscara de arroz y se ensayó previamente el suelo con cal para obtener el contenido óptimo de cal (10%). Los resultados de las pruebas de laboratorio muestran que se recomienda trabajar con muestras de 7.5 %, 15 %, 20 % y 25 % de cascara C.A. y cal, de las cuales se calculó el contenido óptimo Cascara C.A. determinado

el C.B.R. con la adición del 20% de Cascara C.A. obteniendo un C.B.R. del 46% y en la prueba de la resistencia a la compresión encofinada, perfeccionó dándole una cohesión del 0.90 kg/cm².

(Bada, 2016), en su investigación examinó como influye añadir como aditivo al con-aid en su aplicación para buscar la reducción de suelos arcillosos de alta plasticidad en el sector vial. La metodología que aplicó fue de tipo aplicada, La adición de este aditivo lo efectúa con la intención de calcular el nivel de mejora del suelo. Cabe resaltar que los resultados que obtuvo señalaron que la resistencia aumentó significativamente. También mostró cierta mejora en las pruebas de suelo realizadas en las muestras. Esto se debe a que es una comparación con y sin dos muestras. Las estadísticas finales en la prueba de capacidad portante de las obras son las mismas que las de la inspección del Ministerio de Transportes. La razón de esto es la menor retención de agua (aunque esto no es tan obvio) en muestras que contienen una gran cantidad de arena fina. Está claro que promediar siempre es una posibilidad para reducir la capacidad de hincharse. Por esta razón, las muestras dejadas en el con-aid durante 3 días mostraron reducciones mucho mayores. La retención se puede reducir hasta en un 50% en comparación con las muestras sin compuestos con-aid.

(Gutierrez, 2010), Tuvo como objetivo proteger el deterioro de carreteras no pavimentadas estas producido al alto tráfico vehicular, Los métodos utilizados son experimentales, ya que los elementos más utilizados para estabilizar el suelo son el NaCl y el MgCl₂. Al aplicar este químico concluyo lo siguiente; a) Desde una visión técnica, ambiental y económica en todos los aspectos posibles, el 6-hidrato de MgCl₂ se describe como difícil de combinar incluso con CaCl₂. b) Existe una gran mina de sal que produce CaCl₂, que se encuentra al norte de Lima y puede mejorar las carreteras en todas partes del Perú. c) Para carreteras con baja demanda de vehículos, es necesario dar prioridad a la idea de que se puede utilizar CaCl₂ y que la carretera se puede crear en una dirección económicamente más factible, para que tenga muy buenas características especiales en todos los aspectos. Lo explicaré en detalle en el punto a. d) El CaCl₂ cumple con todos los requisitos de las zonas costeras del país y también se puede emplear como una excelente alternativa para la revisión y restauración de carreteras temporales.

(Ugaz, 2016), En su investigación busca estabilizar suelos blandos y para lograr lo mencionado aplica en la sub Rasante de un suelo para ver el comportamiento sujeto con aditivos, Tuvo como objetivo determinar el proceso de diversos aditivos involucrados en la mejora de la estabilidad de los suelos y su aplicación en la rehabilitación de calzadas, desarrollado en la Universidad Nacional de Ingeniería. Los métodos utilizados para su uso en carreteras nacionales, parte del país, son experimentales, las pruebas se utilizan en el laboratorio y una lista de varios estabilizadores para determinar el método óptimo considerando lo siguiente: En los últimos

años, MTC ha depositado grandes expectativas en el suelo y su estabilidad, lo que se ha demostrado en muchas obras, libros, carreteras y archivos de diseño de carreteras, el interés de facilitar formas de diseño únicas en este estudio es que la totalidad de los productos empleados en este trabajo son de procedencia química, lo que garantiza la reacción y conversión en el suelo.

(La Rosa, 2015), En su investigación sobre la aplicación QUIM KD -40 Aditivos para estabilizar el suelo tuvo como objetivo aplicarlos en aquellas carreteras que se encuentran sin pavimentar (trochas carrozables). La metodología utilizada fue de tipo experimental. La proporción de uso de estos Aditivos deben ser proporcionales para cumplir los requisitos con el fin de producir resultados significativos y llegar a un efecto deseado. Luego de adicionar estos aditivos químicos en las muestras de suelo procedió a experimentar mediante ensayos de laboratorio como; a) En una prueba de CBR de mala calidad grava que contiene limo y arcilla, su capacidad de carga se incrementó en un 27 % a una cuantía aproximada del 2 % del peso de la muestra de suelo seco b) La arena de barro aumenta la capacidad de carga en un 54 % con una cantidad de 1% del peso del suelo seco. c) La arena mezclada con grava mejora la durabilidad en un 20% cuando se presenta. d) Los valores de consolidación obtenidos de tres ensayos de cizallamiento directo del suelo mejoraron en todas las cantidades estudiadas, indicando una dosis del 2 % del peso de suelo seco.

2.2 Bases Teóricas.

2.2.1 Resina de pino

La resina de pino natural es una secreción espesa, pegajosa de color anaranjado – amarillenta, que son producidas por varias plantas, específicamente de los árboles de tipo conífera. También esta resina sirve como un recubrimiento, protector natural para la defensa contra insectos u organismos patógenos. Es muy valiosa ya que posee buenas propiedades químicas y se emplea para diferentes cosas, como por ejemplo la fabricación de adhesivos, barnices y aditivos alimenticios. También es un componente habitual de los perfumes o inciensos. En muchos países, entre ellos España, es frecuente referirse a la "resina" como "resina de pino" ya que esta conífera es su principal fuente. (wikipedia, 2022)



Figura 2. Estructura típica del pavimento rígido
Fuente: (Galego, 2022)

2.2.1.1 Tipos de resinas

2.2.1.1.1 Resinas naturales

Son las resinas fosilizadas que tienen origen vegetal, resultante esencialmente de restos de coníferas y algunas angiospermas, es una secreción vegetal protectora formada por una mezcla de goma y resina que se emulsiona al mezclarse con el agua. Este puede contener o no, además, un aceite esencial volátil (Pochteca, 2022)

- Resina verdadera
- Ámbar
- Oleorresinas
- Gomorresinas
- Bálsamos
- Lactorresinas

2.2.1.1.2 Resinas sintéticas

Este tipo de resinas son estables ante los entornos a altas temperaturas, tiene una fuerza considerable y son muy tenaces a los impactos, la corrosión por contacto con productos químicos y humedad. Normalmente estos se emplean en la fabricación de resinas de hule, componentes eléctricos, procesos de laminado, para elaborar moldes y revestimientos de freno,

adhesivos para cementos y aglomerados. También destaca su gran resistencia ante el calor, químicos, flamas, propiedades mecánicas y eléctricas. (Pochteca, 2022)

- Poliéster
- Poliuretano
- Resina epoxi
- Acrílicos
- Viniléster
- Composites

2.2.1.2 Composición química de la resina de pino.

(wikipedia, 2022) La resina de pino de origen natural contiene una mezcla compleja de terpenos, ácidos resínicos, ácidos grasos y otros componentes complejos como: alcoholes, ésteres. La proporción de cada componente es función de la especie arbórea y el origen geográfico. Los valores típicos son:

- 60-75 % de ácidos resínicos.
- 10-15 % de terpenos.
- 5-10 % de sustancias varias y agua.

Por destilación a presión ambiente, es posible separar dos fracciones:

- 60 - 75 % de Colofonia.
- 15 - 25 % de aguarrás y agua

2.2.1.3 Usos de los productos derivados de la resina de pino natural

Del proceso de destilación de la resina de pino natural se consigue la esencia de trementina, destacada comercialmente como el aguarrás, que supone un 22.00% del volumen de la resina procesada, y colofonia, que es el residuo seco de la destilación, de carácter ácido, y que constituye alrededor del 68.00% de la composición de la resina de pino. Además, de la destilación de la resina de pino se consigue cerca de un 10.00% de agua constitutiva (Castilla, 2022)

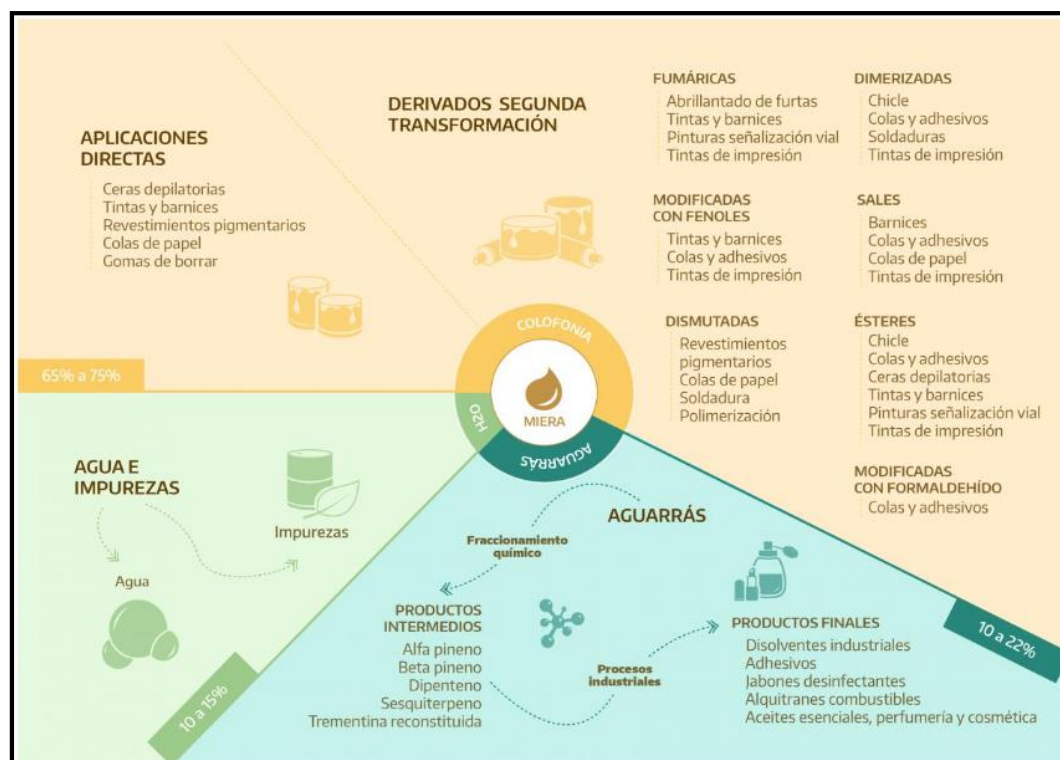


Figura 3. Usos de los productos derivados de la resina de pino natural

Fuente: (Castilla, 2022)

2.2.2 Clasificación de las carreteras

2.2.2.1 Clasificación por demanda

2.2.2.1.1 Autopistas de Primera Clase

Son las carreteras con un IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6 000 veh/diarios, de calzadas separadas por medio de un separador central mínimo de 6.00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, y con control de entradas y salidas que facilitan flujos vehiculares de forma continua, estos sin cruces y con puentes peatonales en zonas urbanas. Esta clase de autopista deberán tener una superficie de rodadura a nivel de pavimento. (Diseño Geometrico de carreteras, 2018).

2.2.2.1.2 Autopistas de Segunda Clase

Estas autopistas tienen un IMDA de 6000 y 4001 veh/diarios, así mismo su calzada están divididas con un separador central de calzadas divididas por medio de un separador central cuya longitud podría variar de 6.00 m hasta 1.00 m. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada (Diseño Geometrico de carreteras, 2018).

2.2.2.1.3 Carreteras de Primera Clase

Estas carreteras tienen un IMDA entre 4 000 y 2 001 veh/diarios, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas, su superficie de rodadura de este tipo de carreteras debe estar pavimentada (Diseño Geometrico de carreteras, 2018).

2.2.2.1.4 Carreteras de Segunda Clase

Tienen IMDA entre 2000 y 400 veh/diarios, con una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas. La superficie de rodadura de estas carreteras debe estar a nivel de pavimento (Diseño Geometrico de carreteras, 2018).

2.2.2.1.5 Carreteras de Tercera Clase

Poseen un IMDA menores a los 400 veh/diarios, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles de longitudes hasta de 2.50 m, contando con el sustento técnico correspondiente. Estas carreteras son soluciones básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimento (Diseño Geometrico de carreteras, 2018).

2.2.2.1.6 Trochas Carrozables

Estos tipos de vías transitables, que no cumplen las características geométricas de una carretera, poseen un IMDA menor a 200 veh/diarios. Ya que sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m. La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar (Diseño Geometrico de carreteras, 2018).

2.2.2.2 Clasificación por orografía

2.2.2.2.1 Terreno plano (tipo 1)

Este tipo de terreno posee pendientes transversales al eje de la vía las cuales son menores al 10.00% y las pendientes longitudinales son menores al 3.00%, por tales demandan un mínimo movimientos de tierras, por lo que no representa una mayor dificultad en su trazo (Diseño Geometrico de carreteras, 2018).

2.2.2.2.2 Terreno ondulado (tipo 2)

Poseen en su eje de la vía pendientes transversales que varían del 11.00% y 50.00% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre el 3.00% y 6.00 %, de las cuales demandan un

moderado movimiento de tierras, que permite alineamientos bien rectos y alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el trazo (Diseño Geometrico de carreteras, 2018).

2.2.2.2.3 Terreno accidentado (tipo 3)

Sus pendientes transversales en el eje de la vía se encuentran del 51.00% y el 100.00% y sus pendientes longitudinales predominantes se hallan entre el 6.00% y 8.00%, por lo que requiere significativos movimientos de tierras, razón por la cual presenta problemas en el trazo (Diseño Geometrico de carreteras, 2018).

2.2.2.2.4 Terreno escarpado (tipo 4)

Presentan unas pendientes transversales al eje mayores al 100.00% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8.00%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual al momento del trazado presenta grandes dificultades (Diseño Geometrico de carreteras, 2018).

2.2.2.3 Clasificación por función

La Red Vial Nacional, departamental, rural son carreteras que están proyectadas e involucradas a estudios, obras, mantenimiento a obligación del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y de Provías Nacional. (MTC, 2014)

- Carreteras de la Red Vial Nacional.
- Carreteras de Red Vial Departamental o Regional.
- Carreteras de la Red Vial Vecinal o Rural.

2.2.3 Subrasante

Es la capa superficial del terreno natural. De las cuales estas no superan en el espesor has los 0.45 metros de espesor al momento de su conformación y para la rehabilitación los últimos 0.20m. su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito suscitado y sus características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocara encima (MTC, 2014)

2.2.3.1 Caracterización de la Subrasante

Con el propósito de conocer las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se procederá a la investigación mediante los pozos exploratorios o calicatas, cuya profundidad mínima será del 1.50 m; y la cantidad mínima de muestras de calicatas por kilómetro, estará de acuerdo a la tabla 11 que se aprecia párrafos abajo. Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a

distancias similares, sí se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía, tal como se mencionan en el numeral en las siguientes tablas (Manual de Carreteras, 2013)

Tabla 1. *Numero de calicatas para exploración de suelos*

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

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

Tabla 2. Numero de ensayos Mr y CBR

Tipo de Carretera	N° Mr y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> Cada 1 km se realizará un CBR
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> Cada 1.5 km se realizará un CBR
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> Cada 2 km se realizará un CBR
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none"> Cada 3 km se realizará un CBR

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)


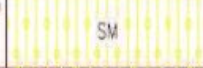





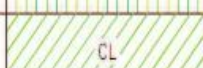
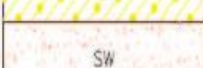



2.2.3.2 Descripción de suelos.

Las muestras de suelos analizados serán descritas y clasificados de acuerdo a metodología para construcción de vías, la clasificación se realizará necesariamente por el método AASHTO y SUCS, así mismo utilizarán los signos convencionales de dichos cuadros (Manual de Carreteras, 2013)

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGANICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-4		

Figura 4. Signos convencionales para perfil de calicatas

Fuente: Simbología AASHTO

	Gravas bien mezcladas arena, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares.		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy baja.
	Grava mal graduada, mezcla de arena-grava con poco nada de material fino.		Arenas arcillosas, mezclas de arena-arcillosa.
	Gravas limosas mezclas de grava-arena limosa.		Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas o limas arcillosas con ligera plasticidad.
	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-arcilla grava con material fino cantidad apreciable de material fino.		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o mediana, arcillas grava, arcillas arenosas, arenas limosas, arcillas magras.
	Arena bien graduada, arenas con grava, poco o nada de material fino. Arenas limosas poco o nada, amplia variación en tamaño granular y cantidades de partículas en tamaño intermedios.		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas, baja plasticidad.
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias.		Limo inorgánico suelos finos gruesos o limosos, micáceos o diatomáceos, limos eféticos.



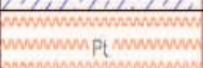
	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad, arcillas grasosas.
	Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limas orgánicas.
	Turba, suelos considerablemente orgánicos.

Figura 5. Signos convencionales para el perfil de calicatas – Clasificación SUCS
Fuente: manual de ensayos de materiales – Norma MTC E101 gráficos para suelos

Tabla 3. Clasificación de suelos según tamaño de partículas

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

Tabla 4. Clasificación de suelos según índice de plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

Tabla 5. *Clasificación de suelos según equivalente de arena*

Equivalente de Arena	Característica
si $EA > 40$	el suelo no es plástico, es arena
Si $40 > EA > 20$	el suelo es poco plástico y no heladizo
si $EA < 20$	el suelo es plástico y arcilloso

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

Tabla 6. *Clasificación de suelos según índice de grupo*

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
$IG > 9$	Muy Pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

Tabla 7. *Correlación de tipos de suelos AASHTO – SUCS*

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM –D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A – 2	GM, GC, SM, SC
A – 3	SP
A – 4	CL, ML
A – 5	ML, MH, CH
A – 6	CL, CH
A – 7	OH, MH, CH

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

Tabla 8. *Categoría de Subrasante*

Categorías de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

2.2.4 Superficies de Camino Estabilizados.

2.2.4.1 Caminos de arena arcilla.

(Hewest, 2014), Desde aproximadamente 1932, el término general CAMINO ESTABILIZADO se ha vuelto significativo. Actualmente indica una clase de cimientos y superficies de caminos construidas con mezclas controladas de tierra local y materiales minerales con o sin adición de aditivos comerciales tales como cloruro de calcio, betún o cemento Portland. De tal modo, incluyen los caminos de arena arcilla.

Esencialmente un camino de arena arcilla es una mezcla adecuada de arcilla, sedimento, arena fina y gruesa, y preferiblemente algo de grava fina. Se construye más grueso que la mayoría de las superficies de los caminos, usualmente de 20.32 o más centímetros de profundidad terminada. Las mezclas de arena y arcilla también hacen un cimiento excelente para determinados tipos de pavimento.

(Hewest, 2014) Una práctica satisfactoria de la construcción de arena y arcilla debe estar basada en los principios anteriormente expresados para las capas de superficie no tratadas. Además, tales caminos son económicos solamente en zonas en donde se dispone localmente de fuentes adecuadas de arena y arcilla. Originalmente se desarrollaron en los Estados del Atlántico del Sur, pero en los últimos años han sido construidos en algunos de los estados del Medio Oeste y del Oeste, particularmente Nebraska, Kansas y Wyoming. (pág. 527)

2.2.4.2 Primeras aplicaciones de los caminos de arena y arcilla

(Hewest, 2014) Las observaciones en los Estados del Atlántico del Sur, durante el tráfico ligero del periodo 1900 y 1910, demostraron que las superficies de los caminos de tierra superficial, tierra gris, arenisca gris, suelo de tabaco negro, tierra de terreno elevado, y granito muerto, fueron generalmente satisfactorios. Estos materiales frecuentemente se encontraron en depósitos naturales de arena y de arcilla que se encontraban en lomas bajas adyacentes al camino, particularmente en los campos cultivados. Los depósitos tenían evidencias de aeración, lejivación por agua, y oxidación. Dicho material usualmente estaba en una delgada capa gris que no excedía de 30.5 centímetros de espesor, pero ocasionalmente se encontraba por fuera de los caminos cultivados y en capas más profundas. Al comienzo la mejor guía para la selección del material era una prueba de servicios sobre los caminos. Se construían caminos simplemente acarreado la tierra y colocándola sobre la plantilla del camino y depositando una gruesa capa que se consolidaba y se curaba por medio del tráfico mismo. Más tarde estos caminos fueron satisfactoriamente tratados con rastras. (pág. 527)

Los estudios anteriores realizados sobre la calidad del material, demostraron que la arena era frecuentemente cuarcita desintegrada, y el feldespatos descompuesto y arcilloso o feldespatos lejivado. Las arcillas depositadas por medio del agua o sedimentaria, se encontraron como más firmes, y más plásticas, según se determinó por la calidad pegajosa o de masilla en presencia de agua. Algunas arcillas fueron suficientemente plásticas como para que se hicieran bolas a partir de ellas, que se pegaban cuando se sumergían. Las arcillas que se despedazan en el agua se llamaron "arcillas desmenuzables" y se consideraron como menos satisfactorias. Se reconoció que el aglutinante de arcilla debe aproximadamente llenar los huecos en la arena, pero usualmente no se hizo ninguna medida precisa en los huecos.

Además, se observó que el exceso de arcilla deformaba los caminos y que la arcilla insuficiente ocasionaba desmoronamiento. Se consideraba necesario un amasado considerable, y las condiciones para el amasado se encontraban favorables después de una larga lluvia.

Cuando la infraestructura era de arcilla, se cubría con unos cuantos centímetros de arena y se araba y se trataba por medio de discos escarificadores, preferiblemente encontrándose húmedo. Cuando la infraestructura era de arena, se diseminaba uniformemente una capa de arcilla seca, comenzando enseguida la circulación para romper los terrones de arcilla. Se añadía otra capa de arena; a continuación, se consideraba necesario arar y rascar. Se aprovechaban las lluvias, y la arena y la arcilla se añadían a medida que las condiciones se desenvolvían.

Hewest (2014), Dichos caminos antiguos eran muy baratos. Cuando la mano de obra en el sur podía obtenerse a razón de un dólar por día, y los equipos por 3 dólares, y el acarreo promedio

no excedía de 1.6 kilómetros, podía construirse un camino de arena arcilla, de 3.66 metros de ancho, y de 15.24 centímetros de profundidad, consolidado a razón de aproximadamente 375 dólares por kilómetro. Algunas veces los caminos eran construidos por precios tan bajos como 187.50 dólares por kilómetro. (pág. 529)

2.2.4.3 Caminos modernos de arena arcilla

(Hewest, 2014) en las zonas en donde la grava o la piedra triturada es costosa, y especialmente donde es económica la mano de obra del personal. El moderno camino de arena arcilla para tráficos hasta de aproximadamente 500 vehículos, es relativamente económico y da un buen servicio. Después de la investigación del doctor M. Strahan de 1922 a 1927 en Georgia, en cooperación con la oficina de Caminos Públicos, se habían desarrollado especificaciones muy cuidadosamente. (pág. 529)

Se ha encontrado también que el camino bien construido de arena y arcilla como una primera etapa de la construcción o como una infraestructura para superficies superiores, puede ser un elemento importante para la construcción de carreteras en algunas zonas.

Se han realizado mejoras en los depósitos naturales delgados de tierras superiores arando primeramente y mezclando concienzudamente los mismos antes de que sean acarreados. Cualesquiera depósitos infra superficiales encontrados en fosas, también deben ser concienzudamente rascados después de transferirlos a la plantilla del camino. Más recientemente han existido no solamente mejoras en los detalles de la mezcla, sino también mejores métodos para empacar o consolidar la losa desde la parte inferior hasta la parte superior mediante el uso abundante del agua y aprovechándose de la lluvia.

El suelo superior se apisonará aproximadamente a dos terceras partes de su profundidad cuando se encuentra suelto. Una capa de 30.48 centímetros de suelo superior suelto se consolidará de tal forma a aproximadamente 20.32 centímetros. Ya que la consolidación ocurre desde el fondo hacia arriba, el tráfico, después de que la mezcla se ha hecho completa, es ordinariamente benéfico. El apisonado con apisonadora mecánica de tres ruedas no es de beneficio especial.

(Hewest, 2014) recomienda que cualquier apisonado debe hacerse con un rodillo de pie de cabra a fin de encajar primeramente las capas inferiores. Las losas verdes que se han hecho fangosas y que se han batido concienzudamente durante la lluvia muestra finalmente una mayor resistencia cuando se apisonan, pero requerirán un considerable trabajo a máquina y reconfiguración hasta que se fijen finalmente. (pág. 530)

2.2.5 Tratamiento con Resinas y Polímeros.

La utilización de este material para la estabilización de los suelos tiene como objetivo principal mejorar la estructura del suelo volviéndolo impermeable al agua. Estas resinas sintéticas como el furfural y anilina de origen orgánico, acrecienta en la resistencia mecánica del suelo mejorándolo de manera significativa en la cohesión de esta (MTC, 2014)

La anilina es un derivado del alquitrán de furfural y la hulla, estos al mezclarlo en proporciones, reaccionan formando una resina viscosa de color rojo oscuro que se endurece en forma lenta hasta alcanzar su completa solidificación. El mecanismo de preparación es el siguiente: primero se mezcla uno de los líquidos con el suelo y después el otro, y luego se compacta. Se puede estabilizar de esta manera la arena suelta en forma rápida para que los caminos así estabilizados se abran al tránsito a las pocas horas después del tratamiento.

En general, la cantidad de resina utilizada puede ser de 1 a 2% en peso como valor óptimo, y parece probable que solamente los suelos de naturaleza ácida responden bien al tratamiento.

Se han empleado diferentes resinas del tipo comercial entre las cuales la más conocida en Europa es el “Vinsol”. Las resinas naturales tienen la cadencia de ser dispuestos a las bacterias y a otro tipo de degradaciones, lo que limita su vida útil; sin embargo, éste es un problema que es común virtualmente a todos los agentes estabilizantes constituidos por un componente orgánico.

En algunas ocasiones se han venido aplicando las ligninas en la estabilización de suelos, usando desperdicios de la fabricación de papel tales como el licor de sulfito. El componente activo en estos productos es la molécula de lignina dispuesta en una estructura compleja de grupos hidroxílicos y carboxílicos ligados por afinidad a las superficies silíceas, que son apropiadas para formar fuertes uniones con las partículas del suelo.

La forma más común de estos agentes estabilizantes es la llamada cromo-lignina, que utiliza el líquido residual negro, rico en lignina, de la fabricación del papel de sulfito. El dicromato de sodio o potasio reacciona con la lignina para formar un monómero orgánico, cromo –lignina, que se polimeriza lentamente transformándose en un gel de color castaño. Las concentraciones normales son de 10 a 20 por ciento, en peso. La velocidad de la formación del gel se regula mediante la temperatura y la concentración; los tiempos normales varían de 15 minutos a 1 o 2 horas. Se ha encontrado que el ion cromo es muy efectivo como agente de refuerzo que ayuda a que los ligamentos establecidos entre la superficie de las partículas de arcilla y las moléculas de lignina aumenten su resistencia (MTC, 2014)

Entre las aplicaciones de la cromo-lignina, se destaca el tratamiento de suelos de origen fogoso (volcanes) y también en suelos de origen clorítica, en los cuales las técnicas convencionales presentan ciertas carencias y es muy cara su aplicación.

El polímero es un cuerpo constituido de elementos de una misma especie y en la misma cantidad, pero su número de moléculas de unos son múltiplos de otros, siendo sus pesos también múltiplos, por ejemplo, son polímeros del etino (C_2H_2), el butanotrieno (C_4H_4) y el benceno (C_6H_6). Ahora bien, al someter a reacciones con numerosas moléculas de este tipo (monómeros) son soldadas para crear moléculas gigantes a las que se les denomina como polímeros.

Cabe mencionar que se ha propuesto una cantidad considerable de este tipo de productos como estabilizantes de suelos, pero todos ellos quedan comprendidos en tres grupos principales de polímeros: Catiónicos, aniónicos y no-iónicos. Los polímeros de tipo catiónico tienen cargas positivas que forman ligaduras electrostáticas muy fuertes en la superficie, con cargas negativas, de los minerales de arcilla y de arena fina, dando origen a una floculación que reestructura el suelo y que permite mejorar su resistencia al esfuerzo cortante. Debe tenerse cuidado al compactar un suelo estabilizado con polímeros en virtud de que la resistencia del suelo estabilizado puede ser afectada por la energía de compactación al destruir la estructura recién ligada con polímeros, obteniéndose además pesos volumétricos más bajos.

Los polímeros catiónicos típicos, que más se han probado en la estabilización de suelos, son las poli-acrilamidas, y otros productos comerciales tales como aemeen, arquad, etc. Su uso en gran escala está muy limitado debido a varios factores, tales como el costo, la delicada operación de mezclado, su variabilidad, etc. El mezclado resulta difícil porque se deben usar en el tratamiento cantidades muy pequeñas que deben mezclarse uniformemente.

Un descubrimiento reciente, de una significación potencial grande, se refiere a un polímero del grupo de la celulosa, un polisacárido complejo, que constituye el principio activo por medio del cual las hormigas blancas del Norte de Australia fabrican sus estructuras de tierra remoldeada. Estas madrigueras son notables por sus estructuras de tierra remoldeada y durabilidad, y este hecho debe conducir a la realización de estudios en esta dirección para aprovechar la enseñanza y obtener valores prácticos en la estabilización de suelos (MTC, 2014)

2.2.5.1 Tratamiento con PERMA - ZYME 22X

El PERMA - ZYME 22X, Es un producto con un costo económicamente bajo; elaborado de variedades de enzimas con materiales orgánicos fermentados, el mismo que se emplea, para estabilizar materiales arcillosos realizando método tradicional en el proceso de construcción mejorando la homogeneización y compactación de los suelos (MTC, 2014)

PERMA - ZYME 22X apura la cohesión de las partículas que constituye el suelo por medio de la acción catalítica de la enzima y esté produciendo un estrato impermeable y compacto en la construcción de carreteras.

PERMA-ZYME 22X permite ahorrar costos de un 20 % al 30 % cuando se utiliza como un estabilizador en la capa base de las vías de concreto o asfalto. Así también contribuyendo un periodo de vida útil de 5 años, vías sin pavimentar han mostrado un gran ahorro cuando se toma en cuenta la reducción en mantenimiento y reparaciones. (Manual de PERMA – ZYME 22X, 2017, pág. 2)

Adicionando una cantidad mínima de PERMA-ZYME 22X al agua, que se utilizara para rociar al material y conseguir su humedad óptima para el proceso de compactación, muestra como resultados una capa mucho más estable y de buena resistencia y a un costo económico bajo, la aplicación del aditivo PERMA - ZYME 22X no requiere de personal técnico capacitado o especializado en el uso de este aditivo (MTC, 2014)

2.2.5.2 Estabilización con cal

El uso de la cal para estabilizar los suelos no es una técnica novedosa, porque estas fueron usadas por nuestras antiguas civilizaciones, como la construcción de la muralla china y caminos romanos durante la época del imperio romano, EL uso de la cal se empleaba principalmente en aquellos suelos de granulometría fina (MTC, 2014)

Emplear cal es relacionar químicamente el óxido de calcio (CaO), Sin embargo, ~~su~~ para su uso pasa por un proceso de calcinación de las rocas calizas.

Este insumo tiene una alta cantidad de calcio la cuales contiene del 95 % al 99 % de carbono de calcio.

Se conoce que las construcciones realizadas en suelos arcillosos son malas; por lo que necesitan ser mejoradas y estabilizadas, con el propósito de que no se produzcan fallas e incrementen su resistencia; de las cuales se menciona a continuación los efectos que causas añadir cal a un suelo arcilloso:

- Contribuye en la reducción del índice de plasticidad de forma significativa, reduciendo su límite líquido.
- Son muy trabajables ya que aumenta la disgregación de grumos de arcilla al añadir agua.
- Ayuda a la reducción de los efectos aglomerantes.
- El uso de la cal facilita un secado más rápido en suelos arcillosos, pantanosos.

- Al añadir cal, se producen cambios de humedad, y estas a su vez las reducen.
- El suelo incrementa su resistencia en el proceso de compresión y su valor relativo de soporte.
- La superficie estabilizada con cal proporciona una rígida plataforma de trabajo para la construcción de las capas de un pavimento.
- La capa estabilizada proporciona una excelente plataforma de trabajo para la construcción de las capas superiores de la sección estructural de un camino.

Son muchos los criterios de aplicación de cal para la elección de un óptimo contenido del mismo, por lo que existen diversos factores y criterios de selección y aplicación de las cantidades óptimas de cal.

Sin embargo, las diversas instituciones fijan en los procedimientos de ejecución de las diferentes pruebas, de las cuales se obtienen los parámetros de diseño, las modificaciones que se deben tener presente al trabajar con mezclas de suelo-cal; dos ejemplos son los procedimientos empleados por los departamentos de carreteras de Texas y California en los E.E.U.U. Ellos emplean una técnica de refracción de los rayos x, espectrometría con rayos infrarrojos y análisis químicos, hasta las relativamente sencillas como los son la determinación de las propiedades geotécnicas en el suelo Estabilizado y sin Estabilizar. Algunas veces se han medido el valor de pH (potencial de hidrogeniones) en la mezcla de suelo – Cal, sobre todo en aquellos casos en que el suelo contenga materia orgánica, con el objeto de determinar la efectividad de la estabilización (MTC, 2014)

Cual sea la técnica y procediendo del uso de la cal, existe un punto óptimo de adición de este insumo estabilizador.

El método más empleado en la actualidad del uso de la cal para estabilización de suelos, es por la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) Cuya designación es T220 – 66. Este método en su aplicación consiste especialmente en realizar pruebas de compresión simple, previa determinación del contenido de cal a utilizar.

Procedimiento de Construcción. El procedimiento de construcción de acuerdo a la Association de Estados Unidos de Norteamérica, manifiesta que la estabilización con cal debe sujetarse a los siguiente: (Lime Stabilization Construction. National Lime Association)

- Se debe emplear cal hidratada de alta calidad.
- El uso de la cal debe aplicarse por capas de 15 cm.

- Para lograr conseguir una estabilización de calidad, es primordial una disgregación adecuada de los fragmentos arcillosos. Para obtener una completa estabilización, es esencial una disgregación adecuada de la fracción arcillosa.
- La adición de cal hidratada, se dosifica en relación al peso seco del suelo; está extendiéndola para un posterior rociado de agua.
- El mezclado y humedecimientos iniciales en esta actividad es necesario, y de esta forma realizar un batido preliminar para combinar y tener una mezcla uniforme, en esta etapa se debe agregar agua para aumentar su humedad hasta con un 5 %.
- Proceso de Curado. Para evitar que el agua y la cal rompan los grumos de arcilla, es importante curar en un tiempo de 1 a 48 hrs. En caso de suelos muy arcillosos, puede curarse hasta en 7 días, esto lo determinara el ingeniero responsable.
- Mezclado final y disgregación. Se volverá a realizar una mezcla y disgregación, hasta que los grumos pasen el tamiz de 1 pulgada y pasen un 60% de la malla número 4 (excepto las partículas sólidas del suelo).
- Proceso de Compactación. Debe realizarse según las especificaciones técnicas del proyecto, teniendo en cuenta los resultados de laboratorio, la compactación debe iniciarse una vez se tenga habilitado la mezcla de cal y suelo, El espesor de compactación no deberá ser más de 15 cm.
- Curado final. Se realizará en un tiempo de 3 a 7 días.
- Curado con adición de agua, el rociado de agua a la superficie compactada, se realizará de forma periódica.
- Proceso de Impermeabilización, este se realizará aplicando a la superficie un riego con asfalto o aceites similares.

2.2.5.3 Estabilización con cemento

En la ingeniería, se realiza el proceso de estabilización de suelos con la aplicación de cemento, estos en aquellas superficies pantanosas, suelos arcillosos. Esta técnica de aplicar cemento al suelo se ha intensificado en los últimos años, sobre todo en las construcciones de carreteras y aeropistas ,logrando alcanzar ventajas económicas (MTC, 2014)

En general, la técnica utilizada para efectuar una buena estabilización con cemento, considera dos criterios fundamentales, la durabilidad y la resistencia, Pero se ha descuidado un poco a las técnicas para la selección económica de una buena mezcla de suelo estabilizado a base de cemento. Este último punto es de extrema importancia, ya que se ha comprobado, que con la adición de algún aditivo agregado a la mezcla de suelo-cemento, se puede lograr no solamente considerables ahorros, sino, que se mejoran las propiedades del suelo estabilizado, en forma

muy notable. Por lo tanto, es de fundamental importancia que el profesional en el rubro de la ingeniería, conozca a detalle las reacciones que puede tener al añadir productos estabilizantes de suelos.

Existen desde luego muchas técnicas y productos para realizar la estabilización; sin embargo, se considera que el cemento es uno de los más comunes.

La técnica del uso de cemento con fines de estabilización, implica una buena disgregación del suelo (especialmente en el caso de arcillas).

Adicionar cemento, en una mezcla al seco con cemento hidratado, se obtiene una combinación más rígida; por lo cual, el orden de añadir cemento es del 2 al 3 %; en cambio, si se adiciona con un orden del 5 al 6%, podría originar una variación radical en las propiedades del suelo (Hewest, 2014 pág. 153)

2.2.5.3.1 Dosificación del cemento

Para realizar la dosificación del cemento, se puede hacer uso de la siguiente tabla, donde señala el porcentaje de adición de cemento según el tipo de suelo para su estabilización óptima y adecuada, En la cual, nos proporciona unos rangos de cantidades entre los cuales podría estar la dosificación adecuada para el suelo utilizado (MTC, 2014)

Tabla 9. Tipos de suelo

Tipos de suelo	Porcentaje de cemento
A-1 A-3	3 – 8
Límite de A-3 y A-2	5 – 10
Límite de A-2 y A-4	7 – 12
A-5 y A-6	8 – 15
A-7	10 – 16

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013)

En todo caso, la tabla anterior puede utilizarse para comenzar los ensayos Proctor y obtenida la densidad normal, continuar los ensayos Proctor con dosis crecientes de 2 en 2% hasta lograr que la densidad obtenida se halle de acuerdo con el gráfico.

➤ Ejecución de una obra con Suelo – Cemento.

A continuación, se señala cuáles son las condiciones principales para un buen proceso de construcción, aplicando cemento a un suelo con fines de estabilizar.

- a. Los suelos donde se aplicará, deben estar pulverizados y bien combinados entre sí con el cemento, llegando a que se comporten de forma homogénea con una uniformidad de color en toda la capa de la superficie.
- b. EL riego del agua deberá realizarse llegando a una uniformidad de humedad.
- c. La mezcla del cemento con el suelo debe ser bien removida, no más de 30 minutos

2.2.5.4 Estabilización con cloruro de sodio

Las propiedades del cloruro cálcico participan en menor grado, siendo, estas más económicas abundante en el mercado. Se suele dosificar a razón de 1kg/m². Es esencial que su empleo se haga en zonas de baja pluviometría, pues no solo su acción se restringe a aplicarse a suelos secos, sino que, en épocas de lluvia, los suelos se lavan y hay que repetir el tratamiento ante la estación seca. En trabajos cerca del mar, regando con agua marina, en estación seca se consigue mejorar los resultados de la compactación. (Fernández, 2012, Pág. 274).

La producción del cloruro se realiza por 3 métodos, uno de los más antiguos es emplearlo al calor solar para generar la evaporación del contenido de agua salada, Otro método es la extracción de la mina de sal; pero el método más reciente consiste en la evaporación del agua de mar mediante el uso de hornos.

El cloruro de sodio se muestra en forma de cristales, fácilmente solubles al agua, de los cuales son higroscópicos y con variaciones de grados de pureza. Añadiendo sal al agua se puede abatir la temperatura al congelamiento.

Se han conseguido casos en los que el empleo de 2 a 3% de sal, abatió el punto de congelamiento de un suelo hasta un - 22° C.

Aunque aparentemente no existe controversia en lo que respecta a las modificaciones que produce la incorporación de sal a un suelo, sí existen lo referente a los mecanismos internos de estabilización; por lo que, en todo estudio se deben involucrar tanto aspectos físicos como químicos.

(Torrente, 2012 Pág. 138), Es esencial conocer las fuerzas que se presentan entre las partículas, así como los procesos de intercambio catiónico, para entender la estabilización química de suelos, por lo que a continuación se presenta una breve discusión de ambos aspectos. La gran mayoría de las partículas arcillosas se presentan con una carga eléctrica descompensada en la superficie; por lo cual, atraerán algunos iones de los existentes en el agua que los rodea. La magnitud de este potencial se puede enunciar por una cantidad propuesta como:

$$Z = 4 Qd / AK$$

En donde:

Q: Es la carga eléctrica.

d: Es el espesor de la doble capa.

A: Es el área superficial.

K: Es la constante dieléctrica.

Cuando se trata de fuerzas en las partículas arcillosas, no deben descartarse las debidas a otros efectos como las de Van der Waals; sin embargo, este tipo de fuerzas según se ha encontrado, reviste una influencia secundaria cuando se trata de las reacciones durante una estabilización.

Se ha encontrado en términos generales el orden de sustitución de los cationes, que se manifiesta de la siguiente forma:



Significa esto, que cada ion sustituye con cierta facilidad al que le queda a su derecha a igualdad de concentración en el electrólito. Se debe tener presente que este orden no es absoluto, sino que puede variar, pues existen varios factores que lo afectan; por ejemplo, si en una solución existe exceso de algún ion, este será el absorbido principalmente; en esta forma ha sido posible hacer que una arcilla sea homoiónica, haciendo pasar entre sus partículas una solución que contenga un solo tipo de sal. (Fernández, 2012, Pág. 274).

Cuando se realice la estabilización con sal, se deberá tener presente las siguientes restricciones:

- En climas donde ocurre congelamiento, emplear el cloruro de sodio es muy útil, ya que mejora de forma positiva.
- Se obtiene mejores resultados cuando el material fino reacciona con la sal.
- El suelo de origen orgánico inhibe en la acción de la sal.
- No es recomendable emplear en el proceso de compactación rodillos de pata de cabra, ya que se tiene como referencia que no ha brindado buenos resultados.
- Es indispensable y necesario la intervención de un técnico especializado en todo estudio de estabilización con sal.

Si se desea utilizar el equipo tradicional para la ejecución de obra con suelo y sal, los pasos a seguir son:

- Proceso de Escarificación
- La Disgregación
- La Adición de cloruro de sodio.
- La Adición del agua

- El Mezclado con Motoniveladora.
- El Tendido y compactado.

2.2.5.5 Estabilización con ácido fosfórico (H_3PO_4).

Como hay variedades de estabilizantes para un suelo, la mayoría de estos productos están indicados para suelos de naturaleza ácida, que han resultado ineficaces para los materiales alcalinos.

Supuestamente, los cambios derivados por el ácido fosfórico en las propiedades de los suelos arcillosos, se deben a que éste reacciona directamente con la estructura interna de la arcilla. Los investigadores Damirel, Benn y Davidson, efectuaron estudios en los cuales compararon espectros obtenidos por difracción de rayos X, de minerales arcillosos antes y después de ser sometidos a tratamientos con ácido fosfórico. Del análisis de dichos espectros, se infirió claramente que ocurrió un rompimiento o división de los cristales de arcilla, debido al tratamiento con ácido fosfórico y se determinó así mismo, una reacción química entre el ácido fosfórico y los minerales de arcilla, en la que producen el fosfato de aluminio y agua, originando un compuesto soluble (Fernández, 2012, Pág. 300).

El ácido fosfórico es un agente estabilizante que desarrolla de manera sensible diferentes características de resistencia en los suelos finos que contienen diferentes clases de minerales arcillosos; el cual, se atribuye a las reacciones que tienen lugar en cada uno de dichos minerales, al estar en contacto con el ácido. Hipotéticamente se piensa que estas reacciones se deben principalmente a las diferencias de velocidad e intensidad con que ocurren éstas en presencia de los minerales arcillosos. Al hacer un análisis de los datos de resistencia de suelos estabilizados con este procedimiento, se han obtenido las siguientes conclusiones: La reacción observada entre la clorita y el ácido fosfórico es rápida y completa; la reacción con la Montmorilonita es rápida pero incompleta, y con la caolinita y vermiculita es lenta y continua. Sin embargo, estas conclusiones dejan el camino abierto a ciertas dudas, debido a que los suelos casi siempre se encuentran en la naturaleza formados por una gran variedad de minerales arcillosos, entre los cuales casi siempre se encuentra un elemento arcilloso predominante y varios colaterales, cuya influencia se considera secundaria.

En la estabilización de suelos arcillosos por medio del ácido fosfórico, interviene una serie de variables tales como el tipo de suelo, humedad, grado de compactación, forma de mezclado y curado, cantidad y concentración de estabilizante y condiciones ambientales. (Fernández, 2012, Pág. 290).

En la figura 1, se muestra la evolución de la resistencia a la compresión sin confinar de probetas preparadas con diferentes proporciones de ácido fosfórico (H_3PO_4) en un material arcilloso limoso, en esta gráfica se observa un comportamiento proporcional de la resistencia con el aumento de las cantidades incorporadas a la arcilla hasta un valor de 2% aproximadamente; más allá de este punto la curva tiende a ser asintótica. ((Fernández, 2012, Pág. 291).

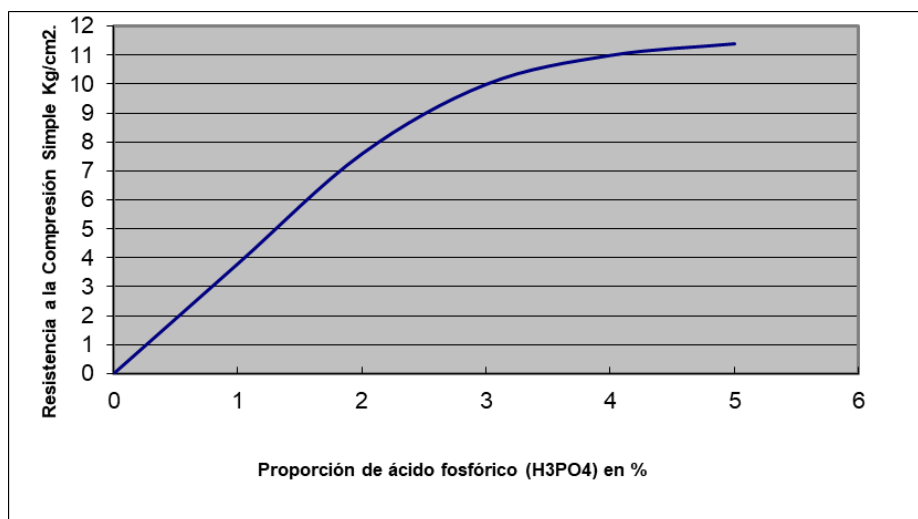


Figura 6. Curva que relaciona la resistencia con la proporción de ácido fosfórico agregada a un suelo arcillo limoso.

La curva que relaciona la resistencia con la proporción de ácido fosfórico agregada a un suelo arcillo limoso compactado en probetas de 2'' X 4'' sumergidas en agua durante dos días y curados durante 5 días.

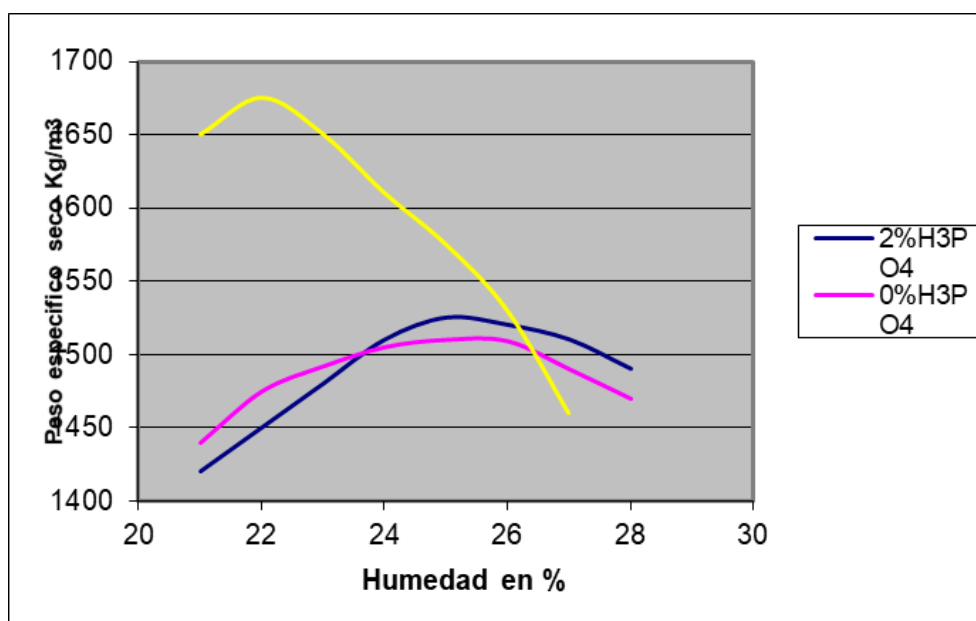


Figura 7. compactación de una arcilla limosa, tratada con 4% y 2% de ácido fosfórico

En la Figura 2 se muestra la curva de compactación de una arcilla limosa, tratada con 4% y 2% de ácido fosfórico, y sin tratar.

De las observaciones hechas a través de la experimentación de la H.R.B, se puede decir que el ácido fosfórico es un estabilizador efectivo, para una amplia variedad de materiales que contienen arcilla, pues el mejoramiento de las propiedades que interesan a la ingeniería es muy marcado en casi todos los casos. Por ejemplo, en lo que se refiere a las subrasantes, se puede ver que los suelos arcillosos estabilizados con ácido fosfórico, mejoran notablemente sus resistencias a la compresión simple a un grado tal, que en ciertos pavimentos estos materiales se pueden utilizar en las capas de base.

La variación de los porcentajes de estabilizantes requeridos es de 1 a 5, y en algunos casos puede resultar valores mayores. Se ha determinado que los suelos arcillosos estabilizados con ácidos fosfóricos, mejoran notablemente su resistencia a la compresión simple a un grado tal, que en ciertos pavimentos estos materiales se pueden utilizar en las capas de base. (Fernández, 2012, Pág. 295).

2.2.5.6 Estabilización con cloruro de calcio (CaCl_2).

La obtención del cloruro de calcio como subproducto de salmuera de algunos procesos industriales, aunque también se puede adquirir de los arroyos y pozos naturales siendo la fuente más usual en la obtención y la elaboración de carbonato de sodio mediante procedimientos químicos. El cloruro de calcio (CaCl_2) se expende en forma de hojuelas, o en forma de partículas redondeadas, con diferentes grados de pureza. (Fernández, 2012, Pág. 280).

Se considera que nunca se dará el suficiente énfasis a la importancia decisiva que tienen los minerales existentes en el suelo y su proporción en la estabilización, pues son numerosos los investigadores que reportan que un pequeño porcentaje, por ejemplo 1% de cloruro de calcio, incrementa en forma muy notable el peso volumétrico, pero un incremento leve más allá de este porcentaje, por ejemplo 0.5%, produce efectos contrarios. Se ha sugerido, para avalar lo anterior, que la adición de cloruro de calcio en una proporción pequeña, une las partículas al contrarrestar las repulsiones negativas, así como al formarse uniones tipo valencia; sin embargo, si se añade cloruro de calcio en exceso se rodean todas las partículas de cargas positivas presentándose ahora una fuerza de repulsión que las separa (MTC, 2014)

Se ha empleado la prueba de CBR para evaluar la estabilización con esta sal y para bajas energías de compactación el aumento en el valor de CBR ha sido muy notable, no así cuando la energía de compactación es alta; esto último se ha verificado sobre todo en gravas con pocos finos. Se han reportado incrementos en el CBR, hasta de 600% con el empleo de este tipo de

sal. Lo anterior sin embargo, no ha sido verificado en todos los tipos de suelo, pues ha puesto en evidencia que de 21 suelos finos de origen glaciario, compactados con diferentes porcentajes de cloruro de calcio, la mayoría manifestaron valores más bajos de CBR que en el caso de no emplear la sal, aún en el caso de que se incrementara el peso volumétrico, por lo que se demostró una vez más, la importancia del conocimiento de los minerales que contenga un suelo, así como de sus probables reacciones con la sal. (Fernández, 2012, Pág. 282).

En lo que respecta a la plasticidad de los suelos, los estudios que se han realizado, indican una gran variedad de respuestas, dependiendo del tipo de suelo, aunque en general la literatura existente sobre el tema reporta que dichos cambios son muy pequeños, si no despreciables. Se ha encontrado que un 2% de sal adicionada a un limo, material sumamente susceptible a la acción del congelamiento, abate dicha susceptibilidad en forma muy considerable, obteniéndose estos mismos efectos con 1% en arcillas y 0.5% para gravas con finos.

Por desgracia, la literatura existente en este tema no indica la forma de determinar con precisión la cantidad de cloruro de calcio (CaCl₂) necesaria para estabilizar un suelo y menos aún para predecir el período en que dicha estabilización sea efectiva, debido a que esta sal es fácilmente lavable. Sin embargo, se ha reportado que, si bien es cierto que la sal se lava, en los períodos de evaporación, dicha sal tiende a ser arrastrada hacia la superficie y nuevamente produce los efectos ya referidos. Se tiene noticias también de que el empleo de sales puede hacer que se saturen algunas zonas con los consecuentes problemas. No obstante, es costumbre un tanto generalizada no adicionar más de 1% de cloruro de calcio al suelo que se pretende estabilizar.

Se prepara el silicato de varias formas, entre las que destacan las llamadas como “proceso en húmedo”, en el que se incluyen soluciones de infusorios o tierras de diatomeas en hidróxidos alcalinos; en estos procesos se obtiene un producto relativamente impuro. Las reacciones aludidas pueden expresarse como sigue:



También se ha obtenido el silicato de sodio mediante la reacción del hidróxido de sodio con los residuos obtenidos en la extracción de metales como el aluminio, berilio y tungsteno. La mayoría del silicato de sodio se obtiene de la fusión de una cierta arena con carbonato de sodio a altas temperaturas. El producto obtenido es un vidrio fundido, al que se le puede permitir su solidificación, o bien se puede disolver a dicho vidrio

mediante la aplicación de vapor a alta presión para obtener la consistencia líquida de diferentes concentraciones. Se expende en el mercado un gran número de variedades de silicatos de sodio, variando fundamentalmente en la relación.

$$R \equiv \frac{S_1O_2}{Na_2O}$$

Siendo el más comúnmente empleado, el que presenta una relación R de 3.22. (Fernández, 2012, Pág. 284).

El silicato de sodio en solución, es incoloro e inodoro y actúa en términos generales como un jabón fuerte y causa mucho daño a los ojos si se llegase a introducir en ellos; se considera como no tóxico, pero si se le traga puede ocasionar dolores y vómitos. Debe guardarse al silicato de sodio en recipientes herméticamente cerrados. Los recipientes deben ser de acero inoxidable o de otro material no reactivo. Si se emplean recipientes de aluminio, lámina galvanizada, o zinc, se tiene posibilidad de que se forme gas de hidrógeno que al expandirse puede romper los recipientes. El silicato de sodio puede atacar lentamente al vidrio, absorber dióxido de carbono de la atmósfera o bien puede perder agua por evaporación.

Se tiene conocimiento que algunos estudios de estabilización efectuados con arcillas puras, pero parece ser que en cuanto a resistencia los resultados obtenidos no han sido del todo satisfactorios. En cambio, en el caso de arenas, los resultados han sido alentadores. Inclusive Droga y Uppal, reportan que en cantidades tan pequeñas como 2.5% de silicato de sodio, han producido en arenas y suelos arenosos incrementos en la resistencia muy notables y hasta el orden de 100 kg/cm² mientras que con cemento Portland, aplicado en un 10%, la resistencia fue del orden de 90 kg/cm². Dichos autores también notaron que resulta beneficioso un periodo muy largo de curado.

En algunas ocasiones el silicato de sodio, ha sido empleado en proporciones de 1 a 3% en arenas para formar una costra superficial, que, si bien no tiene una alta resistencia, si evita que las partículas se desprendan. En lo que respecta al peso volumétrico puede decirse que no existe a la fecha, datos que confirmen tendencias en forma categórica, sin embargo, parece ser que lo que se puede presentar es un incremento en la humedad óptima.

Aunque se ha dejado ver la posibilidad de que la adición de silicato de sodio a suelos granulares o arenas, puede aumentar su estabilidad, se tiene una gran incertidumbre en lo que respecta a la permanencia de dicha estabilidad con el tiempo. A tal grado existen controversias en la

literatura, que mientras unos autores indican la nula resistencia del suelo estabilizado bajo los efectos del agua, otros, como los anteriormente mencionados Droga y Uppal en su boletín “Chemical Stabilization of Sand and Sandy Soils”, aseguran que los suelos arenosos estabilizados con silicato de sodio, resisten la abrasión en forma más efectiva que con el empleo de cemento Portland. A este respecto, se considera conveniente mencionar que dichos autores efectuaron pruebas de durabilidad en especímenes que se sumergían en agua durante 5 horas y posteriormente se les secaba a 72 °C durante 42 horas. (Merritt, 2004, pag.110)

2.2.5.7 Empleo de cemento portland con productos químicos diversos en la estabilización.

El cloruro de sodio y el cloruro de calcio han sido ampliamente utilizados como aditivo para mejorar las mezclas de suelo – cemento. Lambe y Moh, llevaron a cabo en Massachusetts Institute of Technology, una amplia investigación sobre el efecto de aditivos, empleando al cemento como estabilizante de 3 suelos: 2 limos y un loess; fueron 29 los aditivos empleados, entre los que destacaron; el cloruro de calcio (CaCl_2) y dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$); se incluyeron además algunos dispersantes, resinas sintéticas y agentes hidrófobos. Estos aditivos presentaron efectos de poca importancia en el loess, pero el carbonato de sodio y el dicromato de potasio, incrementaron la resistencia de ambos limos hasta en 150%. Se notó que al aumentar la resistencia no se incrementó el peso volumétrico, lo que sugirió la formación de partículas cementantes (MTC, 2014)

Asimismo, Laguros y Davidson estudiaron los efectos en un limo, 5 arcillas y dos suelos arenosos, de algunos compuestos de sodio, calcio, magnesio y algunas sales comerciales con base en pruebas de compresión simple, triaxiales, congelamiento y deshielo, humedecimiento y secado: Los 8 suelos mencionados presentaron propiedades originales tanto físicas como químicas, muy diferentes. Laguros y Davidson encontraron que el sulfato de sodio (Na_2SO_4) mejoraba a los suelos orgánicos ácidos con contenidos de arcilla y al encontrarse el suelo en medios alcalinos, se obtuvieron altas resistencias con cloruro de calcio y sulfato de calcio (CaSO_4). Los suelos correspondientes a un pH neutro respondieron favorablemente con la mayoría de los aditivos que se incorporaron además del cemento. (Fernández, 2012, Pág. 322).

Si se hace una revisión a la literatura existente respecto al empleo de aditivos en mezclas de suelo con cemento, se podrá comprobar que invariablemente los efectos obtenidos dependen en primer lugar del tipo de minerales que contenga el suelo y en segundo lugar de su textura y acidez (Fernández, 2012, Pág. 322).

Como un ejemplo de la complejidad que los mecanismos de reacción interna encierran, se puede mencionar el referente a los compuestos de sodio, cuando se les emplea junto con el cemento Portland. Lambe y Moh, proponen lo siguiente con base en numerosos experimentos:

La mayoría de los suelos finos contienen grandes cantidades de sílice soluble, feldespatos o minerales arcillosos coloidales en un alto grado de finura. Estos compuestos son de naturaleza ácida (pH bajo) y una fracción pequeña, pero muy importante, se encuentra presente en la superficie de las partículas en un estado altamente hidratado. Cuando esta superficie que, expuesta a efectos alcalinos fuertes, la sílice y alúmina solubles, reaccionan rápidamente con los álcalis para formar sales del tipo silicato y aluminato, con lo cual se reduce el pH. Mientras más finas sean las partículas de suelo, mayor será la proporción disponible de sílice y alúmina reactivas, lo que se traducirá en una neutralización más rápida y extensa de los álcalis.

Como ya se mencionó al tratar el tema de la estabilización con cemento, al adicionar este producto y agua a un suelo se produce cal, silicatos de calcio y aluminatos de calcio. Sin embargo, la reacción de la cal con la sílice y la alúmina reactivas presentes en el suelo, provocan la formación de silicatos y aluminatos de calcio adicionales y la reducción de pH.

La reacción última del suelo y el cemento se traduce en un gel de silicatos y aluminatos de calcio hidratados. Ahora bien, debido a que la cal reacciona en forma rápida con la alúmina y sílice solubles para formar compuestos insolubles y también debido a que el cemento se encuentra distribuido aleatoriamente en las partículas de suelo, la formación del gel cementante queda confinada a una delgada capa alrededor de cada partícula de cemento. Solamente cuando se adiciona cemento en grandes cantidades se logra que las zonas de gel se traslapen y se logre una estabilización efectiva.

Al agregar un compuesto sódico, se llevan a cabo intercambios iónicos y la solución se vuelve muy alcalina (alto valor de pH), esto hace por un lado que se retarde la precipitación del gel de silicatos insolubles y se acelera el ataque de la sílice y la alúmina, formando silicatos y aluminatos alcalinos solubles, los cuales se difunden a través del líquido presente entre los poros, con lo cual, se logra una distribución relativamente uniforme en la masa del suelo. Posteriormente se presenta la reacción del calcio con los aluminatos y los silicatos difundidos, con lo que se obtiene las formaciones de un gel de silicatos de sodio y de calcio mezclados, lográndose con ello una red de cristales que amarran perfectamente a las partículas de suelo.

En el caso de suelos gruesos, la cantidad de compuestos solubles es pequeña, por lo que la formación de nuevos cementantes es muy limitada, salvo los propios del cemento Portland, contribuyendo muy poco el suelo para la formación del gel cementante. Así mismo, podemos observar, que, si se agrega, como aditivo al silicato o aluminato de sodio, se compensa la

deficiencia de reactividad del agregado, por lo que en el caso de arenas pueden esperarse muy buenos resultados. En el caso de los limos, el comportamiento de los compuestos sódicos como aditivos se manifiesta como una reacción más lenta que en el caso de las arcillas.

En la literatura actual, existen bastantes artículos que hacen referencia al éxito del empleo del silicato de sodio como aditivo, en el caso de suelos arenosos estabilizados con cemento Portland. Lambe, menciona que una arena estabilizada con cemento (10%), se produjo un incremento de 7 a 8 veces su resistencia en un día y de dos veces a 7 días al adicionar 1% de metasilicato de sodio. El mismo Lambe reporta resultados similares en limos, con 5% de cemento y 1% de metasilicato de sodio. En algunos casos, pudiera ser que el contenido adecuado de aditivo secundario sea del orden del 0.5% y al incrementar dicho contenido a 1% o inclusive a 3%, no produce mejorías notables, se encarece en la mezcla y pudiera resultar que las condiciones fueran desfavorables. Por otro lado, algunos autores han encontrado que no acarrea ningún beneficio el empleo de silicatos de sodio en arcillas con cemento Portland y parece ser que la efectividad es menor a medida que sean más débiles los ácidos empleados en la composición de la sal. (Fernández, 2012, Pág. 324).

Es muy importante pues la intervención del especialista en química en este tipo de trabajos, y debe ser él, la parte medular en que se apoye el estudio, ya que con su auxilio puede de antemano preverse que tipos de aditivos existentes en el mercado, competitivos comercial y técnicamente, son a priori, recomendables para la estabilización. Una vez seleccionados, los más viables, podría llevarse a cabo el análisis geotécnico de las mezclas de suelo-cemento-aditivo con el objeto de seleccionar el más adecuado.

En un estudio emprendido por el Ing. Carlos Fernández Loaiza para la compañía Geosol, S.A., se analizó la eficiencia de los siguientes aditivos secundarios, al agregarlos al agua de compactación de mezclas de suelo con cemento.

- Cloruro de calcio (CaCl₂)
- Sulfato de calcio (CaSO₄)
- Sulfato de sodio (Na₂SO₄)

Se seleccionaron estos productos, por ser de los más baratos, existentes en el mercado de México (Fernández. pág. 324).

2.3 Definición de Términos Básicos.

- **ESTABILIZADOR.** Es un mecanismo que se agrega a los suelos, para acrecentar su estabilidad (Lexus, 2007).

- **RESINA.** Sustancia de origen orgánico, sólido y pastosa, transparente e insoluble en el agua, Se obtiene de las plantas principalmente las coníferas, o por procedimientos químicos. Capaz de arder en contacto con el aire; fluye de varias plantas. (Lexus, 2007).
- **RESINAR.** Extraer resina de ciertos árboles por medio de incisiones en el árbol. (Lexus, 2007).
- **POLÍMEROS.** Compuesto químico natural o sintético, formado por macromoléculas (Lexus, 2007)
- **SINTÉTICO.** Perteneciente a la síntesis. Dícese de aquellos productos, obtenidos industrialmente, de iguales propiedades que los naturales (Lexus, 2007).
- **FLOCULACIÓN.** Precipitación en copos de una solución coloidal (Diccionario Sopena. Ed. Sopena).
- **CONÍFERAS.** Plantas arbóreas de las gimnospermas con hojas persistentes y aciculares, ramas que presentan un contorno cónico (Lexus, 2007).
- **CALIBRAR.** Regular o reconocer un calibre. Dar o reconocer el calibre deseado (Lexus, 2007).
- **PRECISIÓN.** Obligación indispensable que fuerza a ejecutar una cosa. Exactitud, puntualidad y determinación (Lexus, 2007).
- **SOLUBLE.** Que se puede disolver o desleír (Lexus, 2007).
- **TEXTURA.** Estructura de una obra o un cuerpo (Lexus, 2007).
- **ESTRUCTURA.** Distribución y orden de las partes de un todo (Lexus, 2007).
- **FREÁTICO.** Dícese de las aguas acumuladas en el subsuelo sobre una capa impermeable, y de la capa que los contiene (Lexus, 2007).
- **CONFINADA.** Tener límites, aislarse y encerrarse (Lexus, 2007).
- **pH.** Es la medida de la actividad del ion hidrogeno en solución, y, en consecuencia, de la fuerza de un ácido o de una base. (Lexus, 2007)
- **SALMUERA.** Agua cargada de sal (Lexus, 2007).
- **ESTEPAS.** Terrenos eriales, llanos y muy extensos (Lexus, 2007).
- **BIODEGRADABLE.** Se dice de la sustancia que puede ser atacada por microorganismos, transformándose compuestos cada vez más simples. Se aplica especialmente a residuos industriales o domésticos (Lexus, 2007).
- **COHESIÓN.** Acción y efecto de reunirse o adherirse las cosas entre sí o la materia de que están conformadas, unión íntima entre las moléculas de un cuerpo (Sopena., 2010).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Método, tipo, alcance de la Investigación.

3.1.1 Enfoque de la Investigación.

La presente investigación corresponde a un enfoque cuantitativo.

Ya que busca describir, comprobar, explicar y predecir los fenómenos para generar y probar teorías; así mismo, confía en el control numérico. Se utilizó la recolección de datos y de análisis con el propósito de objetar interrogantes de investigación, y de esta forma, probar las hipótesis planteadas (Tamayo, 2007)

3.1.2 Tipo de Investigación.

La investigación es de tipo aplicada.

Según (Carrasco, 2005), menciona que la investigación de tipo aplicada, llamada también investigación práctica, indaga la aplicación de conocimientos con el objetivo de resolver problemas reales; además, se utilizó la información científica de la utilización de la resina de pino para poder conseguir un mejoramiento de la capa Sub Rasante en el tramo de carretera Pumamarca-San Sebastián en el año 2022.

3.1.3 Nivel de Investigación.

El nivel de estudio de esta investigación es Correlacional.

De acuerdo a (Behar, 2008), El nivel de estudio de una investigación debe enfocarse en las causas y/o efectos de los fenómenos, con la prueba de las hipótesis planteadas; es decir, encontrar la relación de las variables que manipulan el objeto de estudio.

Las cuales, se pretende relacionar, cuanto es la incidencia de la adición de resina de pino natural con las variables e indicadores como las densidades máximas, CBR, y grado de compactación.

3.1.4 Diseño de Investigación.

El diseño corresponde a un estudio experimental (Cuasi experimento).

De acuerdo al fundamento que mencionan los autores (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) el diseño experimental es la determinación de cómo se va demostrar y desarrollar nuestro experimento u observación, de modo que se trata de probar, como instituye el manejo de las variables independientes para reaccionar a una respuesta de la variable dependiente.

3.1.5 Población y Muestra.

3.1.5.1 Población.

Para (Palella & Martins, 2008), mencionan que la población es “un conjunto de unidades de indagación de las que se pretende obtener información de las que posteriormente va generar conclusiones”. De tal manera, concuerdan con definiciones de varios autores, donde la Población es la totalidad del fenómeno a estudiar, y que las unidades de esta poseen una característica común, la que se estudia y da origen a los datos de la investigación (pág. 83)

De tal manera, nuestra población de estudio de la presente tesis, está constituida por la Subrasante de la carretera de Pumamarca perteneciente al distrito de San Sebastián del departamento de Cusco; estas constituidas por una longitud total de 9.00 kilómetros.

3.1.5.2 Muestra.

“Es un subconjunto fielmente representativo de la población, existen diferentes tipos de muestreo, y que el tipo de muestra que se seleccione dependerá de la calidad y cuán representativo se quiere ser en el estudio de la población para dicha investigación” (Palella & Martins, 2008)

La muestra de análisis está constituida del material suelo arcilloso con una cantidad de 100 kg., por 4 puntos de extracción de las calicatas excavadas de la Subrasante Pumamarca San Sebastián, las cuales, de estas muestras extraídas, fueron analizadas mediante un estudio de mecánica de suelos para conocer su propiedades físico – mecánicas en estado natural, para luego adicionar resina de pino a porcentajes de 2 %, 4 % Y 6 %.

3.1.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

3.1.6.1 Técnica de Recolección de Datos

- Observación Directa

Son los mecanismos para acumular la información de un ambiente, la cual, radica en el proceso encaminado a distinguir determinadas teorías e hipótesis, usando métodos, técnicas e instrumentos adecuados y puntuales con la finalidad de obtener información empírica del fenómeno de estudio (Rojas, 2002).

3.1.6.2 Instrumentos de Recolección de Datos

Según (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) “preexisten variados instrumentos para asemejar y clasificar toda clase de variables y en ciertos casos puedes utilizar varias técnicas para la recolección de los datos”.

Se utilizó instrumentos de recolección de datos como:

- Formatos de control / fichas de trabajo / observación.

Tabla 10. *Formato para la extracción de muestras*

FICHA PARA EXTRACCION DE MUESTRAS					
TESIS: " MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN,					
					FECHA:
UBICACIÓN					
PROGRESIVA					
LADO DE CALZADA					
CALICATA N°					
PROFUNDIDAD DE CALICATA					
PESO DE MUESTRA EXTRAIDO					
ANOTACIONES / OBSERVACIONES					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. *Formato para datos de densidad in situ*

FICHA DE TOMA DE DATOS DE DENSIDAD DE CAMPO INSITU					
TESIS: " MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN,					
					FECHA:
DENSIDAD N°					
PROGRESIVA					
NIVEL (BASE, SUB BASE, SUB RAZANTE)					
PESO FRASCO + CONO + ARENA					
PESO DEL SUELO EXTRAIDO					
PESO RESIDUEAL + FRASCO + ARENA					
PESO DE GRAVA RET. TAMIZ 3/4"					
% HUMEDAD SPEEDY					
ANOTACIONES / OBSERVACIONES					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Formato para el procesamiento del contenido de humedad natural

DATOS DE LA MUESTRA HUMEDAD NATURAL				
MUESTRA	:			
PROF. (m)	:			
Nº ENSAYOS				
Nº TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)				
PESO TARRO + SUELO SECO (g)				
PESO DE AGUA (g)				
PESO DEL TARRO (g)				
PESO DEL SUELO SECO (g)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Formato para el procesamiento del contenido líquido y Límite plástico

LÍMITE LÍQUIDO				
Nº TARRO				
TARRO + SUELO HUMEDO				
TARRO + SUELO SECO				
AGUA				
PESO DEL TARRO				
PESO DEL SUELO SECO				
% DE HUMEDAD				
Nº DE GOLPES				

LÍMITE PLÁSTICO				
Nº TARRO				
TARRO + SUELO HUMEDO				
TARRO + SUELO SECO				
AGUA				
PESO DEL TARRO				
PESO DEL SUELO SECO				
% DE HUMEDAD				

Fuente: Elaboración propia

3.1.7 Validez

Según Arias (2020), “definen la validez, como el grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende validar”.

La validez, es importante en la medición de fenómenos subjetivos de las ciencias sociales, en ingenierías, y particularmente en ingeniería civil, hacer validar resultados mediante especialistas conocedores del tema durante la ejecución de los ensayos y resultados de experimentos, está conformada por un ingeniero civil colegiado y habilitado. Por tanto, no es necesario hacer un análisis de validez de los instrumentos.

Este estudio de investigación, se realizó en el laboratorio PACHATUSAN (laboratorio particular), Laboratorio de estudio de mecánica de suelos y pavimentos certificado, ya que permitió el acceso, en esta difícil época de Pandemia y, además, porque cuenta con los equipos calibrados necesario para este estudio.

La validez y la confiabilidad también lo precisa como una medición de una variable que es evaluada en un instrumento.

Tabla 14. *Tabla Rangos de validez*

Rango de validez	Interpretación
0.81 – 1.00	Muy alta
0.61 – 0.80	Alta
0.41 – 0.60	Medio
0.21 – 0.40	Baja
0.00 – 0.20	Muy baja

Fuente: Elaboración propia

3.1.8 Confiabilidad

Tabla 15. *Tabla Rangos de confiabilidad*

Rango de confiabilidad	Interpretación
0.81 – 1.00	Muy alta
0.61 – 0.80	Alta
0.41 – 0.60	Medio
0.21 – 0.40	Baja
0.00 – 0.20	Muy baja

Fuente: Elaboración propia

3.1.9 Aspectos éticos

Se realizaron las citaciones y referencias, empleado la norma ISO 690-2 que permitió el cumplimiento de las directrices básicas para la preparación de esta tesis, con una información exacta.

3.2 Materiales y Métodos (aplicación de la ingeniería)

3.2.1 Materiales y Procedimiento realizado.

Los materiales empleados son la resina de pino natural, suelos arcillosos, y los procedimientos realizados para esta experimentación consta de varias etapas, estos realizados en referencia al manual de carreteras por el MTC y de la ASTM para el estudio de mecánica de suelos. A continuación, se menciona las etapas del procedimiento.

Etapla 1: Obtención de Resina de pino natural.

Se realizó la adquisición de este insumo natural en una cantidad de 8 kilos de resina de pino natural (colofonia) en estado seco endurecido – pegajoso, de la empresa PINOTIDOL, ubicada en el valle sagrado de los incas Cusco.



Figura 8. Resina de Pino natural (colofonia)

Fuente: Elaboración propia.

Etapla 2: Molienda y tamizado de la resina de pino.

Ya obtenido la resina de pino natural, se procedió al triturado mediante un molino manual, luego se procedió a tamizar en la malla Nro. 40 para el mezclado – adición de la resina de pino al suelo arcilloso, se empleó el material pasante de la malla Nro. 40

Etapla 3: Exploración y extracción de muestras de suelo arcilloso.

se realizó la verificación de la carretera para su posterior levantamiento topográfico. Se realizó el levantamiento topográfico a lo largo de todo el tramo de carretera, para esto se usó GPS, Wincha y Estación Total.

Identificado la zona de estudio, se procedió a la extracción de muestras de suelo de las calicatas excavadas en la carretera Pumamarca – San Sebastián, estas en bolsas de plástico y protegidas en saquillos de arroz, las muestras adquiridas fueron de 100 kg por calita.

Etapla 4: Estudio de mecánica de suelos

Con las muestras de suelos adquiridos, se procedió a realizar el estudio de mecánica de suelos para conocer sus características físico – mecánicas de las muestras de suelo, adquiridas mediante los ensayos básicos y con referencia al manual de ensayos y de carreteras del Ministerio de Transportes y comunicaciones con los siguientes ensayos: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO, CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL, LIMITES DE ATTERBERG, PROCTOR MODIFICADO Y CBR. De estos ensayos, se determinó el limite líquido y plástico, granulometría; siguiendo los pasos de las

normas respectivas: Clasificación de Suelos (SUCS) ASTM D – 2487, Clasificación de Suelos (AASHTO) ASTM D – 3282 y Granulometría ASTM D-422.

Etap 5: Adición, combinación y dosificación de la resina de pino a las muestras de suelo arcilloso.

Ya con los resultados obtenidos del estudio de mecánica de suelos y conociendo ya sus características físico - mecánicas de las muestras patrón; se procedió a realizar la combinación de la resina de pino molido con el suelo arcilloso, esto en relación al peso de muestras del suelo arcilloso a porcentajes de 2%, 4%, y 6%.

Tabla 16. Dosificación de resina de pino natural

Ensayo	G1 (Muestra Patrón)		G2		G3		G4	
	suelo arcilloso al 100%	resina de pino al 0 %	suelo arcilloso al 98 %	resina de pino al 2%	suelo arcilloso al 96 %	resina de pino al 4%	suelo arcilloso al 94 %	resina de pino al 6%
Ensayo granulométrico	1174.0 gr	0.0 gr						
Ensayo de contenido de humedad	1438.0 gr	0.0 gr						
Ensayo Límites de consistencia	70.5 gr	0.0 gr						
Ensayo de proctor modificado	6970.0 gr	0.0 gr	6985.0 gr	139.7 gr	7000.0 gr	280.0 gr	6960.0 gr	417.6 gr
Ensayo de CBR	11750.0 gr	0.0 gr	11865.0 gr	237.3 gr	11800.0 gr	472.0 gr	11740.0 gr	704.4 gr
Densidad in situ (método cono de arena calibrada)	0.0 gr	0.0 gr	30500.0 gr	610.0 gr	30600.0 gr	1224.0 gr	30650.0 gr	1839.0 gr

Fuente: elaboración propia

Etap 6: Ensayos de laboratorio con las muestras combinadas con resina de pino.

Teniendo las combinaciones del suelo arcilloso con resina de pino, se procedió a realizar 03 ensayos de proctor modificado, estos con adición al 2%, 4%, 6% para ver la varianza de densidades máxima y humedad óptima. Posterior a ello, se realizó 03 ensayos de CBR con las muestras combinadas al 2%,4%,6%.

Etap 7: Ensayos de campo in – situ con las muestras combinadas con resina de pino.

Se ha procedido a realizar la compactación con apisonador manual en 03 áreas de longitudes de 1m. x 1m. x espesor de .020 m. de las muestras combinadas al 2%, 4% y 6%; estas controlando las densidades secas máxima y humedad óptima según el ensayo de proctor modificado.

Teniendo las superficies Subrasante compactada, se realizó el ensayo de densidad de campo in situ, mediante el cono con arena calibrada; esto, para ver el grado de compactación.

Etapas 8: Trabajo de gabinete y procesamiento de datos.

Luego de desarrollarse los trabajos de laboratorio y campo, con los resultados de cada uno de los especímenes y muestras, con adiciones de resina de pino, se realizó el procesamiento de la información en gabinete, en el cual, se desarrollaron los cálculos e interpretación de resultados para verificar la hipótesis planteada.

3.2.2 Métodos de análisis de Datos

Para un mejor entendimiento y análisis de interpretación de datos, se efectuó los gráficos con el software Microsoft Excel, de tal manera, que se validó los resultados mediante la prueba tukey a través del programa IBM SPSS Statistics 25.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción y características del tramo de estudio.

4.1.1 Localización del Área de estudio

El lugar donde se realizó la exploración de suelo y experimentación con adición de resina de pino, fue en la carretera Pumamarca, situado en la Región de Cusco, Provincia de Cusco, Distrito de San Sebastián, Comunidad de Pumamarca; con las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud Sur :13° 30' 12.2" S (-13.50338950000)

Longitud Oeste :71° 55' 34.8" W (-71.92634642000)

Altitud :3550 m s. n. m.

4.1.2 Acceso del área de estudio

La zona de indagación tiene dos accesos; El primero se accede por la parte Sur, por la prolongación de la avenida de la Cultura, vía Cusco-San Jerónimo y otro, por la parte norte, por la vía Cusco-Pisaq

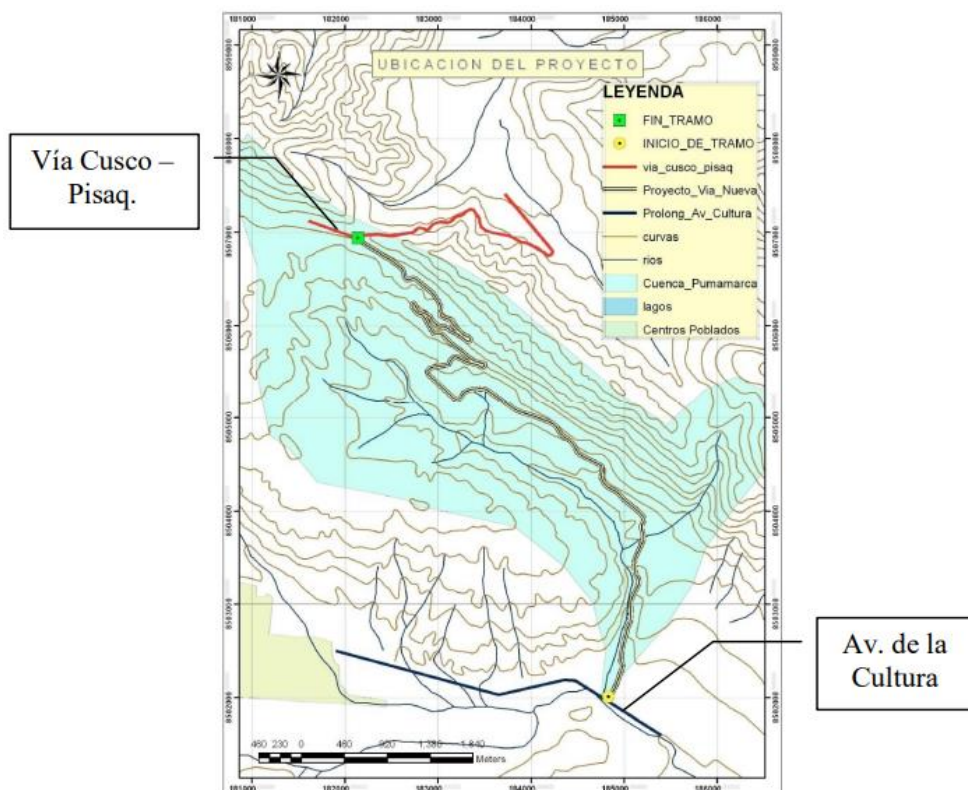


Figura 9. Mapa de accesibilidad al lugar de estudio

4.1.3 Geología

Los elementos geológicos de esta zona, han sido objeto de amplias investigaciones por parte de especialistas como geólogos, geógrafos y otros, para poder manifestar y explicar cómo ha sido la evolución y formación del valle del Cusco, a través del transcurso del tiempo, encontrando dos los hechos importantes que marcan la trascendencia desde el punto de vista geológico, uno de ellos es la formación denominada Yuncaypata, que corresponde al Pleistoceno. Este afloramiento de roca caliza, surge desde Sacsayhuamán, y se visualiza a lo largo del circuito, con enormes bloques de rocas que fueron empleadas para las construcciones incas de la zona. El segundo hecho se refiere a los suelos predominantes: como son las areniscas, humíferas, hidromórficas y arcillosa; distribuidas en pendientes moderadas y de formas suaves, que nos indican un antiguo desgaste, principalmente situados en el poblado de la Comunidad de Pumamarca; determinando el lecho de lo que fue el antiguo Lago Morkill. Para la determinación geológica del Proyecto, se utilizó el Boletín Nro. 52 del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - Geología de los Cuadrángulos de Cusco y Livitaca 28-s y 29-s, delimitada por las coordenadas: Longitud Oeste 71°30' - 72°00' y Latitud Sur 13°30' - 14°30', de donde se evidencia que la Comunidad de Pumamarca se encuentra en el Grupo de Formación Moho (Cusi, 2012)

Para el área del Cusco, Gregory H (1916) introdujo el término de calizas, Yucay para los calcáreos. Kalafatovich V. (1975) propone el nombre de Formación Yuncaypata diferenciando tres tipos de calizas e inclusive capas rojas. Gabelman J. Y Jordan V. (1964) emplearon el término de Formación Yuncaypata, diferenciando dos miembros de calizas: Sacsayhuaman para el superior y Cachimayoc para el inferior; seguidamente Córdova E. y Mercado E. (1983), Carlotto V., Candia F. y Marocco R. (1988) usan la denominación de Formación Yuncaypata, diferenciando tres unidades; mientras que para el área de Puno y Sicuani Newell N. (1945), Audebaud E. (1973) y Klinck B. (1991).

4.1.4 Hidrología

La zona de investigación se sitúa ubicada en la Sub Cuenca del Río Huatanay, siendo las micro cuencas de Cachimayo, Teneria y Pumamarca los afluentes de dicha junta de agua; éstos, están presentes en la margen izquierda, en la margen derecha se presenta la micro cuenca de Huillcarpay o Tancarpata como principales aportantes. La micro cuenca del Pumamarca, cuenta con un área de 13.67 km², con una longitud de recorrido del cuerpo de agua de 6.1 km, con un caudal promedio de 13.5 l/s. Esta cuenca, es una de las más representativas del área del distrito de San Sebastián. (Cusi, 2012)

4.1.5 Clima

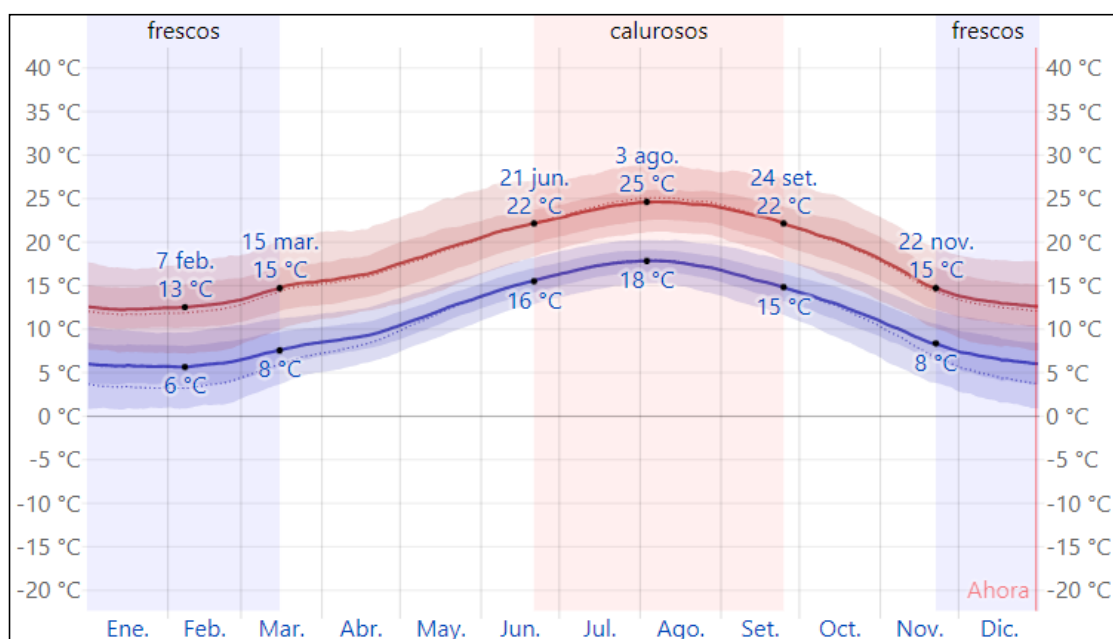


Figura 10. Temperatura máxima y mínima promedio en San Sebastián-Pumamarca.

Nota: La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes (weatherspark, 2022)

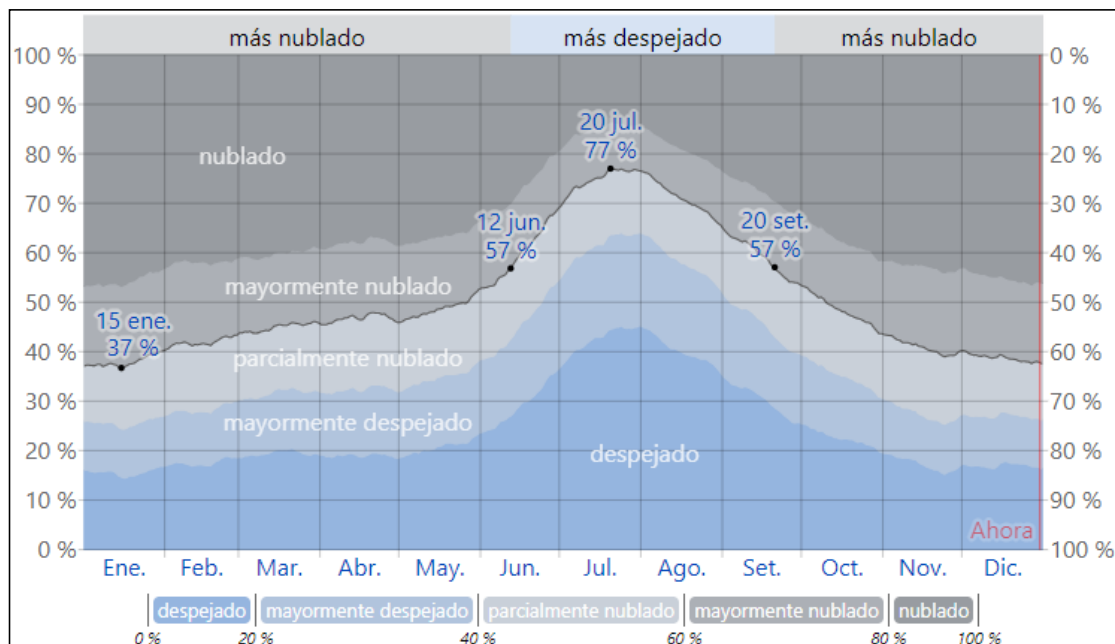


Figura 11. Categorías de nubosidad en San Sebastián-Pumamarca.

Nota: El porcentaje de tiempo pasado en cada banda de cobertura de nubes, categorizado según el porcentaje del cielo cubierto de nubes (weatherspark, 2022)



Figura 12. Probabilidad diaria de precipitación en San Sebastián-Pumamarca.

Nota: El porcentaje de días en los que se observan diferentes tipos de precipitación, excluidas las cantidades ínfimas: solo lluvia, solo nieve, mezcla (llovió y nevó el mismo día) (weatherspark, 2022)

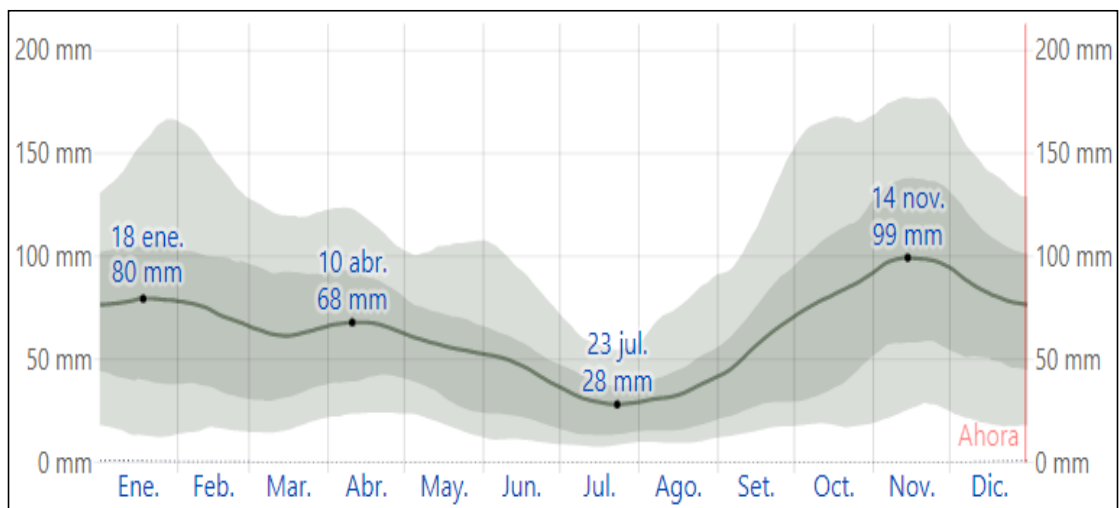


Figura 13. Promedio mensual de lluvia en San Sebastián-Pumamarca.

Nota: La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo de 31 días en una escala móvil, centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°. La línea delgada punteada es la precipitación de nieve promedio correspondiente (weatherspark, 2022)

4.2 Presentación de resultados.

Los resultados de la tesis Mejoramiento de las Propiedades Mecánicas del Suelo Arcilloso con Resina de Pino de la Subrasante de Carretera Pumamarca del Distrito de San Sebastián – Cusco, se realizaron en relación a los objetivos planteados de esta investigación, tales como se muestra en los siguientes apartados:

4.2.1 Resultados de las características físico-mecánicas del material en estado natural de la Subrasante de la carretera Pumamarca.

Tabla 17. Análisis granulométrico de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.

MUESTRA : M - 1		CALICATA : C-1				
PROF. (m) : 0,00 - 1,50						
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO TOTAL SECO = 1174.0 gr
2 1/2"	63.500	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO LAVADO = 402.0 gr
2"	50.800	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO FINO = 772.0 gr
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE LIQUIDO = 42.21 %
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE PLASTICO = 24.61 %
3/4"	19.100	27.26	2.3	2.3	97.7	INDICE PLASTICO = 17.60 %
1/2"	12.700	26.06	2.2	4.5	95.5	CLASF. AASHTO = A-7-6 (9)
3/8"	9.520	19.76	1.7	6.2	93.8	CLASF. SUCS = CL
1/4"	6.350	30.50	2.6	8.8	91.2	MAX. DENS. SECA = 1.678 gr/cc
# 4	4.760	22.10	1.9	10.7	89.3	HUMEDAD OPT. = 14.00 %
# 8	2.360	83.47	7.1	17.8	82.2	CBR AL 100% 0.1" = 4.63 %
# 10	2.000	7.22	0.6	18.4	81.6	CBR AL 95% 0.1" = 3.40 %
# 16	1.190	85.08	7.3	25.7	74.3	
# 30	0.600	55.54	4.7	30.4	69.6	
# 40	0.420	20.94	1.8	32.2	67.8	
# 50	0.300	19.53	1.7	33.8	66.2	
# 100	0.149	21.58	1.8	35.7	64.3	COLOR ESTANDAR = MARRON ROJIZO OSCURO
# 200	0.074	25.00	2.1	37.8	62.2	% Humd. Nat.
< # 200	FONDO	729.96	62.2	100.0		22.49
FRACCION		1,174.00	0.0		0.0	Coef. Uniformidad #####
TOTAL						Indice de consistencia
						Coef. Curvatura 0.0
						1.12
Descripción suelo:		Arcilla arenosa de baja plasticidad				Pot. de expansión
						Solido

Fuente: Elaboración propia.

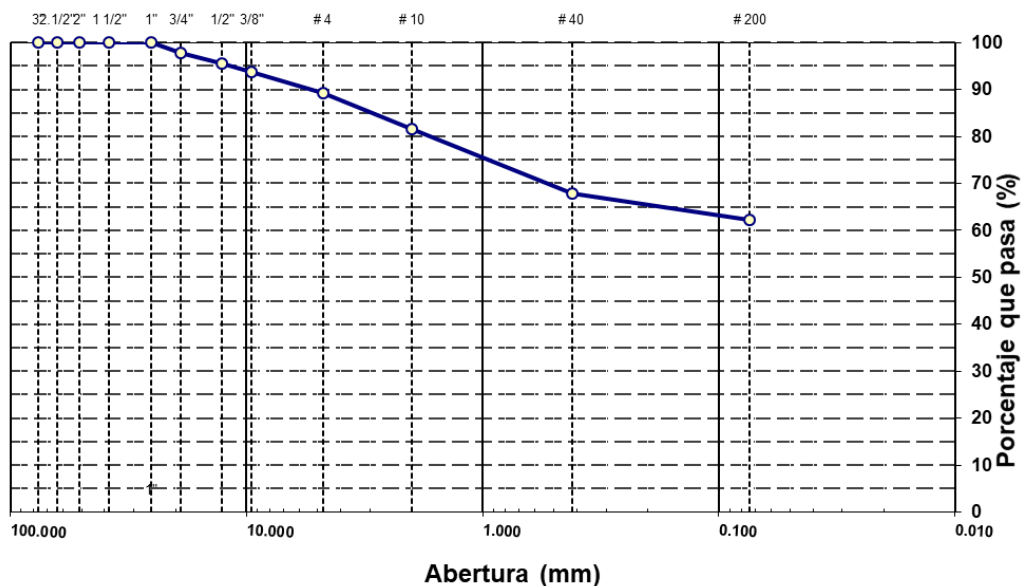


Figura 14. Curva granulométrica de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 17 y la figura 14, muestran el análisis granulométrico y su respectiva curva granulométrica de la muestra patrón del suelo arcilloso con 0% de resina de Pino, para la subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián. Los resultados obtenidos del porcentaje retenido y porcentaje que pasa por los tamices, se ha logrado clasificar mediante el sistema AASHTO. Las muestras tamizadas de suelo en el grupo A-7 y subgrupo A-7-6 por lo que el material que pasa por el tamiz #10, #40, #200, son mayores al 35%; la cual, en su gran porcentaje son suelos finos. Y según la clasificación SUCS, corresponde a la simbología de suelo CL correspondiente a un suelo de arcilla arenosa de baja plasticidad; así mismo, el suelo tiene un color estándar marrón rojizo oscuro.

Cabe mencionar que, a través del análisis de la distribución granulométrica, es posible obtener información importante como origen, propiedades mecánicas y calcular la abundancia de cada partícula, según su tamaño en la escala de distribución granulométrica.

Así mismo, del índice de grupo obtenido con los resultados de los tamices y los límites de consistencia, se obtuvo un IG=9, las cuales señala en el manual de (MC, 2013) y según la tabla 6 descrita, que aquellos índices de grupo mayores a 9 vendrían a clasificarse como una Subrasante muy pobre y aquellos índices de grupo que se encuentran entre valores del 4 al 9 son calificados como suelo de Subrasante Pobre

Tabla 18. *Contenido de Humedad Natural de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.*

DATOS DE LA MUESTRA				
MUESTRA	: M - 1	CALICATA	C-1	
PROF. (m)	: 0,00 - 1,50			
Nº ENSAYOS				PROMEDIO
Nº TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)	1438.00			
PESO TARRO + SUELO SECO (g)	1174.00			
PESO DE AGUA (g)	264.00			
PESO DEL TARRO (g)				
PESO DEL SUELO SECO (g)	1174.00			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	22.49			22.49

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 18, de las muestras de suelo extraídas de la calicata (C-1) a una profundidad de 1.50 m. indicado en el manual de carreteras, se ha logrado obtener un contenido de humedad del 22.49%.

Tabla 19. Límites de Atterberg de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.

para la Subestación de Carretera de la localidad de L'Amara, San Sebastián.

MUESTRA	: M - 1		CALICATA : C-1	
PROF. (m)	: 0,00 - 1,50			

LÍMITE LÍQUIDO				
Nº TARRO	T-1	T-2	T-3	
TARRO + SUELO HUMEDO	30.68	33.77	34.69	
TARRO + SUELO SECO	27.29	29.87	30.52	
AGUA	3.39	3.90	4.17	
PESO DEL TARRO	19.51	20.64	20.26	
PESO DEL SUELO SECO	7.78	9.23	10.26	
% DE HUMEDAD	43.57	42.25	40.64	
Nº DE GOLPES	13	25	52	

LÍMITE PLÁSTICO				
Nº TARRO	T-4	T-5		
TARRO + SUELO HUMEDO	39.88	34.36		
TARRO + SUELO SECO	37.45	33.10		
AGUA	2.43	1.26		
PESO DEL TARRO	27.74	27.89		
PESO DEL SUELO SECO	9.71	5.21		
% DE HUMEDAD	25.03	24.18		

Fuente: Elaboración propia.

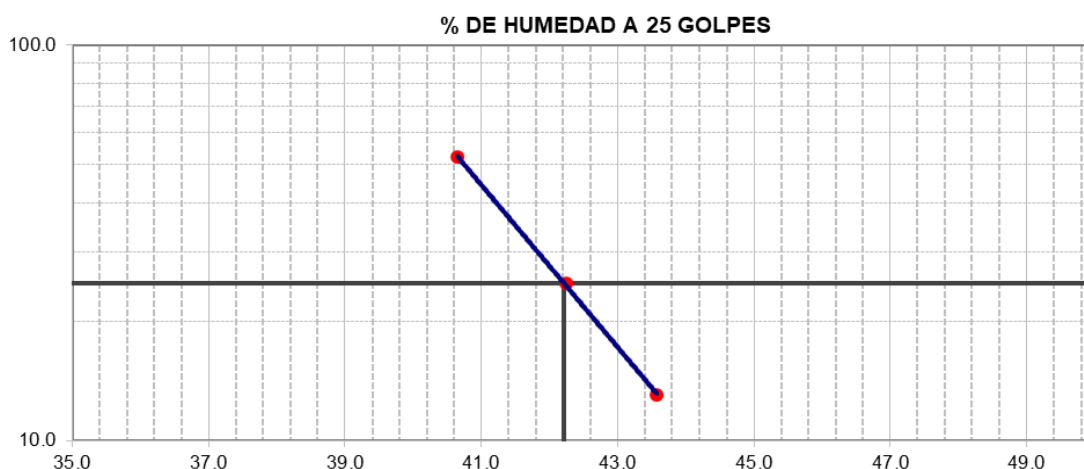


Figura 15. Curva granulométrica de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 19 y figura 15 de los ensayos realizado de límites de Atterberg, para la verificación del contenido de humedad y ver como la muestra de suelo, cambia de una consistencia a otra. Se obtuvieron los resultados del % de humedad de 13.57% de la muestra T-1, de la muestra T-2 se obtuvo una humedad del 42.25 % y de la muestra T-3 se obtuvo una humedad del 40.64% concerniente al límite líquido. Para el ensayo de limite plástico, se realizaron 02 muestras, las cuales, muestran que se consiguieron humedades del 25.03% y 24.18 %. De estas constantes físicas de las muestras de suelo, se obtuvo un límite líquido del 42.21, un límite plástico de

24.61 y de la diferencia de estos límites, se obtuvo un índice de plasticidad del 17.60; de tal manera como se muestra en la tabla 4 de la clasificación de suelo según índice de plasticidad del manual de carreteras; estas corresponden a una plasticidad media de característica suelos arcillosos.

Tabla 20. Prueba de proctor modificado de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.

MUESTRA : M - 1		CALICATA : C-1			
PROF. (m) : 0,00 - 1,50					
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) 944		PESO DEL MOLDE (gr.) : 4265			
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE		5949	6076	6027	5978
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO		1684	1811	1762	1713
PESO VOLUMETRICO HUMEDO		1.784	1.918	1.867	1.815
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.		10	11	12	13
PESO SUELO HUMEDO + TARA		307.10	306.20	310.70	306.30
PESO SUELOS SECO + TARA		275.00	266.60	264.80	256.80
PESO DE LA TARA		0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DE AGUA		32.10	39.60	45.90	49.50
PESO DE SUELO SECO		275.00	266.60	264.80	256.80
CONTENIDO DE AGUA		11.67	14.85	17.33	19.28
PESO VOLUMETRICO SECO		1.598	1.670	1.591	1.521
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.678	gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:		14.00

Fuente: Elaboración propia.

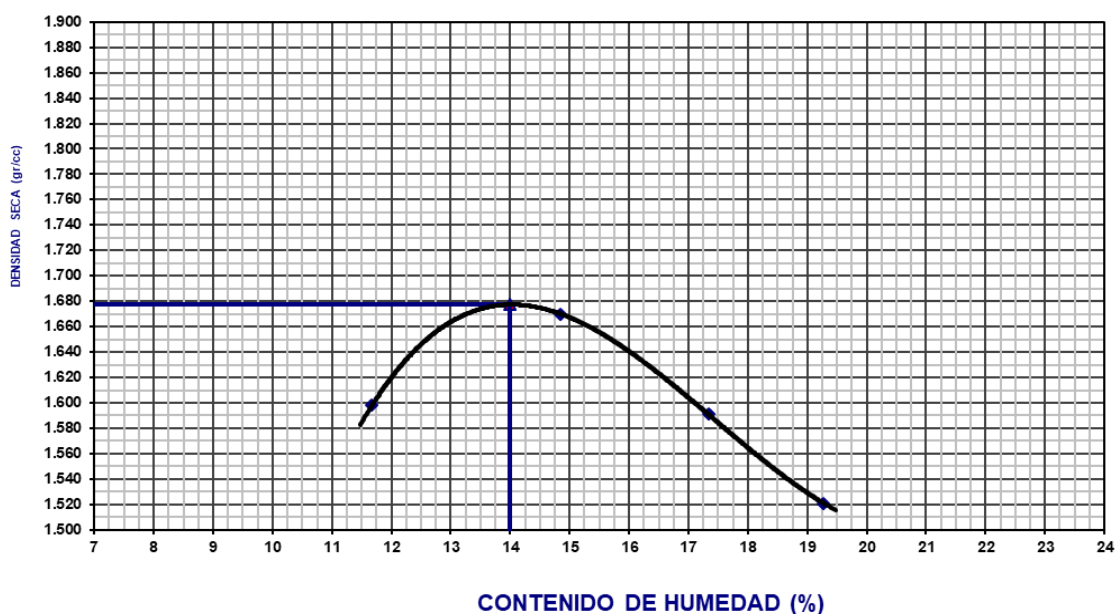


Figura 16. Curva de compactación de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.

Fuente: Elaboración propia.

Tal se aprecia en la tabla 20 y figura 16 los resultados del ensayo de laboratorio proctor modificado; se consiguieron una densidad seca máxima de 1.678 gr/cc y una humedad optima del 14.00%. Este ensayo se realizó con la finalidad de poder determinar en estado natural la relación de las densidad seca y humedad de compactación.

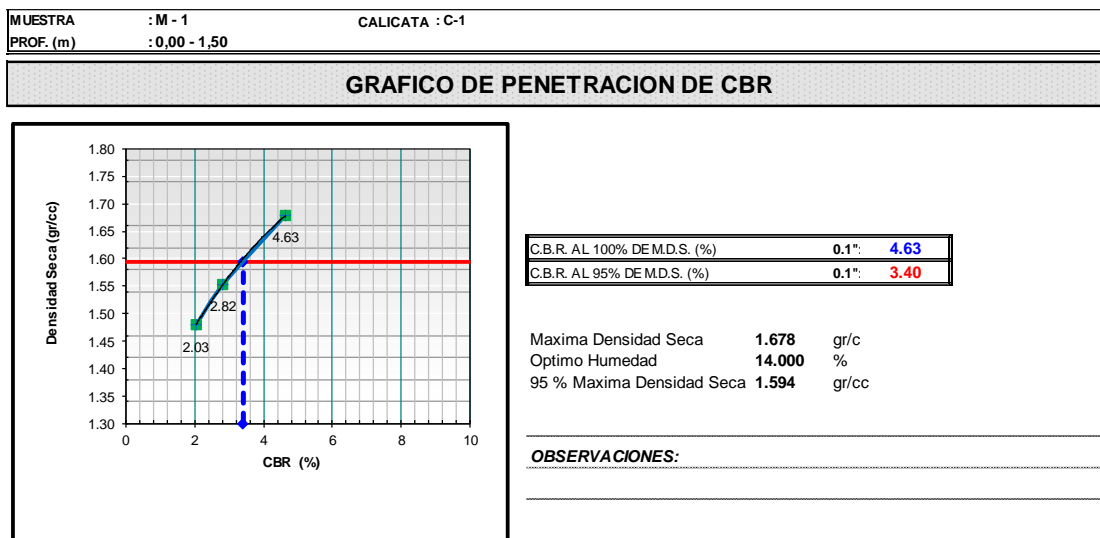


Figura 17. Gráfico de penetración CBR de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.
Fuente: Elaboración propia.

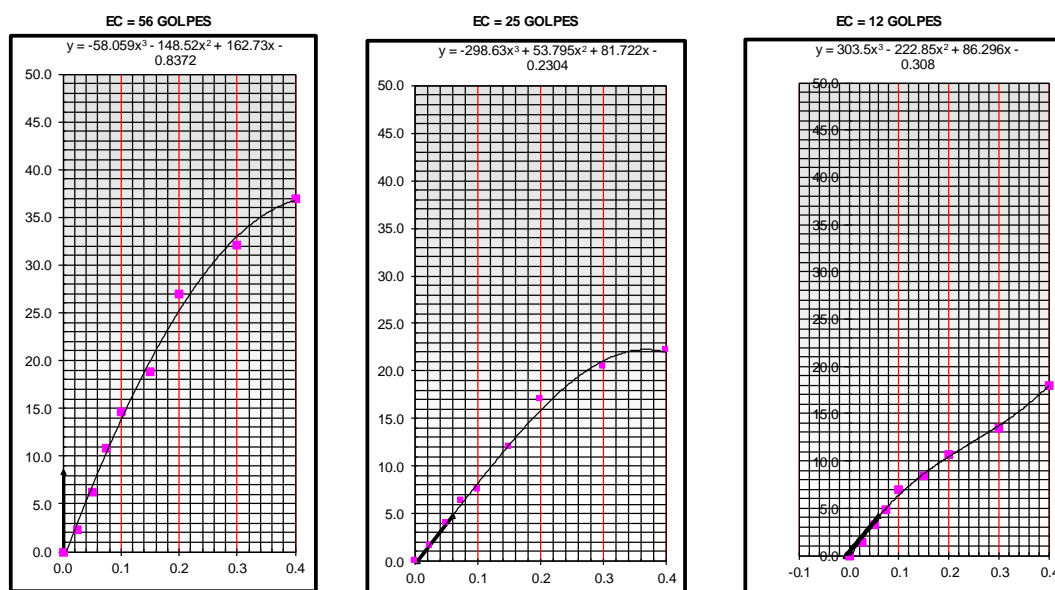


Figura 18. Curva de penetración CBR de la muestra del suelo arcilloso patrón con 0% de resina de Pino para la Subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca, San Sebastián.
Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de penetración CBR, como se evidencia en la figura 17 y 18, se puede llegar a la interpretación, que este tipo de suelo arcilloso tiene un CBR al 100% de su máxima densidad seca y al 0.1" un 4.63% y un CBR al 95% se obtuvo un 3.40%. Por tales resultados, se podría categorizar según el manual de carreteras y la tabla 8 descrita paginas anteriores que la Subrasante es Pobre.

4.2.2 Resultados de la influencia de la adición con resina de pino en la densidad seca máxima y humedad óptima en la subrasante de la carretera Pumamarca.

Tabla 21. Resultados – de la Densidad Máxima Seca (2% de adición de resina de pino)

Muestra (patrón 2% de adición)	DMS (Muestra Patrón)	DMS obtenido(gr/cc)	% Variación según DMS de la (Muestra Patrón)
1	1.678	1.705	1.58%
2	1.678	1.707	1.70%
3	1.678	1.704	1.53%
DMS promedio		1.71	1.60%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados que se obtuvieron de tres muestras con adición al 2 % de resina de pino natural, y someterlas dichas muestras al ensayo de proctor modificado y ver cuánto es la variación en la obtención de la densidad seca máxima, las cuales, para la muestra número 01 se obtuvo el valor del 1.705 gr/cc, para la muestra dos 1.707 gr/cc, y para la muestra tres 1.704 gr/cc. Obteniendo un promedio de 1.71 gr/cc de la densidad máximo de un suelo arcilloso adicionando resina de pino al 2 %, cabe mencionar que este valor es mayor que muestra patrón del proctor modificado.

Tabla 22. Resultados – de la Densidad Máxima Seca (4% de adición de resina de pino)

Muestra (patrón 4% de adición)	DMS (Muestra Patrón)	DMS obtenido(gr/cc)	% Variación según DMS de la (Muestra Patrón)
1	1.678	1.725	2.72%
2	1.678	1.724	2.67%
3	1.678	1.726	2.78%
DMS promedio		1.73	2.72%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados que se obtuvieron de tres muestras con adición al 4 % de resina de pino natural, y estas someterlas al ensayo de proctor modificado y ver cuánto es la variación en la obtención de la densidad seca máxima; las cuales para la muestra 01 de la tabla 8, se obtuvo el valor del 1.725 gr/cc, para la muestra dos 1.724 gr/cc, y para la muestra tres 1.726 gr/cc. Obteniendo un promedio de 1.73 gr/cc de la densidad máxima de un suelo arcilloso, adicionando resina de pino al 4 %, cabe mencionar que este valor es mayor al de la muestra patrón y con adición del 2%, del proctor modificado.

Tabla 23. Resultados – de la Densidad Máxima Seca (6% de adición de resina de pino).

Muestra (patrón 6% de adición)	DMS (Muestra Patrón)	DMS obtenido(gr/cc)	% Variación según DMS de la (Muestra Patrón)
1	1.678	1.730	3.01%
2	1.678	1.738	3.45%
3	1.678	1.737	3.40%
DMS promedio		1.74	3.28%

Fuente: Elaboración propia

Tal como se aprecia en la tabla 23, los resultados que se obtuvieron de 03 muestras con adición al 6 % de resina de pino natural, y estas sometidas al ensayo de proctor modificado y ver cuánto es la variación en la obtención de la densidad seca máxima, las cuales para la muestra 01, se obtuvo el valor del 1.730 gr/cc, para la muestra dos 1.738 gr/cc, y para la muestra tres 1.737 gr/cc. Obteniendo un promedio de 1.74 gr/cc de la densidad máxima de un suelo arcilloso adicionando resina de pino al 6 %; cabe mencionar que este valor es mayor al de la muestra patrón y con adición del 2%, del proctor modificado.

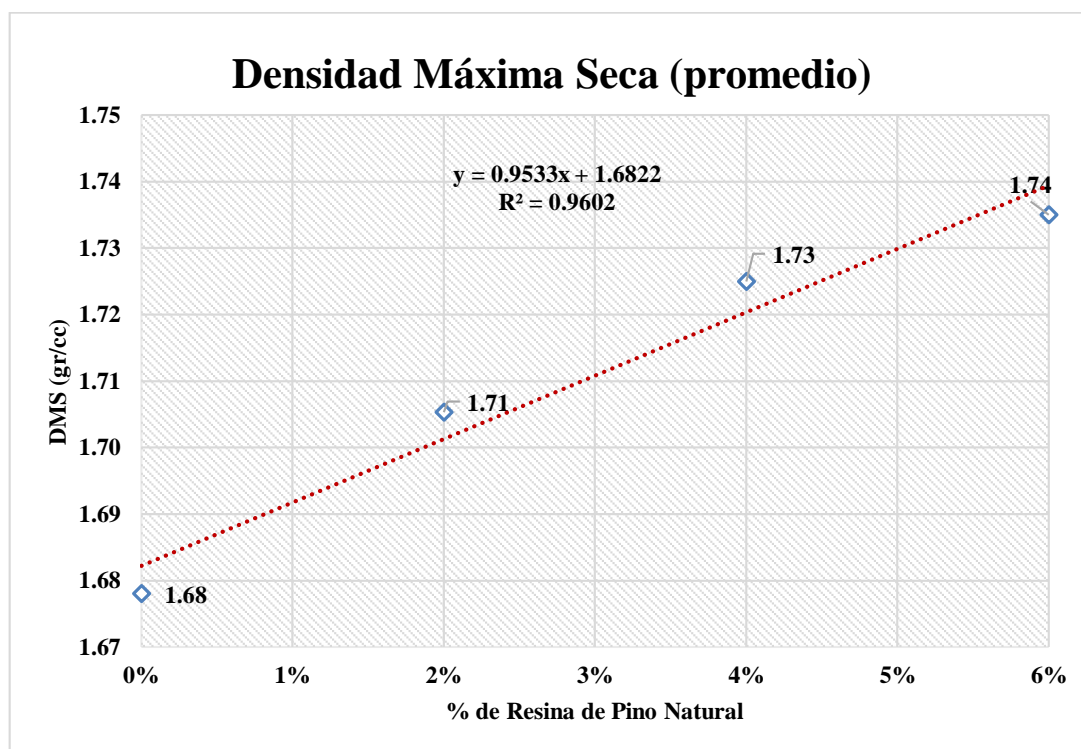


Figura 19. Densidad Máxima Seca Promedio

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Resumen promedio – de la Densidad Máxima Seca (Proctor modificado).

Muestras con % de adición de Resina de Pino Natural				
Unidad	0% patrón	2%	4%	6%
DMS (gr/cc)	1.678	1.705	1.725	1.735
% Variación según resultado de proctor patrón	0.00%	1.60%	2.72%	3.29%

Fuente: Elaboración propia

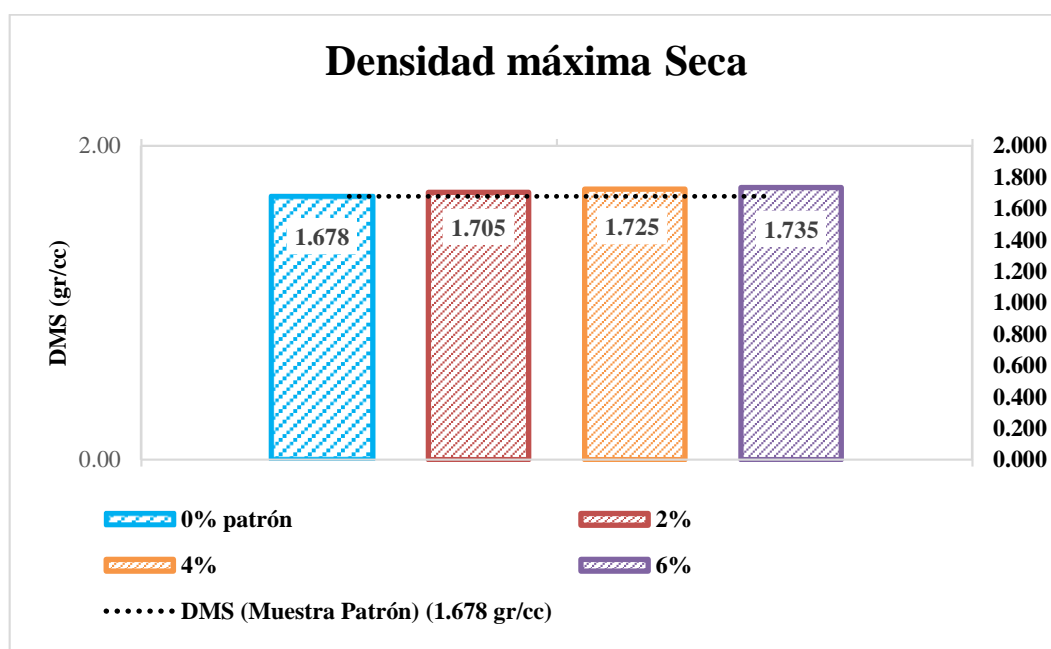


Figura 20. Evolución de la Densidad Máxima Seca

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 19, tabla 24 y figura 20, donde se evidencia el comportamiento gráficamente de la densidad seca máxima adicionando el 0%(patrón), 2%, 4% y 6% de resina de pino natural. Donde este tiene un comportamiento ascendente, ya que aumenta de valor la densidad máxima seca del suelo; las mismas que se obtienen partiendo de una densidad del 1.678 gr/cc y alcanzado a un valor máximo de 1.735 gr/cc.

Tabla 25. Resultados – del Contenido de Humedad optimo (2% de adición de resina de pino)

Muestra (patrón 2% de adición)	CHO (Muestra Patrón)	CHO obtenido(gr/cc)	% Variación según CHO de la (Muestra Patrón)
1	14.00	14.65	4.44%
2	14.00	14.75	5.08%
3	14.00	14.55	3.78%
CHO promedio		14.65	4.43%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados que se obtuvieron, como se evidencian en la tabla 25; de las tres muestras con adición al 2 % de resina de pino natural, las cuales fueron sometidas al ensayo de proctor modificado y ver cuánto es la variación del contenido de humedad óptimo; dieron como resultado: Para la muestra 01 se obtuvo el valor del 14.65 %, para la muestra 02 una humedad óptima del 14.75%, y para la muestra 03, un valor del CHO de 14.55 %. Obteniendo un promedio de 14.65 % del contenido óptimo de humedad del suelo arcilloso adicionando resina de pino al 2 %.

Tabla 26. *Resultados – del Contenido de Humedad optima (4% de adición de resina de pino)*

Muestra (patrón 4% de adición)	CHO (Muestra Patrón)	CHO obtenido(gr/cc)	% Variación según CHO de la (Muestra Patrón)
1	14.00	13.80	-1.45%
2	14.00	14.00	0.36%
3	14.00	13.60	-3.31%
CHO promedio		13.80	-1.47%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados que se obtuvieron en la tabla 26, de las tres muestras con adición al 4 % de resina de pino natural, que fueron sometidas al ensayo de proctor modificado para ver cuánto es la variación del contenido de humedad óptimo. Las cuales evidencian, que para la muestra 01, se obtuvo el valor del 13.80%, para la muestra 02 una humedad óptima del 14.00%, y para la muestra 03 un valor del CHO de 13.60 %. Obteniendo un promedio de 13.80 % del contenido óptimo de humedad del suelo arcilloso adicionando resina de pino al 4 %; así mismo, de la variación en porcentaje según el contenido de humedad óptimo de la muestra patrón, hay una variación del -1.47%; ya que el valor de la humedad disminuye.

Tabla 27. *Resultados – del Contenido de Humedad optimo (6% de adición de resina de pino)*

Muestra (patrón 6% de adición)	CHO (Muestra Patrón)	CHO obtenido(gr/cc)	% Variación según CHO de la (Muestra Patrón)
1	14.00	13.65	-2.56%
2	13.95	13.55	-2.95%
3	14.05	13.75	-2.18%
CHO promedio		13.65	-2.57%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos en la tabla 27, de las tres muestras con adición al 6 % de resina de pino natural, sometidas al ensayo de proctor modificado y ver cuánto es la variación del contenido de humedad óptimo. Dieron como resultado: Para la muestra 01, se obtuvo el valor del 13.65%, para la muestra 02, una humedad óptima del 13.55%, y para la muestra 03, un valor

del CHO de 13.75 %; obteniendo un promedio de 13.65 % del contenido óptimo de humedad del suelo arcilloso adicionando resina de pino al 6 %.

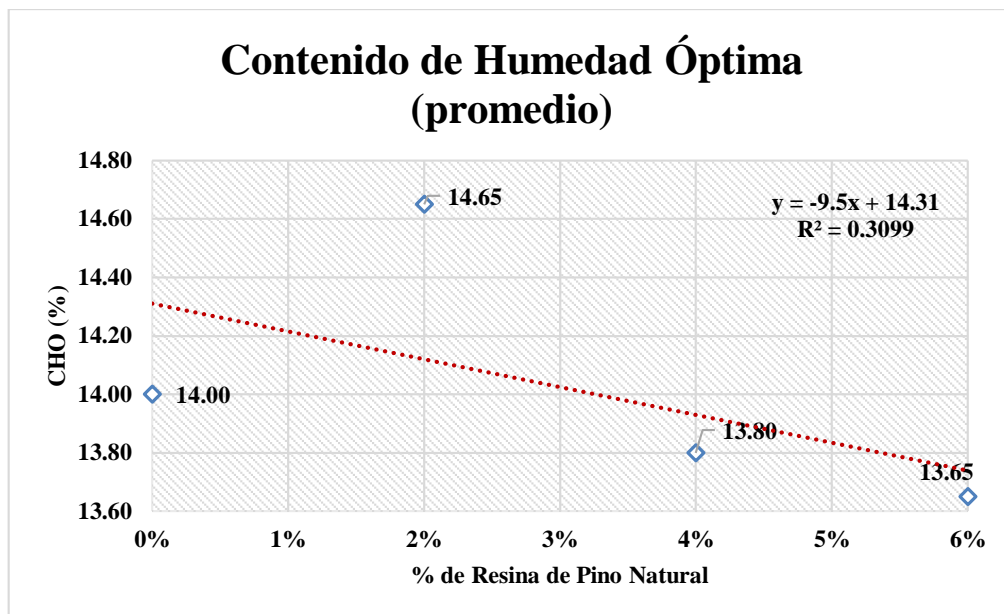


Figura 21. Contenido de Humedad Óptima Promedio
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Resumen promedio – del Contenido de Humedad Óptimo (Proctor modificado).

Muestras con % de adición de Resina de Pino Natural				
Unidad	0% patrón	2%	4%	6%
CHO (%)	14.00	14.65	13.80	13.65
% Variación según resultados de proctor (muestra patrón)	0.00%	4.44%	-1.45%	-2.56%

Fuente: Elaboración propia

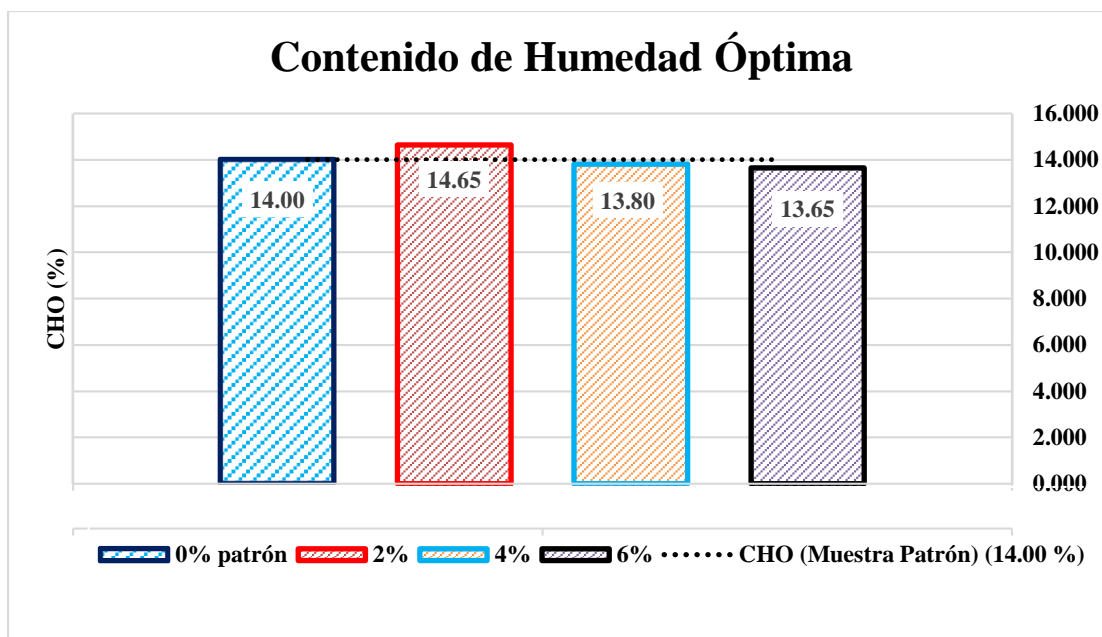


Figura 22. Evolución del Contenido de Humedad Óptima
Fuente: Elaboración propia.

De la figura 21, de la gráfica de dispersión, podemos visualizar que el contenido de humedad óptimo disminuye de la muestra patrón, así mismo. En la tabla 28 y figura 22, el porcentaje de variación de resina de pino al 2% aumenta a un 4.4% de variación de la muestra patrón y para la adición del 4% y 6%, estas disminuyen el porcentaje de variación en -1.45% y 2.56%. Las cuales en la figura 17 del histograma del contenido de humedad, se evidencia que a partir de la adición del 4 % de resina de pino natural disminuye el contenido de humedad óptimo, partiendo estas desde un 14.00% d CHO a 13.65 % de CHO.

4.2.3 Resultados de la influencia de la adición con resina de pino en la relación de soporte california de la subrasante de la carretera Pumamarca.

Tabla 29. Resultados – de la Relación de Soporte California (2% de adición de resina de pino)

Muestra (patrón 2% de adición)	CBR (Muestra Patrón)	CBR obtenido (%)	% Variación según CBR de la (Muestra Patrón)
1	4.63	6.75	31.41%
2	4.63	7.00	3.86%
3	4.63	6.50	28.77%
CBR promedio		6.75	31.354%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados que se obtuvieron en la tabla 15, de las tres muestras con adición al 2 % de resina de pino natural, sometidas al ensayo de Relación de Soporte California y ver cuánto es la variación del CBR. Es así, que para la muestra 01, se obtuvo el valor del 6.75%, para la

muestra 02, un CBR del 7.00%, y para la muestra 03 un valor del CBR de 6.50%; obteniendo un promedio de 6.75 % de CBR al (100% de la M.D.S. a 0.1”)

Tabla 30. *Resultados – de la Relación de Soporte California (4% de adición de resina de pino)*

Muestra (patrón 4% de adición)	CBR (Muestra Patrón)	CBR obtenido (%)	% Variación según CHO de la (Muestra Patrón)
1	4.63	10.32	55.14%
2	4.63	10.50	55.90%
3	4.63	10.15	54.38%
CBR promedio		10.32	55.16%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados que se obtuvieron en la tabla 30, de las tres muestras con adición al 4 % de resina de pino natural, y estas sometidas al ensayo de Relación de Soporte California para ver cuánto es la variación del CBR. Se observa que para la muestra 01, se obtuvo el valor del 10.32%, para la muestra 02, un CBR del 10.50%, y para la muestra 03 un valor del CBR de 10.15%; obteniendo un promedio de 10.32 % de CBR al (100% de la M.D.S. a 0.1”)

Tabla 31. *Resultados – de la Relación de Soporte California (6% de adición de resina de pino)*

Muestra (patrón 6% de adición)	CBR (Muestra Patrón)	CBR obtenido (%)	% Variación según CBR de la (Muestra Patrón)
1	4.63	9.93	53.37%
2	4.63	9.95	54.47%
3	4.3	9.90	53.23%
CBR promedio		9.93	53.36%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados que se obtuvieron en la tabla 31, de las tres muestras con adición al 6 % de resina de pino natural, y someterlas al ensayo de Relación de Soporte California para ver cuánto es la variación del CBR. De esta forma, para la muestra 01, se obtuvo el valor del 9.93%, para la muestra 02, un CBR del 9.95%, y para la muestra 03 un valor del CBR de 9.90% obteniendo un promedio de 9.93 % de CBR al (100% de la M.D.S. a 0.1”).

De la figura 18, del diagrama de dispersión de las muestras experimentadas con resina de pino al 0%, 2%, 4%, 6, se evidencia que el mayor valor obtenido del CBR es cuando se le adiciona el 4% de resina de pino natural; este llegando a un CBR del 10.32%.

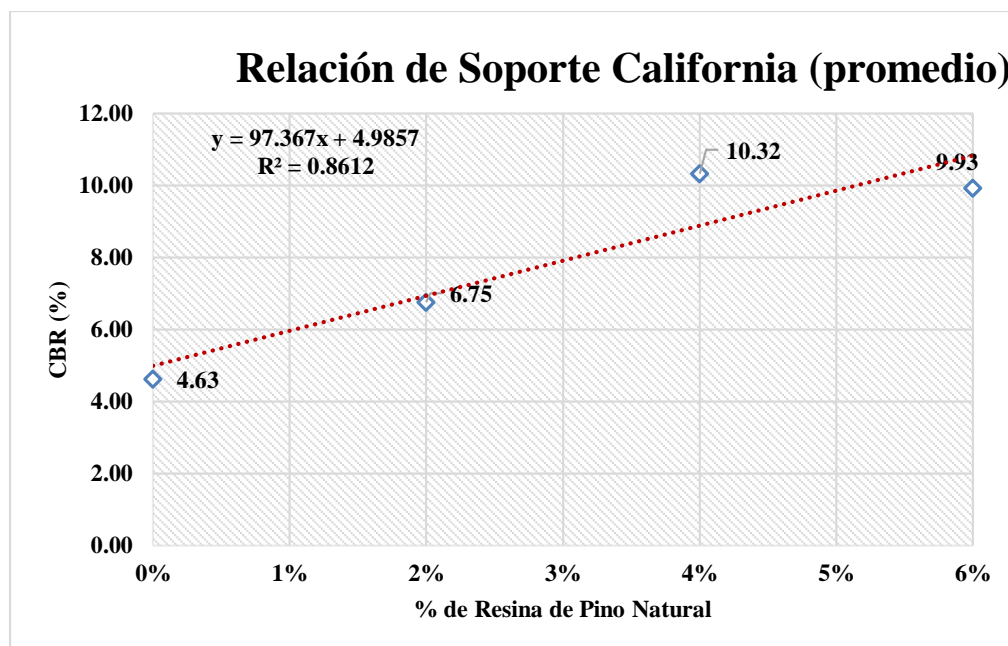


Figura 23. Relación de Soporte californiana Promedio
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Resumen promedio – Relación de Soporte California (CBR).

Muestras con % de adición de Resina de Pino Natural				
Unidad	0% patrón	2%	4%	6%
CBR (%)	4.63	6.75	10.32	9.93
% Variación según resultados de cbr (muestra patrón)	0.00%	31.46%	55.18%	53.39%

Fuente: Elaboración propia

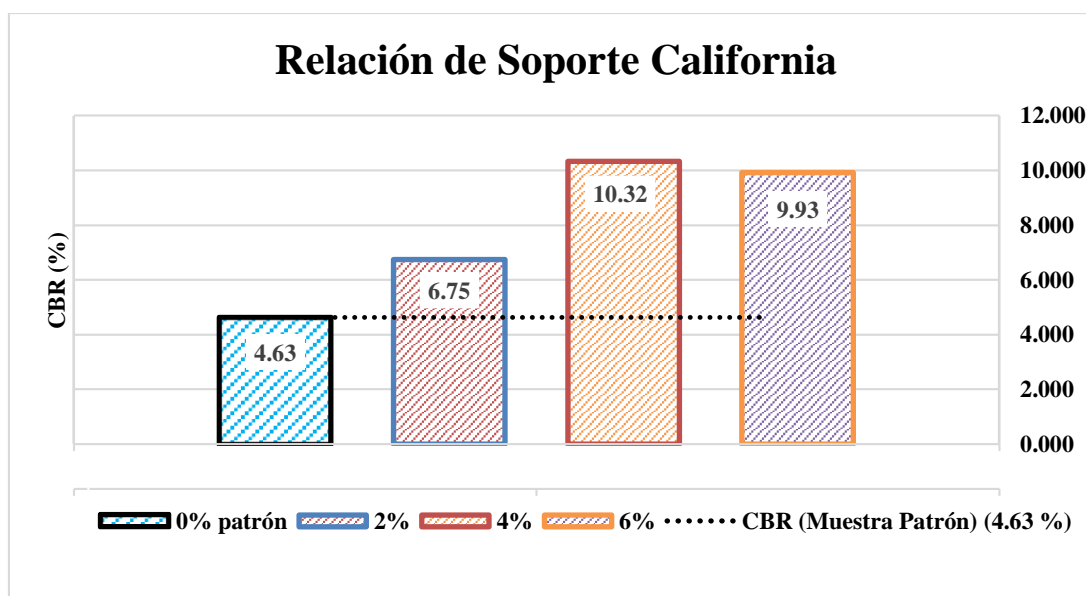


Figura 24. Evolución del CBR (Relación de Soporte California)
Fuente: Elaboración propia.

De la figura 24, del histograma realizado de los resultados promedios de adición con resina de pino a diferentes porcentajes, se visualiza, que a partir de la adición con el 2% de resina de pino, estas aumentan considerablemente el porcentaje del CBR; iniciando con un valor del 4.63% de relación de soporte y alcanzando como máximo al 10.32% de relación de soporte con el 4% de adición. Así mismo, este valor corresponde a un promedio de variación del 55.18% de la muestra patrón.

4.2.4 Resultados de la influencia de la adición de resina de pino en el grado de compactación in situ en la subrasante de la carretera Pumamarca.

Tabla 33. Resultados – del grado de compactación (2% de adición de resina de pino)

Muestra (patrón 2% de adición)	GC (Muestra Patrón)	GC obtenido (%)	% Variación según GC de la (Muestra Patrón)
1	85.00	90.20	5.76%
2	85.00	89.50	5.03%
3	85.00	90.90	6.49%
GC promedio		90.20	5.79%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados que se obtuvieron en la tabla 33, de las tres muestras con adición al 2 % de resina de pino natural, sometidas al ensayo de densidad in situ con arena calibrada y ver cuánto es la variación del grado de compactación en campo; las cuales evidencian que para la muestra 01, se obtuvo el valor del 90.20%, para la muestra 02, un 89.50%, y para la muestra 03 un valor de 90.90%; obteniendo un promedio de 90.20 del porcentaje de compactación obtenido.

Tabla 34. Resultados – del grado de compactación (4% de adición de resina de pino)

Muestra (patrón 4% de adición)	GC (Muestra Patrón)	GC obtenido (%)	% Variación según GC de la (Muestra Patrón)
1	85.00	95.18	10.70%
2	85.00	95.10	10.62%
3	85.00	95.27	10.78%
GC promedio		95.18	10.70%

Fuente: Elaboración propia

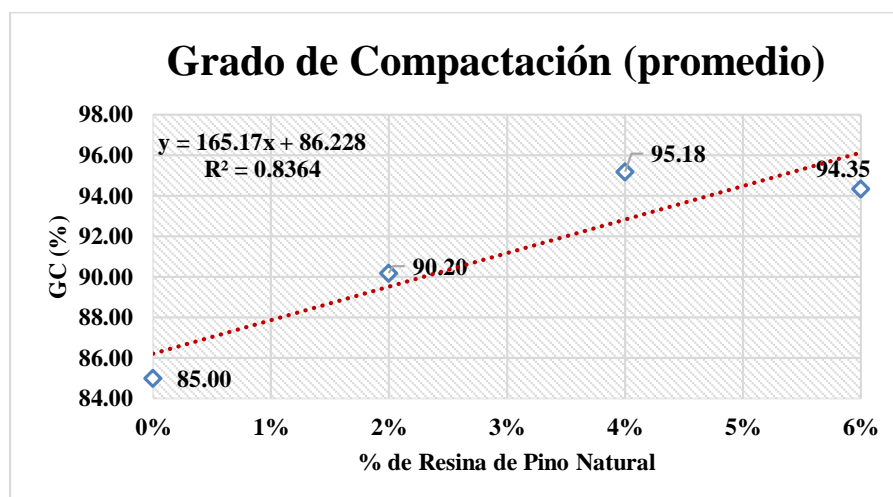
De los resultados que se obtuvieron en la tabla 34, de las tres muestras con adición al 4 % de resina de pino natural, y estas sometidas al ensayo de densidad in situ con arena calibrada y ver cuánto es la variación del grado de compactación en campo. De las cuales, para la muestra 01, se obtuvo el valor del 95.18 %, para la muestra 02, un 95.10%, y para la muestra 03 un valor de 95.27 %; obteniendo un promedio de 95.18 del porcentaje de compactación obtenido.

Tabla 35. Resultados – del grado de compactación (6% de adición de resina de pino)

Muestra (patrón 6% de adición)	GC (Muestra Patrón)	GC obtenido (%)	% Variación según GC de la (Muestra Patrón)
1	85.00	94.35	9.91%
2	85.00	94.55	10.10%
3	85.00	94.15	9.72%
GC promedio		94.35	9.90%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos en la tabla 35, de las tres muestras con adición al 6 % de resina de pino natural, sometidas al ensayo de densidad in situ con arena calibrada y ver cuánto es la variación del grado de compactación en campo; se observa que para la muestra 01, se obtuvo el valor del 94.35 %, para la muestra 02, un 94.55%, y para la muestra 03 un valor del 94.15%; obteniendo un promedio de 94.35 del porcentaje de compactación obtenido.

**Figura 25.** Grado de Compactación Promedio

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 25 del diagrama de dispersión de las muestras experimentadas con resina de pino al 0%, 2%, 4%, 6% se evidencia que el mayor valor obtenido del grado de compactación, es cuando se le adiciona el 4% de resina de pino natural, este llegando a un grado de compactación en campo del 95.18%.

Tabla 36. Resultados – del grado de compactación (6% de adición de resina de pino)

Muestras con % de adición de Resina de Pino Natural				
Unidad	0% patrón	2%	4%	6%
GC (%)	85.00	90.20	95.18	94.35
% Variación según Grado de Compactación (muestra patrón)	0.00%	5.76%	10.70%	9.91%

Fuente: Elaboración propia

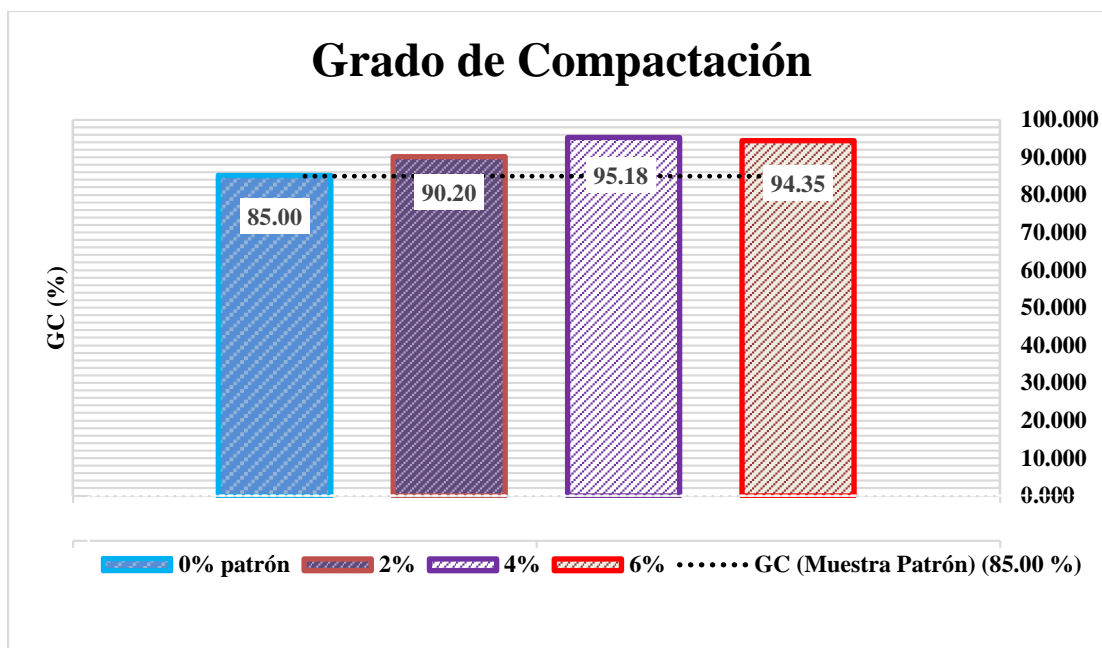


Figura 26. Evolución del Grado de Compactación
Fuente: Elaboración propia.

De la figura 26 del histograma, realizado de los resultados promedios del grado de compactación con la adición de resina de pino a diferentes porcentajes, se visualiza que a partir de la adición con el 2% de resina de pino, estas aumentan considerablemente el porcentaje de compactación; iniciando con un valor del 85.00% del grado de compactación y alcanzando como máximo al 95.18% del GC con el 4% de adición de resina de pino natural. Así mismo, este valor corresponde a un promedio de variación del 10.70% de la muestra patrón tal como se aprecia en la tabla 22.

4.3 Análisis estadístico y contrastación de hipótesis

De la tabla 37, 40, 43 y 46, se ha realizado el análisis estadístico mediante el software IBM SPSS. En relación a la densidad máxima seca, con adición de resina de pino natural se aprecia los resultados de los intervalos de confianza, media, mediana, varianza, asimetría valores máximos y mínimos; estos, adicionando dosis de fibras de polipropileno de 0%, 2%, 4%, 6% con un muestreo 12 datos por indicador.

Así mismo, las tablas 38, 39, 41, 42, 44, 45, 47 y 48 se constataron la hipótesis mediante la prueba de Shapiro-Wilk y Pearson, donde se verificó e interpretó el coeficiente de correlación que tiene la adición de resina de pino natural en la densidad seca máxima, contenido óptimo de humedad, CBR, grado de compactación.

a) Indicador 01: Densidad seca máxima (gr/cc)

Tabla 37. *Estadísticos descriptivos de la densidad máxima seca con adición de resina de pino*

% de fibras de resina de pino natural				Estadístico	Error típ.
Densidad Máxima Seca (suelo arcilloso + resina de pino)	0%	Media		1.67800	.000577
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	1.67552	
			Límite superior	1.68048	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		1.67800	
		Varianza		.000	
		Desv. típ.		.001000	
		Mínimo		1.677	
		Máximo		1.679	
		Rango		.002	
	2%	Amplitud intercuartil			1.225
		Asimetría		.000	
		Curtosis			
		Media		1.70533	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	1.70154	
			Límite superior	1.70913	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		1.70500	
		Varianza		.000	
		Desv. típ.		.001528	
	4%	Mínimo		1.704	1.225
		Máximo		1.707	
		Rango		.003	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		.935	
		Curtosis			
		Media		1.72500	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	1.72252	
			Límite superior	1.72748	
		Media recortada al 5%			
	6%	Mediana		1.72500	.000577
		Varianza		.000	
		Desv. típ.		.001000	
		Mínimo		1.724	
		Máximo		1.726	
		Rango		.002	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		.000	
		Curtosis			
		Media		1.73500	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	1.72417	.002517
			Límite superior	1.74583	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		1.73700	
		Varianza		.000	
		Desv. típ.		.004359	
		Mínimo		1.730	
		Máximo		1.738	
		Rango		.008	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		-1.630	1.225
		Curtosis			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. *Prueba de normalidad de la densidad seca máxima a diferentes dosis de resina de pino*

% de fibras de resina de pino natural	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Densidad Máxima Seca (suelo arcilloso + resina de pino)	0%	.175	3	1.000	3	1.000
	2%	.253	3	.964	3	.637
	4%	.175	3	1.000	3	1.000
	6%	.343	3	.842	3	.220

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad de los resultados obtenidos en la densidad seca máxima del suelo, al añadir resina de pino natural a diferentes porcentajes y estos someterlos al ensayo de proctor modificado en laboratorio. Se deberá probar la hipótesis estadística en relación al porcentaje añadido de resina y ver la mejora del suelo arcilloso en la subrazante.

Ho: Los resultados del ensayo de proctor modificado (densidad seca máxima) al adicionar resina de pino natural derivan de una distribución normal.

Ha: Los resultados del ensayo de proctor modificado (densidad seca máxima) al adicionar resina de pino natural no derivan de una distribución normal.

Tales son los resultados de la tabla 24, dado que la muestra es menor a 50; por lo cual, se tendrá en consideración la prueba de Shapiro-Wilk.

Así mismo, se observa que la significancia que obtuvimos por la prueba de Shapiro-Wilk, son mayores a 0.05, por las cuales se acepta la hipótesis nula (Ho) y se rechaza la hipótesis alterna (Ha); ultimando que la adición de fibras de resina de pino natural tiene una distribución normal; por lo cual, se empleara prueba paramétrica.

Tabla 39. *Correlaciones de la densidad seca máxima a diferentes dosis de resina de pino*

		% de fibras de resina de pino natural	Densidad Máxima Seca (suelo arcilloso + resina de pino)
% de fibras de resina de pino natural	Correlación de Pearson	1	.976**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	12	12
Densidad Máxima Seca (suelo arcilloso + resina de pino)	Correlación de Pearson	.976**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	12	12

Fuente: Elaboración propia

De la prueba de normalidad realizada, y ésta, identificada como una distribución normal (paramétrica), se procedió a realizar un análisis paramétrico mediante la prueba de correlación Pearson, y tales resultados se muestran en la tabla 25, de las cuales el $p < 0.05$ significancia, el coeficiente de correlación resultó un 0.976, y este al contrastar la prueba de hipótesis y verificar su índice, corresponde a una correlación muy buena.

b) Indicador 02: Contenido óptimo de Humedad (%)

Tabla 40. Estadísticos descriptivos del contenido de humedad con adición de resina de pino

% de fibras de resina de pino natural				Estadístico	Error típ.
Contenido Óptimo de Humedad (suelo arcilloso + resina de pino)	0%	Media		14.0000	.02887
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	13.8758	
			Límite superior	14.1242	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		14.0000	
		Varianza		.003	
		Desv. típ.		.05000	
		Mínimo		13.95	
		Máximo		14.05	
		Rango		.10	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		0.000	1.225
		Curtosis			
	2%	Media		14.6500	.05774
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	14.4016	
			Límite superior	14.8984	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		14.6500	
		Varianza		.010	
		Desv. típ.		.10000	
		Mínimo		14.55	
		Máximo		14.75	
		Rango		.20	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		0.000	1.225
		Curtosis			
	4%	Media		13.8000	.11547
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	13.3032	
			Límite superior	14.2968	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		13.8000	
		Varianza		.040	
		Desv. típ.		.20000	
		Mínimo		13.60	
		Máximo		14.00	
		Rango		.40	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		.000	1.225
		Curtosis			
	6%	Media		13.6500	.05774
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	13.4016	
			Límite superior	13.8984	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		13.6500	
		Varianza		.010	
		Desv. típ.		.10000	
		Mínimo		13.55	
		Máximo		13.75	
		Rango		.20	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		0.000	1.225
		Curtosis			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. *Prueba de normalidad del contenido de humedad a diferentes dosis de resina de pino*

% de fibras de resina de pino natural	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Contenido Óptimo 0%	.175	3		1.000	3	1.000
de Humedad 2%	.175	3		1.000	3	1.000
(suelo arcilloso + resina de pino) 4%	.175	3		1.000	3	1.000
6%	.175	3		1.000	3	1.000

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad, de los resultados obtenidos del contenido óptimo de humedad del suelo, al añadir resina de pino natural a diferentes porcentajes y estos someterlos al ensayo de proctor modificado en laboratorio. Se deberá probar la hipótesis estadística en relación al porcentaje añadido de resina y ver la mejora del suelo arcilloso en la subrazante.

Ho: Los resultados del ensayo de proctor modificado (contenido óptimo de humedad) al adicionar resina de pino natural derivan de una distribución normal.

Ha: Los resultados del ensayo de proctor modificado (contenido óptimo de humedad) al adicionar resina de pino natural, no derivan de una distribución normal.

Tales son los resultados de la tabla 41, dado que la muestra es menor a 50 datos; por lo cual, se tendrá en consideración la prueba de Shapiro-Wilk.

Así mismo, se observa que la significancia que obtuvimos por la prueba de Shapiro-Wilk son mayores a 0.05, por lo cual, se acepta la hipótesis nula (Ho) y se rechaza la hipótesis alterna (Ha), ultimando que la adición de fibras resina de pino natural tienen una distribución normal, por ende, se empleara prueba paramétrica.

Tabla 42. *Correlaciones del contenido de humedad optima a diferentes dosis de resina de pino*

		% de fibras de resina de pino natural	Contenido Óptimo de Humedad (suelo arcilloso + resina de pino)
% de fibras de resina de pino natural	Correlación de Pearson	1	-.538
	Sig. (bilateral)		.071
	N	12	12
Contenido Óptimo de Humedad (suelo arcilloso + resina de pino)	Correlación de Pearson	-.538	1
	Sig. (bilateral)	.071	
	N	12	12

Fuente: Elaboración propia

De la prueba de normalidad realizada, y ésta identificada como una distribución normal (paramétrica), se procedió a realizar un análisis paramétrico mediante la prueba de correlación Pearson, y tales resultados se muestran en la tabla 42, de las cuales el $p > 0.05$ significancia, el coeficiente de correlación resultó un -0.538 y este al contrastar la prueba de hipótesis y verificar su índice corresponde a una correlación negativa moderada.

c) Indicador 03: CBR (relación de soporte california) (%)

Tabla 43. Estadísticos descriptivos de la relación de soporte CBR con adición de resina de pino

% de fibras de resina de pino natural				Estadístico	Error típ.
Relación Soporte California (suelo arcilloso + resina de pino)	0%	Media		4.6267	.07219
		Intervalo de confianza para la media al	Límite inferior	4.3161	
		95%	Límite superior	4.9373	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		4.6300	
		Varianza		.016	
		Desv. típ.		.12503	
		Mínimo		4.50	
		Máximo		4.75	
		Rango		.25	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		-.120	1.225
		Curtosis			
	2%	Media		6.7500	.14434
		Intervalo de confianza para la media al	Límite inferior	6.1290	
		95%	Límite superior	7.3710	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		6.7500	
		Varianza		.063	
		Desv. típ.		.25000	
		Mínimo		6.50	
		Máximo		7.00	
		Rango		.50	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		0.000	1.225
		Curtosis			
	4%	Media		10.3233	.10105
		Intervalo de confianza para la media al	Límite inferior	9.8886	
		95%	Límite superior	10.7581	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		10.3200	
		Varianza		.031	
		Desv. típ.		.17502	
		Mínimo		10.15	
		Máximo		10.50	
		Rango		.35	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		.086	1.225
		Curtosis			
	6%	Media		9.9267	.01453
		Intervalo de confianza para la media al	Límite inferior	9.8642	
		95%	Límite superior	9.9892	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		9.9300	
		Varianza		.001	
		Desv. típ.		.02517	
		Mínimo		9.90	
		Máximo		9.95	
		Rango		.05	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		-.586	1.225
		Curtosis			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. *Prueba de CBR a diferentes dosis de resina de pino*

% de fibras de resina de pino natural	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Relación Soporte California	.178	3		.999	3	.956
(suelo arcilloso + resina de pino)	.175	3		1.000	3	1.000
0%	.177	3		1.000	3	.968
2%	.219	3		.987	3	.780
4%						
6%						

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad de los resultados obtenidos de la relación de soporte califonia del suelo, al añadir resina de pino natural a diferentes porcentajes y estos someterlos al ensayo de CBR en laboratorio. Se deberá probar la hipótesis estadística en relación al porcentaje añadido de resina y ver la mejora del suelo arcilloso en la subrazante.

Ho: Los resultados del ensayo de CBR (relación de soporte califonia) al adicionar resina de pino natural derivan de una distribución normal.

Ha: Los resultados del ensayo de CBR (relación de soporte califonia) al adicionar resina de pino natural no derivan de una distribución normal.

Tales son los resultados de la tabla 44, dado que la muestra es menor a 50 datos; por lo cual, se tendrá en consideración la prueba de Shapiro-Wilk y no la de Kolmogorov-Smirnova.

Así mismo, se observa que la significancia que obtuvimos por la prueba de Shapiro-Wilk, son mayores a 0.05, por las cuales se acepta la hipótesis nula (Ho) y se rechaza la hipótesis alterna (Ha), concluyendo que la adición de fibras resina de pino natural, tienen una distribución normal, por lo cual, se empleara prueba paramétrica.

Tabla 45. *Correlaciones de CBR a diferentes dosis de resina de pino*

		% de fibras de resina de pino natural	Relación Soporte California (suelo arcilloso + resina de pino)
% de fibras de resina de pino natural	Correlación de Pearson	1	.926**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	12	12
Relación Soporte California (suelo arcilloso + resina de pino)	Correlación de Pearson	.926**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	12	12

Fuente: Elaboración propia

De la prueba de normalidad realizada y ésta identificada como una distribución normal (paramétrica), se procedió a realizar un análisis paramétrico, mediante la prueba de correlación Pearson; y tales resultados se muestran en la tabla 45, de las cuales el $p < 0.05$ significancia, el coeficiente de correlación resultó un 0.926 y este al contrastar la prueba de hipótesis y verificar su índice corresponde a una correlación muy buena.

d) Indicador 04: Grado de compactación (%)

Tabla 46. Estadísticos descriptivos del grado de compactación con adición de resina de pino

% de fibras de resina de pino natural				Estadístico	Error típ.
Grado de Compactación (suelo arcilloso + resina de pino)	0%	Media		85.0000	2.88675
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	72.5793	
			Límite superior	97.4207	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		85.0000	
		Varianza		25.000	
		Desv. típ.		5.00000	
		Mínimo		80.00	
		Máximo		90.00	
		Rango		10.00	
	2%	Amplitud intercuartil			1.225
		Asimetría		0.000	
		Curtosis			
		Media		90.2000	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	88.4611	
			Límite superior	91.9389	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		90.2000	
		Varianza		.490	
		Desv. típ.		.70000	
	4%	Mínimo		89.50	1.225
		Máximo		90.90	
		Rango		1.40	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		0.000	
		Curtosis			
		Media		95.1833	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	94.9721	
			Límite superior	95.3946	
		Media recortada al 5%			
	6%	Mediana		95.1800	1.225
		Varianza		.007	
		Desv. típ.		.08505	
		Mínimo		95.10	
		Máximo		95.27	
		Rango		.17	
		Amplitud intercuartil			
		Asimetría		.176	
		Curtosis			
		Media		94.3500	1.1547
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	93.8532	
			Límite superior	94.8468	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		94.3500	
		Varianza		.040	
		Desv. típ.		.20000	
		Mínimo		94.15	
		Máximo		94.55	
		Rango		.40	
	6%	Amplitud intercuartil			1.225
		Asimetría		.000	
		Curtosis			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. *Prueba de normalidad del grado de compactación a diferentes dosis de resina de pino.*

% de fibras de resina de pino natural	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Grado 0%	.175	3		1.000	3	1.000
Compactación 2%	.175	3		1.000	3	1.000
(suelo arcilloso + resina de pino) 4%	.182	3		.999	3	.935
6%	.175	3		1.000	3	1.000

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad de los resultados obtenidos en la densidad de campo in situ, del grado de compactación del suelo, al añadir la resina de pino natural a diferentes porcentajes y estos someterlos al ensayo de cono de arena en campo. Se deberá probar la hipótesis estadística en relación al porcentaje añadido de resina y ver la mejora del suelo arcilloso en la subrazante.

Ho: Los resultados del grado de compactación (densidad del suelo en campo) al adicionar resina de pino natural, derivan de una distribución normal.

Ha: Los resultados del grado de compactación (densidad del suelo en campo) al adicionar resina de pino natural, no derivan de una distribución normal.

Tales son los resultados de la tabla 47, dado que la muestra es menor a 50 datos; por lo cual, se tendrá en consideración la prueba de Shapiro-Wilk.

Así mismo, se observa que la significancia que obtuvimos por la prueba de Shapiro-Wilk, son mayores a 0.05, por las cuales se acepta la hipótesis nula (Ho) y se rechaza la hipótesis alterna (Ha), concluyendo que la adición de fibras resina de pino natural tienen una distribución normal; por lo cual, se empleará prueba paramétrica.

Tabla 48. *Correlaciones del grado de compactación a diferentes dosis de resina de pino.*

		% de fibras de resina de pino natural	Grado Compactación (suelo arcilloso + resina de pino)
% de fibras de resina de pino natural	Correlación de Pearson	1	.814**
	Sig. (bilateral)		.001
	N	12	12
Grado Compactación (suelo arcilloso + resina de pino)	Correlación de Pearson	.814**	1
	Sig. (bilateral)	.001	
	N	12	12

Fuente: Elaboración propia

De la prueba de normalidad realizada y ésta identificada como una distribución normal (paramétrica), se procedió a realizar un análisis paramétrico mediante la prueba de correlación Pearson y tales resultados se muestran en la tabla 48. El nivel de significación obtenido, es de

0.001, la cual es menor al valor de confianza analizada; así mismo, el valor del coeficiente de correlación, resultó un 0.814 y este al contrastar la prueba de hipótesis y verificar su índice, corresponde a una muy buena correlación según la tabla 35 de la interpretación de coeficientes de correlación.

Tabla 49. Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson

Índices de R y Rho	Interpretación
0.000 – 0.200	Ínfima correlación
0.200 – 0.400	Escasa correlación
0.400 – 0.600	Moderada correlación
0.600 – 0.800	Buena correlación
0.800 – 1.000	Muy buena correlación
R=0	Correlación nula
R=-1	Correlación negativa

Fuente: Elaboración propia

4.4 Discusión de resultados

Cabe resaltar, que una de las limitaciones que se mostró en la investigación de tesis, fue la falta de información respecto de estudios similares, como mejoramiento o estabilización de suelos arcillosos con resina de pino natural, a nivel de conformación de Subrasantes. Así mismo, en la investigación, se analizó un factor importante que influye en la compactación de campo, como es la densidad seca en campo en suelos arcillosos con aditivos naturales que hay en abundancia en nuestro país.

Muy aparte, mi indagación servirá como fuente y base de datos para otros trabajos de investigación, concernientes a la adición de insumos naturales para la mejora de las propiedades mecánicas de un suelo, ya que se ha evidenciado, que en las carreteras del ámbito nacional siempre nos encontraremos con suelos arcillosos.

De la investigación de (Tunque, 2021) donde el autor obtiene resultados de los ensayos de proctor modificado, límites de consistencia y CBR con adición de resina de pino a porcentajes del 0%,1%,2% y 4%.

Tabla 50. *Resultados obtenidos de otras investigaciones*

Ensayos	Descripción	SN	SN+1%	SN+2%	SN+4%
Proctor	Densidad máxima seca	1.775	1.783	1.796	1.801
	(g/cm ³)				
Modificado	Contenido de Humedad	14.25	13.60	12.60	12.27
	(%)				
Límites de Consistencia	Límite Líquido	23.22	22.63	22.23	21.29
	Límite Plástico	18.29	17.89	17.98	17.29
	Índice de plasticidad	4.92	4.74	4.25	4.01
CBR	CBR 0.1" para el 100%	7.775	11.80	17.10	19.90
	CBR 0.1" para el 95%	4.70	9.50	13.85	15.25

Fuente: (Tunque, 2021)

Estas contrastándolas con los resultados promedio de varias muestras analizadas en laboratorio y en campo.

Tabla 51. *Resumen de resultados obtenidos de nuestra investigación*

Ensayo	Descripción	Muestra patrón al 0 %	adición de resina de pino al 2%	adición de resina de pino al 4%	adición de resina de pino al 6%
Ensayo Límites de consistencia	Límite líquido	42.21	-	-	-
	Límite Plástico	24.61	-	-	-
	Índice de Plasticidad	17.60	-	-	-
Ensayo de proctor modificado	Densidad máxima seca (gr/cc)	1.678	1.705	1.725	1.735
	Contenido de humedad óptimo (%)	14.00	14.65	13.80	13.65
Ensayo de CBR	CBR 0.1" para el 100% (%)	4.63	6.75	10.32	9.93
Densidad in situ (método cono de arena calibrada)	Grado de compactación (%)	85.00	90.20	95.18	94.35

Fuente: Elaboración propia

Tal es el resumen de resultados de nuestra investigación según indica la tabla 37, se realizó el ensayo de límites de consistencia, sólo con la muestra patrón del suelo arcilloso donde se obtuvo un índice de plasticidad del 17.60 y estas correspondientes a una clasificación según el manual de carreteras 2013. Un suelo arcilloso de media plasticidad al igual que los resultados de (Tunque, 2021).

De los resultados del ensayo de proctor modificado, se puede manifestar que los resultados tienen mucha similitud a la de (Tunque, 2021) ya que la densidad máxima seca, asciende de manera positiva al adicionar resina de pino natural y en el contenido óptimo de humedad descienden mínimamente en su valor numérico, al igual que el CBR se obtiene mayores valores de resistencia de soporte.

De acuerdo al argumento del (MTC, 2013), el índice de plasticidad, indica el tamaño del intervalo de humedad en el que el suelo es plástico y puede clasificar el suelo bastante bien. Las grandes zonas industriales corresponden a suelos muy arcillosos. Los pequeños PI son, en cambio, típicos de suelos ligeramente arcillosos. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad, considera que un $IP > 20$ presenta una plasticidad alta y la característica del suelo es muy arcilloso, $7 < IP \leq 20$; la plasticidad de media y un suelo arcillo, $IP < 7$ la plasticidad es baja y un suelo poco arcillosos plasticidad, $IP = 0$ plasticidad calificado como no plástico y suelo exento de arcilla.

De acuerdo a los resultados de la Máxima densidad seca, los diferentes porcentajes de resina de Pino (0%, 2%, 4% y 6%), en la que se aprecia que la muestra tratada con el 6% de resina alcanza una Máxima densidad seca de 1.730 y se encuentra por encima de las demás muestras; sin embargo, hay que destacar que los valores son muy cercanos. De acuerdo al análisis de la varianza al 95% de confiabilidad en la que se ha encontrado, que el valor p es de 0.036 menor a 0.05; por lo que podemos afirmar que la probabilidad de cometer error al rechazar la idea de que los promedios son iguales, es pequeña. Por lo que, rechazamos dicha idea y aceptamos que hay una diferencia significativa entre los promedios de Máxima densidad seca de las diferentes muestras con diferentes porcentajes de resina.

En relación a los resultados de Humedad óptima, los diferentes porcentajes de resina de Pino (0%, 2%, 4% y 6%), en ella se aprecia que al parecer el suelo tratado con el 4% de resina posee mayor Humedad óptima seguido por el suelo tratado con el 6% de resina de pino; luego por el suelo tratado con el 2% de resina de pino y por último por la muestra patrón que no posee ningún porcentaje de resina. El valor p es 0.000, mucho menor a 0.05. Por lo que podemos afirmar que existe una diferencia significativa entre los promedios de Humedad óptima de las diferentes muestras tratadas con diferentes porcentajes de resina de pino; sin embargo, es necesaria una comparación, para determinar con exactitud cuál de las dos muestras es diferente.

De acuerdo a los resultados del CBR al 100% 0.1” los diferentes porcentajes de resina de Pino (0%, 2%, 4% y 6%), en la que se da cuenta que aparentemente el suelo tratado con 4% de resina, posee mayor característica mecánica, que las demás muestras tratados con diferentes porcentajes de resina de pino, seguido por el suelo tratado con 6% de resina y luego por el suelo tratado con 2% de resina de pino, por último, la muestra patrón que posee un CBR al 100% de

20.17%. Además, se ha realizado el análisis de ANOVA y se ha encontrado que el p valor es de 0.000 mucho menor a 0.05, por lo que podemos afirmar que existe una diferencia altamente significativa entre los promedios de CBR al 100% 0.1' de las diferentes muestras tratados con diferentes porcentajes de resina de pino.

De acuerdo al (MTC, 2013) el suelo por debajo del nivel superior de la pista, con una profundidad no menor de 0,60 m, la regulación del suelo debe ser adecuada y estable con un CBR del 6% o más. Con $\text{CBR} \geq 6\%$. En caso el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante, tenga un $\text{CBR} < 6\%$ (subrasante pobre o subrasante inadecuada), la cual corresponde a la estabilización del suelo, los ingenieros se encargan de la estabilización mecánica, reposición del subsuelo, estabilización química del suelo, estabilización del suelo, etc. Análisis de alternativas según propiedades del suelo; sin embargo, al adicionar un 4% de resina de pino se obtuvo el un CBR de 10.32 %, la cual correspondería a una clasificación de Subrasante buena, la cual quedaría justificado, puesto que la adición de resina mejora las propiedades mecánicas del suelo.

Al respecto (Farfan, 2020). Los resultados obtenidos son los siguientes: T1 (0% CBCA + 0% NaCl) es el patrón, según el análisis de suelo se considera subrasante regular mientras que T2 (4% CBCA + 8% NaCl), T3 (6% CBCA + 6% NaCl) y T4 (8% CBCA + 4% NaCl); obtuvieron buenos sustratos y descubrieron que el tratamiento T3 era la forma de lograr la máxima estabilidad del suelo. El estudio llegó a una conclusión: Fundamentó que el tratamiento T3 6 % CBCA + 6 % NaCl) logró mejores resultados, calificando a la Sub Rasante como óptimo puesto que se sitúa dentro de las condiciones de Sub Rasante entre los parámetros de $\text{CBR} \geq 10\%$ a $\text{CBR} < 20\%$.

De acuerdo a los resultados del CBR al 100% 0.1" los diferentes porcentajes de resina de Pino (0%, 2%, 4% y 6%), en la que se observa que el suelo tratado con el 4% de resina, posee un CBR al 95% de 26.28% mayor al CBR al 95% de los demás suelos tratados con diferentes porcentajes de resina de Pino, seguido por la muestra de suelo tratado con 6% de resina, luego la muestra tratada con 2% de resina y por último la muestra patrón con 0% de resina. Aparentemente la muestra que con el 4% de resina ha obtenido mejor característica mecánica, la cual favorece para su uso en la subrasante de carreteras. Además, se analizó el ANOVA y se ha encontrado que el p valor es de 0.000 mucho menor a 0.05. Por lo que, podemos afirmar que la probabilidad de cometer error al rechazar la idea de que los promedios del CBR al 100% de las diferentes muestras tratadas con diferentes porcentajes de resina de Pino es muy pequeña; por lo que aceptamos la idea de que existe una diferencia altamente significativa entre dichos promedios.

Según el planteamiento del MTC (2013) Los valores del proyecto CBR están definidos con precisión y para cada sector de carácter uniforme, pertenece a la categoría de líneas a la que pertenece el sector o subsección, según las siguientes categorías de subrasante S_0 : Subrasante Inadecuada cuando el valor del CBR $R < 3\%$, S_1 : Subrasante Pobre con $CBR \geq 3\%$ A $CBR < 6\%$, S_2 : Subrasante Regular con $CBR \geq 6\%$ A $CBR < 10\%$, S_3 : Subrasante Buena con $CBR \geq 10\%$ A $CBR < 20\%$, S_4 : Subrasante Muy Buena con $CBR \geq 20\%$ A $CBR < 30\%$, S_5 : Subrasante Excelente con $CBR \geq 30\%$.

El CBR al 100% 0.1'' del suelo arcilloso en la subrasante de carretera de la localidad de Pumamarca para diferentes porcentajes de resina de Pino (0%, 2%, 4% y 6%), en la que se obtuvo que el suelo tratado con 0% de Resina, 2% de Resina, 4% de Resina y 6% de Resina poseen en promedio en CBR al 100% 0.1' de 20.17%, 24.86%, 35.59% y 32.43% respectivamente. De acuerdo a la categoría de subrasante, se afirma que sin la adición de resinas de pino presenta un CBR de 20.17% y es clasificado como muy buena y adicionando las resinas en diferentes proporciones mejora el CBR como subrasante excelente.

Al respecto Farfan (2020) demostró la diferencia en la estabilidad del sustrato blando que contenía el aditivo natural, puesto que $Pr(>F)$ de 0.905 mayor a 0.05, existe una diferencia de confianza significativa de 99,9% y se puede decir que hubo una diferencia significativa entre las densidades secas medias de los diferentes tratamientos, es decir, al menos uno de los tratamientos tiene el promedio de la máxima densidad seca significativamente diferente. El tratamiento con el CBR más alto al 100% 0.1'' y al 95% 0.1'' corresponde a tratamientos (T3) de 19.13% y 14.39% respectivamente, y CBRs que contienen aditivos naturales (T1, T2, T3 y T4). Se ha demostrado para apoyar el análisis de varianza en los medios. Aquí, el valor P de 0,000 resultante es menor que 0,05, que es significativamente diferente de la confiabilidad de 99,9%.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En esta investigación de tesis, se determinó las características físico-mecánicas del material en estado natural de la Subrasante de la carretera Pumamarca, de las cuales se obtuvieron resultados de un límite líquido de 42.21%, límite plástico del 24.61%, y un índice de plasticidad del 17.60%, clasificación AASHTO en el grupo A-7-6 (9), Clasificación SUCS de signo CL (arcilla arenosa de baja plasticidad), densidad máxima seca de 1.678 gr/cc. Y humedad óptima del 14.00%, un cbr de 4.63%. Con los resultados obtenidos, se concluye que el índice de plasticidad según el manual de carreteras, es de característica media y perteneciente a un suelo arcilloso, del resultado del índice de grupo, corresponde a una sub rasante pobre, y del resultado del cbr corresponde a una categoría de Subrasante pobre. Cabe resaltar que las propiedades naturales que conforman la sub rasante Pumamarca, no cumplen con características físico-mecánicas adecuadas para una conformación de Subrasante.

- Se determinó la influencia de la adición con resina de pino en la densidad seca máxima y humedad óptima en la subrasante de la carretera Pumamarca, cuyos resultados al adicionar resina de pino natural en dosis del 0%, se obtuvo una densidad máxima de 1.678 gr/cc y humedad del 14.00 %, al adicionar el 2% una densidad de 1.705 gr/cc y humedad del 14.65 % , para un 4% 1.725 gr/cc con una humedad del 13.80% y para un 6% de adición, se obtuvo una densidad de 1.735 gr/cc con una humedad óptima del 13.65%. En conclusión, la adición de resina de pino mejora las densidades máximas de un suelo arcilloso

- Determinar la influencia de la adición con resina de pino en la relación de soporte californiana de la subrasante de la carretera Pumamarca, podemos concluir que la adición al 4 % de resina de pino natural tiene un mejor CBR; la cual conlleva a clasificar mediante el manual de carreteras 2013, de un suelo de Sub rasante pobre a un suelo de Subrasante Buena; ya que los resultados obtenidos, fue para un 0% de resina un CBR de 4.63%, para una dosis del 2% un CBR del 6.75%, para una adición del 4% un CBR del 10.32% y para una adición de resina de pino al 6% se obtuvo un CBR del 9.93%. De las cuales, también podemos concluir que a partir de la adición del 6% de resina de pino, desciende mínimamente su valor de relación de soporte.

- En la presente tesis, se ha determinado la influencia de la adición de resina de pino en el grado de compactación in situ en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco, por lo que concluimos, que el mejor grado de compactación se obtuvo al adicionar el 4% de resina de pino, estas se logran al tener un grado de compactación máxima

del 95.18 %. Estas superan el grado de compactación mínimo en subrasantes, que es el 95% según el manual de carreteras. Así mismo, los otros resultados con adición al 0%, 2% y 6% se obtuvieron resultados que no superaban el 95% de compactación.

5.2 Recomendaciones

- Se exhorta efectuar más investigaciones de este aditivo natural en otros tipos de suelos limosos, arenosos con los porcentajes de sustitución de resina de pino, para poder apreciar como es el comportamiento y mejora de dichos suelos.
- También se recomienda plasmar este aditivo natural de otras especies y variedades de pino con una cantidad entre el rango del 2% al 3% de resina de pino; puesto que, con estos parámetros de cuantía, se obtuvieron los resultados más favorables y considerables en el mejoramiento de las características del suelo arcilloso.
- Se recomienda emplear esta resina de pino de origen del árbol bellaco en un porcentaje del 2.5 % a los suelos arcillosas para una mejora de la resistencia del suelo y su CBR.
- Se recomienda indagar con otras variedades de resina de pino para la reducción de costos en el proceso de mejora y estabilidad de suelos arcilloso y también emplearlos como aditivo natural de estudio para otros fines relacionados a la construcción e ingeniería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BADA, D. F. (2016).** *Aplicación del Aditivo Químico CONAID Para Atenuar la Plasticidad del Material Granular del Tramo de la Carretera Tauca - Bambas (km 73+514 - km 132+537) de la ruta nacional*
- BEHAR, D. S. (2008).** *Metologia de la Investigación.* (M. Sanabria, Ed.) Shalom.
- Bustanza, J. A. (2022). *Estabilización de Suelos Incorporando Cloruro de Sodio y Resina de Pino en Subrasante de la avenida santo domingo, Abancay 2022.* CALLAO-PERU: FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONL DE INGENIERIA CIVIL.
- CARRASCO, D. S. (2005).** *Metodología de la Investigación.* Lima: San Marcos. Obtenido de https://www.academia.edu/26909781/Metodologia_de_La_Investigacion_Cientifica_Carrasco_Diaz_1_
- CASTILLA. (2022).** *Resina en castilla y León.* Obtenido de <https://www.resinacyl.es/contenido/usuarios-los-productos-derivados-la-resina-natural>
- CEPAL. (2022).** *Camino Rurales: Vías Claves para la Producción, la Conectividad y Desarrollo Territorial.* Facilitacion, comercio y logistica en América Latina y El Caribe.
- CUSI, D. (2012).** *Estudio de Impacto Ambiental de la Carretera pumamarca-San Sebastian.* Cusco.
- DG. (2018).** *Manual de Carreteras: Diseño Geometrico DG-2018.* Peru: Dirección General de Camino Y Ferrocarriles (Ministerio de Transportes y comunicaciones).
- FABRE, V., BIZZOTO, M., & TIRNER, J. (2019).** *Comportamiento Resistente de Suelos Estabilizados con Tanino* (Vol. 21). Argentina. doi:10.4067/S0718-07642010000200013
- FARFAN, J. (2020).** *Estabilización de subrasantes blandos con aditivos naturales en la vía de Evitamiento Abancay, Apurímac, 2020.* Lima - Perú. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/57248/Farfan_MJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- FORERO, B. O., MORENO, K. J., & ALVAREZ, J. P. (2020).** *Evaluación del Comportamiento Físico-Mecánico de la Resistencia de un Suelo Arcilloso con Cenizas de Cascarilla de Arroz.* Corporación Universitaria Minuto De Dios Facultad de Ingeniería, Girardot-Colombia. Obtenido de <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/12045>
- GALEGO. (2022).** *Campo Galego Xornal dixital agrario.* Obtenido de <https://www.campogalego.es/lourizan-sondea-el-interes-de-la-industria-farmaceutica-por-la-resina-del-pino/>
- GARCIA, I., ALAVÉZ, R., & MORALES, V. (30 de Setiembre de 2021).** *Resina de Pino como Aglutinante Sostenible para el refuerzo del Adobe.* *unica.cu.* Obtenido de <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/2031/3493>
- GRC. (2020). *Plan Vial departamental.* Cusco: Gobierno regional Cusco.
- Gutierrez, C. (2010). *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del Cloruro de Magnesio (Bischofita) frente al Cloruro de Calcio.* Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/116>
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación 6º Edicion.* Mexico: Mac Graw-Hill.
- HEWEST, L. (2014).** *Ingeniería de Carreteras.*
- LA ROSA, N. T. (2015).** *Aplicación del aditivo QUIM KD-40 para estabilizar suelos en*

caminos no pavimentados . Aplicación: calles del centro poblado Santa María de Huachipa. Santa Maria-Perú. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4238>

LEXUS. (2007). *Diccionario Enciclopédico.* Lexus.

MARTÍNEZ, L. F. (2021). *Propuesta de paneles Aislantes Termoacusticos a Base de Cañamo y resina de Pino, Como Alternativa al Uso de Pólimeros Sinteticos en la Construcción.* Bogota - Colombia: Universidad La Gran Colombia.

MC. (2013). *Manual de Carreteras (Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos).* Lima - Peru: Ministerio de Transportes y Comunicaciones-Viceministerio de Transportes-Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.

MTC. (2013). Manual de Carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. 355. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf

MTC. (2014). *Manual de diseño de carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito.* Peru: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Dirección general de caminos y Ferrocarriles).

NUÑEZ, X. E. (2016). *Análisis de la estabilización del material de cantera Km 02+700 de la ruta Cucuta, con la adición de estabilizante Iónico.* Colombia.

ORTIZ, M. (2021). Agregados Naturales como Matriz del Suelo para la construcción Sostenible. *Ciencia unica*, 191-202. Obtenido de 2227-2690 RNPS: 2450

PALELLA, S., & MARTINS, F. (2008). *Metodología de la Investigacion Cuantitativa (2ª Edición).* Caracas - Venezuela: Fedupel.

PELAEZ, J. D., & BENITEZ, J. C. (2020). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas en la subrasante de suelos arenosos adicionando ceniza de cáscara de arroz y cal.* Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57379>

POCHTECA. (2022). *Pochteca Guatemala.* Obtenido de <https://guatemala.pochteca.net/tipos-de-resinas-y-sus-aplicaciones/>

ROJAS, R. (2002). *Metodos para la Investigación.* Mexico: Plaza y Valdes.

Roldan, J. (2010). *Estabilizacion de Suelos con Cloruro de Sodio (NaCl) para bases y Sub bases.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil.

SOPENA. (2010). *Diccionario Sopena. Ed. Sopena.* Sopena.

TAMAYO, M. (2007). *Metodologia de la Investigación.* Mexico: Limusa.

TUNQUE, F. A. (2021). *Estabilizacion de Subrasantes blandos empleando resina natural de pino, trocha carrozable Mayupata, San pablo, Cusco 2021.* Lima-Perú: Universidad Cesar Vallejo.

UGAZ, R. M. (2016). *Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de subrasante.* PERÚ. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3163>

VALLE, W. A. (2010). *Estabilización de Suelos Arcillosos plásticos con Mineralizadores en Ambientes Sulfatados o Yesíferos.* Madrid, España. Obtenido de <https://oa.upm.es/4512/>

WEATHERSPARK. (2022). *weatherspark.* Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/40923/Clima-promedio-en-San-Sebasti%C3%A1n-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>

WIKIPEDIA. (2022). *La enciclopedia libre.* Recuperado el 2022, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Resina>

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de Consistencia

Tabla 52. Matriz de Consistencia

" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIAN, CUSCO"					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
Problema general:	Objetivo general:	Hipótesis general:	Variable independiente:	ENFOQUE: Cuantitativo	POBLACIÓN DE ESTUDIO Suelos a nivel subrasante ubicados en el departamento del Cusco, provincia de San Sebastián
PG1.- ¿ De qué manera mejora las propiedades mecánicas del suelo arcilloso al adicionar resina de pino en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco?	OG1.- - Adicionar resina de pino para mejorar las propiedades mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco	HG1.- - Las propiedades mecánicas del suelo arcilloso mejoran significativamente con la adición de resina de pino en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.	Resina de Pino		
Problemas específicos:	Objetivos específicos:	Hipótesis específicas:	Variable dependiente:	TIPO: Aplicada	MUESTRA DE ESTUDIO
PE1.- ¿ Cuáles son las características físico-mecánicas del material en estado natural de la Subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco?	OE1.- - Determinar las características físico-mecánicas del material en estado natural de la Subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.	HE1.- - La subrasante no cumple con las características mínimas requeridas según el manual de carreteras, en la localidad de Pumamarca del distrito de San Sebastián – Cusco.	Mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo arcilloso.		
PE2.- ¿ En qué medida influye la adición de resina de pino en la densidad seca máxima y humedad optima en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco?	OE2.- Determinar la influencia de la adición con resina de pino en la densidad seca máxima y humedad optima en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.	HE2.- - La adición de resina de pino natural influye significativamente en la densidad seca máxima y humedad optima en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco			
PE3.- ¿ En qué medida influye la adición de resina de pino en la relación de soporte california de la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco?	OE3.- Determinar la influencia de la adición con resina de pino en la relación de soporte california de la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.	HE3.- - La adición de resina de pino natural influye significativamente en la relación de soporte california de la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco..			
PE4.- ¿ En qué medida influye la adición de resina de pino en la relación de soporte california de la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco?	OE4.-Determinar la influencia de la adición de resina de pino en el grado de compactación in situ en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.	HE4.- - La adición de resina de pino natural influye significativamente en el grado de compactación in situ en la subrasante de la carretera Pumamarca, del distrito de San Sebastián – Cusco.		NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Correlacional	
				DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Cuasi-Experimental	Suelo Arcilloso con Adición de Resina de Pino

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2. Matriz de Operacionalización

Tabla 53. Matriz de Operacionalización

" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIAN, CUSCO"						
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable independiente Resina de Pino	Definición conceptual: La resina de pino es una sustancia viscosa y pegajosa, constituida por una mezcla compleja de diferentes tipos de terpenos. Se produce en las células resiníferas y, tras ser expulsada al exterior del árbol por un estrés biótico o abiótico, se endurece y protege al pino contra patógenos y fitófagos.	Es una sustancia que se extrae de los árboles de pino que no se puede mezclar con el agua, se hace secar y se pulveriza hasta que pase la malla 40, el pasante se mezcla con el suelo arcilloso de forma homogénea	D1: Dosificación de resina de pino natural	I1: 2%	Revisión Documental	De razón
				I2: 4%	Visitas a campo	
				I3: 6%	Recopilación de datos	
Variable dependiente Mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo arcilloso.	Consiste en mezclar al suelo cohesivo una cantidad suficiente de aditivo para producir reacciones que aglomerantes en las partículas del suelo, de tal manera que la resistencia del suelo aumenta de forma significativa. (Montejo,2018 p.14)	La variable mejoramiento de suelos arcillosos con resina de pino se va medir en función del peso específico seco, soporte de california CBR y resistencia de corte a través del ensayo de corte directo, CBR y Corte directo	D1: Densidad Seca Máximo, Contenido de humedad Óptimo	I1: (gr/cc), (%)	Molde proctor	De razón
			D2: CBR	I2: número adimensional (CBR)	Molde CBR	
			D3: Densidad de Campo in situ	I3: Grado de compactación	Cono de arena calibrada	

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 3. Panel Fotográfico

3.1 excavación y mediciones calicatas para la extracción de muestras de suelo en la Subrasante de carretera Pumamarca del distrito de san Sebastián, cusco



3.2 extracción de muestras de suelo en de la Subrasante de carretera Pumamarca del distrito de san Sebastián, cusco



3.3 Medición de Profundidad de Calicata de la Subrasante de carretera Pumamarca del distrito de san Sebastián, cusco



3.4 Ensayos de Laboratorio de Proctor Modificado, CBR.



3.5. Demarcacion de area a compactar con apisonador manual para la determinacion de la densidad en campo



3.6. Proceso de compactacion y ensayo de densidad de campo in situ (cono de arena calibrada)



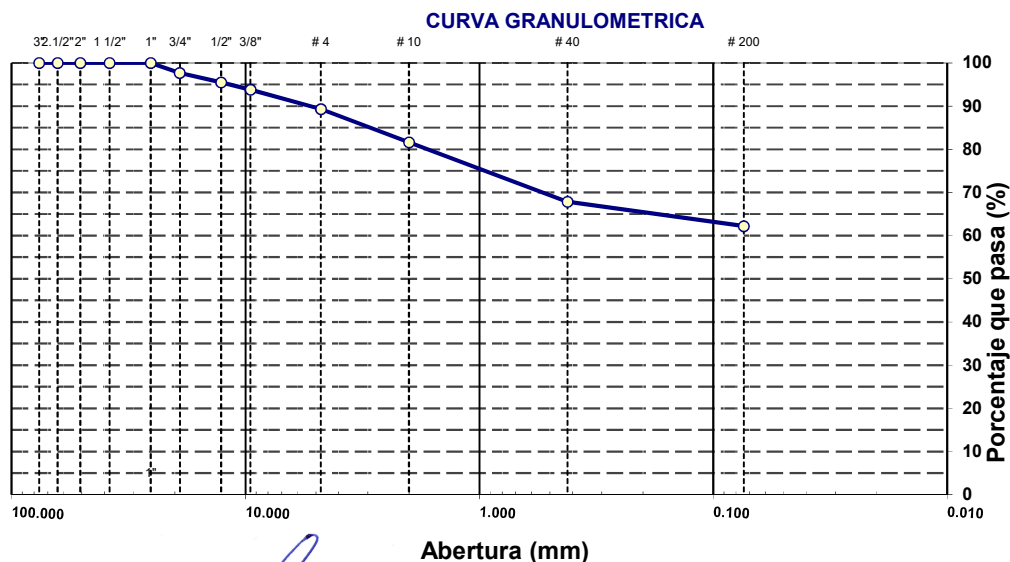
3.7. Muestras de suelo en la compactacion in situ para la verificacion del contenido de humedad.



ANEXO 4. Certificado de los Ensayos Realizados

ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO		
AASHTO T-11, T-27 Y T-88		
TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	ne N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE ESTADO NATURAL (0%)	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 1	CALICATA : C-1
PROF. (m)	: 0,00 - 1,50	

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO TOTAL SECO = 1174.0 gr
2 1/2"	63.500	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO LAVADO = 402.0 gr
2"	50.800	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO FINO = 772.0 gr
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE LIQUIDO = 42.21 %
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE PLASTICO = 24.61 %
3/4"	19.100	27.26	2.3	2.3	97.7	INDICE PLASTICO = 17.60 %
1/2"	12.700	26.06	2.2	4.5	95.5	CLASF. AASHTO = A-7-6 (9)
3/8"	9.520	19.76	1.7	6.2	93.8	CLASF. SUCS = CL
1/4"	6.350	30.50	2.6	8.8	91.2	MAX. DENS. SECA = 1.678 gr/cc
# 4	4.760	22.10	1.9	10.7	89.3	HUMEDAD OPT. = 14.00 %
# 8	2.360	83.47	7.1	17.8	82.2	CBR AL 100% 0.1" = 4.63 %
# 10	2.000	7.22	0.6	18.4	81.6	CBR AL 95% 0.1" = 3.40 %
# 16	1.190	85.08	7.3	25.7	74.3	
# 30	0.600	55.54	4.7	30.4	69.6	
# 40	0.420	20.94	1.8	32.2	67.8	
# 50	0.300	19.53	1.7	33.8	66.2	
# 100	0.149	21.58	1.8	35.7	64.3	COLOR ESTANDAR = MARRON ROJIZO OSCURO
# 200	0.074	25.00	2.1	37.8	62.2	% Humd. Nat. 22.49
< # 200	FONDO	729.96	62.2	100.0		
FRACCION		1,174.00		0.0	0.0	Coef. Uniformidad #####
TOTAL						Indice de consistencia 0.0
Descripción suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad						Coef. Curvatura 1.12
						Pot. de expansión Solido




 ING. Rosalio Echegaray Salazar
 CIP. 69594


 PACHATUSAN CONTRATISTAS
 GENERALES S.C.R.L.
 Julio Nerio Echeco C.
 Especialista en Mecánica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS



**ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y
GEOTECNIA**

HUMEDAD NATURAL

(NORMA ASTM D 2216, MTC E 108-2000)

TESIS	: " MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE ESTADO NATURAL (0%)	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	


DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA	: M - 1	CALICATA	C-1
PROF. (m)	: 0,00 - 1,50		

N° ENSAYOS				PROMEDIO
N° TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)	1438.00			
PESO TARRO + SUELO SECO (g)	1174.00			
PESO DE AGUA (g)	264.00			
PESO DEL TARRO (g)				
PESO DEL SUELO SECO (g)	1174.00			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	22.49			22.49

Observaciones:


ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594


PACHATUSAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG
AASHTO T-89 Y T-90

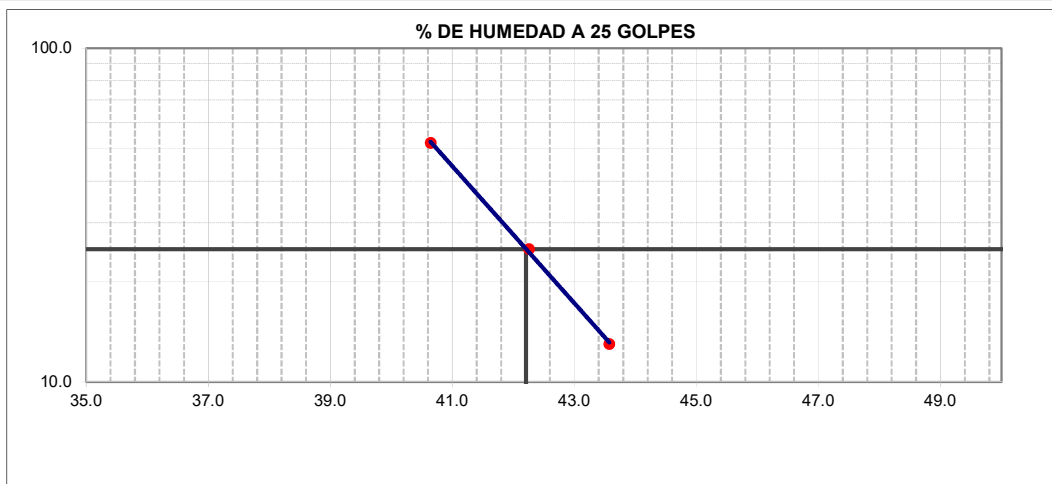
TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE ESTADO NATURAL (0%)	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 1	CALICATA : C-1
PROF. (m)	: 0,00 - 1,50	

LIMITE LIQUIDO

Nº TARRO	T-1	T-2	T-3	
TARRO + SUELO HUMEDO	30.68	33.77	34.69	
TARRO + SUELO SECO	27.29	29.87	30.52	
AGUA	3.39	3.90	4.17	
PESO DEL TARRO	19.51	20.64	20.26	
PESO DEL SUELO SECO	7.78	9.23	10.26	
% DE HUMEDAD	43.57	42.25	40.64	
Nº DE GOLPES	13	25	52	

LIMITE PLASTICO

Nº TARRO	T-4	T-5		
TARRO + SUELO HUMEDO	39.88	34.36		
TARRO + SUELO SECO	37.45	33.10		
AGUA	2.43	1.26		
PESO DEL TARRO	27.74	27.89		
PESO DEL SUELO SECO	9.71	5.21		
% DE HUMEDAD	25.03	24.18		



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	42.21
LIMITE PLASTICO	24.61
INDICE DE PLASTICIDAD	17.60

ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



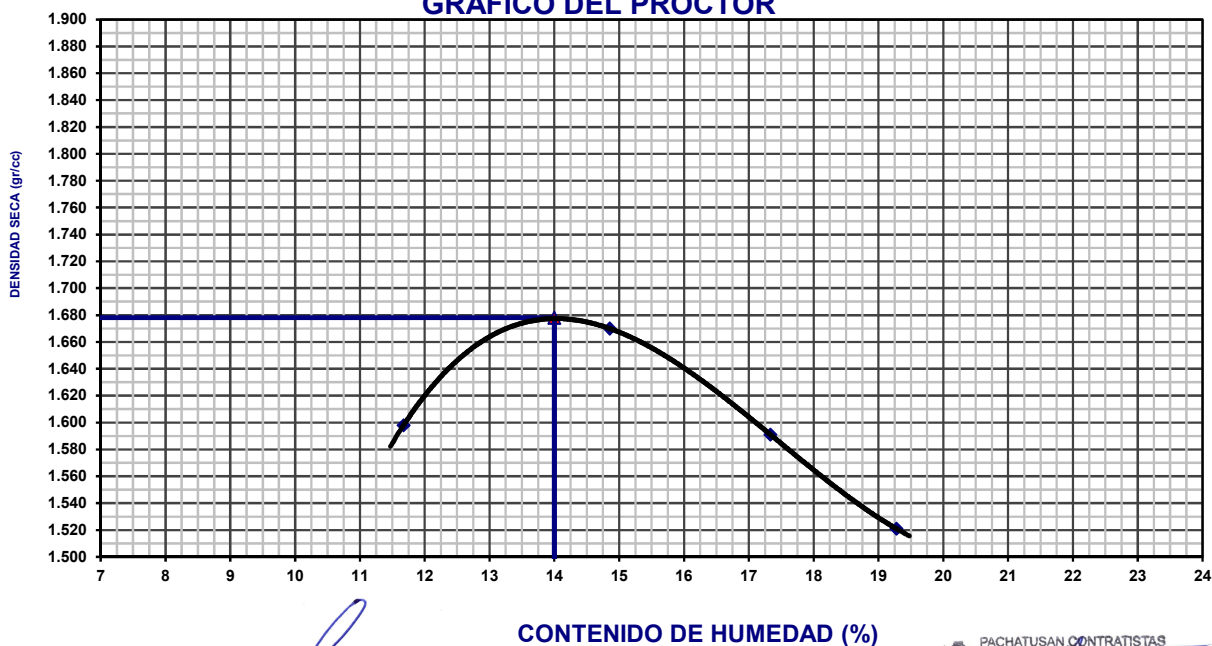
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

AASHTO - T-180-D

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE ESTADO NATURAL (0%)	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 1	CALICATA : C-1
PROF. (m)	: 0,00 - 1,50	

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)		944	PESO DEL MOLDE (gr.) :		4265	
NUMERO DE ENSAYOS			1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE			5949	6076	6027	5978
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO			1684	1811	1762	1713
PESO VOLUMETRICO HUMEDO			1.784	1.918	1.867	1.815
CONTENIDO DE HUMEDAD						
RECIPIENTE Nro.			10	11	12	13
PESO SUELO HUMEDO + TARA			307.10	306.20	310.70	306.30
PESO SUELOS SECO + TARA			275.00	266.60	264.80	256.80
PESO DE LA TARA			0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DE AGUA			32.10	39.60	45.90	49.50
PESO DE SUELO SECO			275.00	266.60	264.80	256.80
CONTENIDO DE AGUA			11.67	14.85	17.33	19.28
PESO VOLUMETRICO SECO			1.598	1.670	1.591	1.521
DENSIDAD MAXIMA SECA:		1.678	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA:	14.00

GRAFICO DEL PROCTOR



ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
ASESORAMIENTO TÉCNICO EN MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



PERFIL ESTRATIGRAFICO DE LA CALICATA

TESIS : "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA
SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO" Informe N° : LAB-MAY-2022

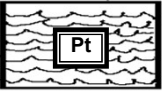
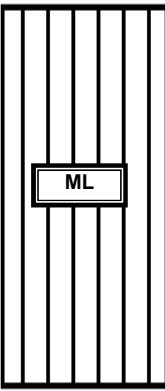
TRAMO : PUMAMARCA Fecha : 11/05/2022

MATERIAL : SUBRASANTE ESTADO NATURAL (0%) Realizado por : Bach. G.L.B.R

UBICACIÓN : SAN SEBASTIAN CUSCO CALICATA C-1 Revisado por : R.E.S.

SOLICITANTE : BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE

TESISTA : BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE

PROF.	M.	GRAFICO	ESTRATO	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	CLASIF.		GRANULOMETRIA			LIMITES			HUM. NAT.
			Espesor (CM.)		AASHTO	SUCS	3" A Nro. 4	Nro. 4 a Nro. 200	Menor Nro. 200	L.L.	L.P.	I.P.	
0.00													
0.10				SUELO ORGANICO									
0.20													
0.30			0.00 - 0.30 m.										
0.40				Arcilla arenosa de baja plasticidad	A-7-6	CL	10.7%	27.1%	62.2%	42.2	24.6	18	22.49
0.50													
0.60													
0.70													
0.80													
0.90													
1.00													
1.10													
1.20													
1.30													
1.40													
1.50			0.30- 1.50 m.										


ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594


PACHATUSAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecánica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



ENSAYO DE CBR

AASHTO T-193

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"		Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA		Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE ESTADO NATURAL (0%)		Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO		Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE		
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE		
MUESTRA	: M - 1	CALICATA : C-1	
PROF. (m)	: 0,00 - 1,50		

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 húmedo (gr)	11605	11635	11400	11452	10890	10968
Peso de molde (gr)	7531	7531	7670	7670	7373	7373
Peso del suelo húmedo (gr)	4065	4105	3730	3782	3517	3595
Volumen del molde (cm3)	2124	2124	2108	2108	2087	2087
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.914	1.932	1.770	1.794	1.685	1.723
Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5
Densidad seca (gr/cm3)	1.68	1.64	1.55	1.55	1.48	1.48
Tarro N°	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr)	523.0	523.0	512.0	512.0	514.5	514.5
Tarro + Suelo seco (gr)	458.4	455.0	449.2	442.4	451.5	441.8
Peso del Agua (gr)	64.6	68.0	62.8	69.6	63.0	72.7
Peso del tarro (gr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso del suelo seco (gr)	460.0	385.0	449.2	442.4	451.5	441.8
Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5
Promedio de Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
04/05/2022	08:30 a. m.	0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.000	0.0
05/05/2022	08:30 a. m.	24	5.0	0.05	0.0	4.0	0.04	0.0	3.0	0.030	0.0
06/05/2022	08:30 a. m.	48	13.0	0.13	0.1	16.0	0.16	0.1	19.0	0.190	0.2
07/05/2022	08:30 a. m.	72	20.0	0.20	0.2	22.0	0.22	0.2	48.0	0.480	0.4
08/05/2022	08:30 a. m.	96	28.0	0.28	0.2	56.0	0.56	0.5	81.0	0.810	0.7

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.025		45.0	2.3			32.0	1.7			28.0	1.4		
0.050		119.6	6.2			76.8	4.0			62.5	3.2		
0.075		208.5	10.8			122.5	6.3			93.5	4.8		
0.100	300	282.1	14.58	13.90	4.6	144.5	7.5	8.47	2.8	134.0	6.9	6.10	2.0
0.150		364.0	18.8			232.5	12.0			162.5	8.4		
0.200	310	521.7	27.0	25.31	8.2	329.0	17.0	16.11	5.2	207.5	10.7	10.27	3.3
0.300		622.1	32.1			394.5	20.4			261.5	13.5		
0.400		716.0	37.0			428.0	22.1			349.0	18.0		

ING. Rosalio Echegaray Salazar
 CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS
 GENERALES S.C.R.L.
 Julio Nerio Pacheco C.
 Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYO DE CBR
AASHTO T-193

TESIS

" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"

Informe N° : LAB-MAY-2022

TRAMO : PUMAMARCA

Fecha : 11/05/2022

MATERIAL : SUBRASANTE ESTADO NATURAL (0%)

Realizado por : Bach. G.L.B.R

UBICACIÓN : SAN SEBASTIAN CUSCO

Revisado por : R.E.S.

SOLICITANTE : BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE

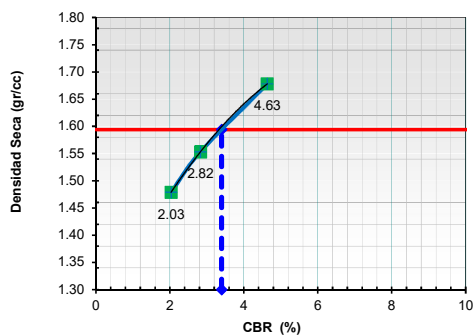
TESISTA : BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE

MUESTRA : M - 1

CALICATA : C-1

PROF. (m) : 0,00 - 1,50

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR

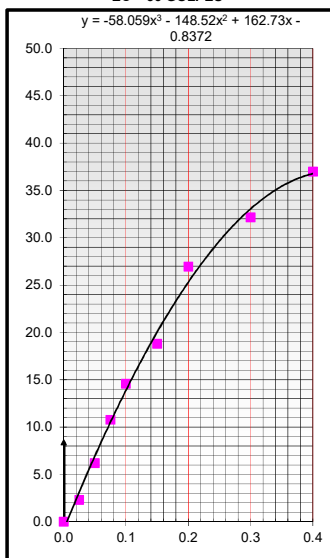


C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	4.63
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	3.40

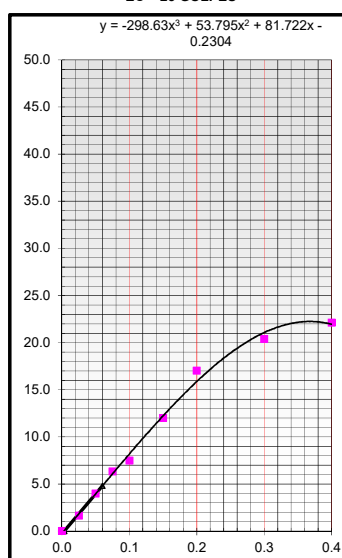
Maxima Densidad Seca **1.678** gr/c
Optimo Humedad **14.000** %
95 % Maxima Densidad Seca **1.594** gr/cc

OBSERVACIONES:

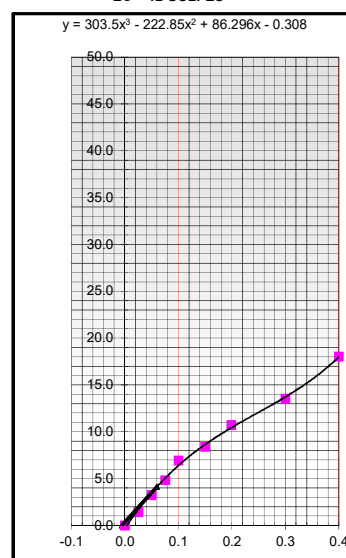
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecánica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



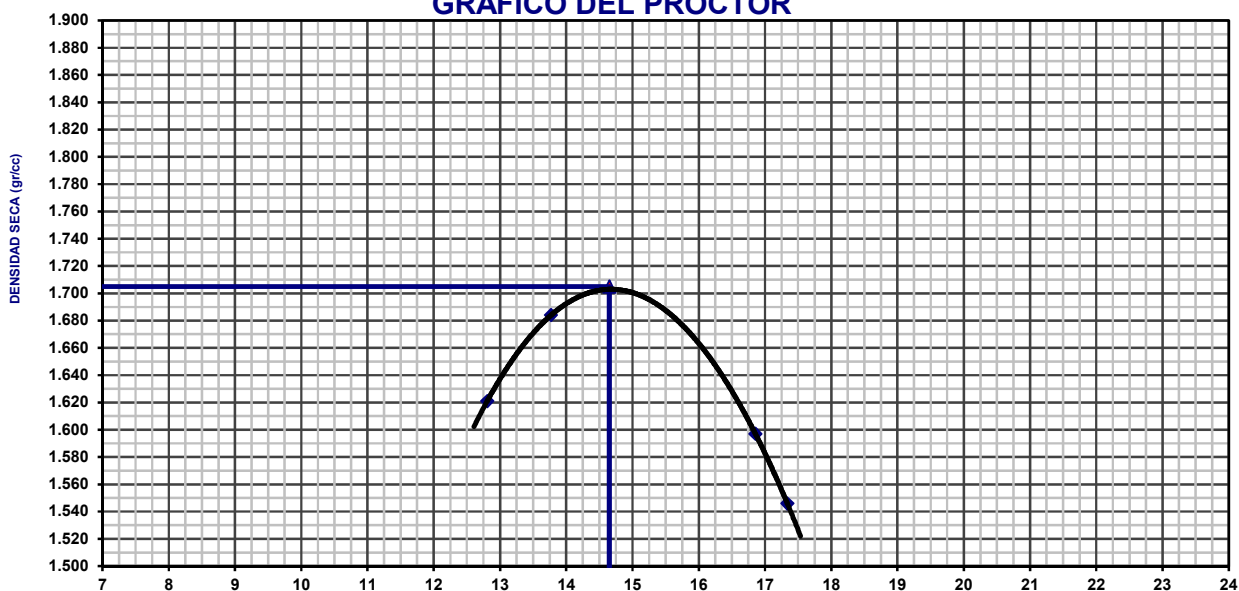
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

AASHTO - T-180-D

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE NATURAL + 2% DE ADICION DE RESINA DE PINO	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 2	
PROF. (m)		

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	945	PESO DEL MOLDE (gr.) :			4265	
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE		5993	6075	6028	5979	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO		1728	1810	1763	1714	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO		1.829	1.915	1.866	1.814	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
RECIPIENTE Nro.		5	6	7	8	
PESO SUELO HUMEDO + TARA		310.05	303.20	309.90	306.25	
PESO SUELOS SECO + TARA		274.85	266.50	265.20	261.00	
PESO DE LA TARA		0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA		35.20	36.70	44.70	45.25	
PESO DE SUELO SECO		274.85	266.50	265.20	261.00	
CONTENIDO DE AGUA		12.81	13.77	16.86	17.34	
PESO VOLUMETRICO SECO		1.621	1.684	1.597	1.546	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.705	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA:	14.65	

GRAFICO DEL PROCTOR



CONTENIDO DE HI

ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS
GERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Facheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



ENSAYO DE CBR

AASHTO T-193

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE NATURAL + 2% DE ADICION DE RESINA DE PINO	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 2	
PROF. (m)		

Molde N°	4		5		6	
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)	11604	11634	11400	11452	10890	10968
Peso de molde (gr)	7530	7530	7670	7670	7373	7373
Peso del suelo húmedo (gr)	4110	4104	3730	3782	3517	3595
Volumen del molde (cm3)	2125	2125	2108	2108	2087	2087
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.934	1.931	1.770	1.794	1.685	1.723
Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5
Densidad seca (gr/cm3)	1.70	1.64	1.55	1.55	1.48	1.48
Tarro N°	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr)	523.0	523.0	512.0	512.0	514.5	514.5
Tarro + Suelo seco (gr)	458.4	455.0	449.2	442.4	451.5	441.8
Peso del Agua (gr)	64.6	68.0	62.8	69.6	63.0	72.7
Peso del tarro (gr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso del suelo seco (gr)	460.0	385.0	449.2	442.4	451.5	441.8
Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5
Promedio de Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
05/05/2022	08:30 a. m.	0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.000	0.0
06/05/2022	08:30 a. m.	24	5.0	0.05	0.0	4.0	0.04	0.0	3.0	0.030	0.0
07/05/2022	08:30 a. m.	48	13.0	0.13	0.1	16.0	0.16	0.1	19.0	0.190	0.2
08/05/2022	08:30 a. m.	72	20.0	0.20	0.2	22.0	0.22	0.2	48.0	0.480	0.4
09/05/2022	08:30 a. m.	96	28.0	0.28	0.2	56.0	0.56	0.5	81.0	0.810	0.7

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.025		45.0	2.3			32.0	1.7			28.0	1.4		
0.050		119.6	6.2			76.8	4.0			62.5	3.2		
0.075		208.5	10.8			122.5	6.3			93.5	4.8		
0.100	200	282.1	14.58	13.50	6.8	144.5	7.5	8.47	4.2	134.0	6.9	6.10	3.0
0.150		364.0	18.8			232.5	12.0			162.5	8.4		
0.200	210	521.7	27.0	25.00	11.9	329.0	17.0	16.11	7.7	207.5	10.7	10.27	4.9
0.300		622.1	32.1			394.5	20.4			261.5	13.5		
0.400		716.0	37.0			428.0	22.1			349.0	18.0		

ING. Rosalio Echegaray Salazar
 CIP: 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS
 GENERALES S.C.R.L.
 Julio Nerio Pacheco C.
 Especialista en Mecánica de Suelos



ENSAYO DE CBR AASHTO T-193

TESIS

" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"

Informe N° : LAB-MAY-2022

TRAMO

: PUMAMARCA

Fecha : 11/05/2022

MATERIAL

: SUBRASANTE NATURAL + 2% DE ADICION DE RESINA DE PINO

Realizado por : Bach. G.L.B.R

UBICACIÓN

: SAN SEBASTIAN CUSCO

Revisado por : R.E.S.

SOLICITANTE

: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE

TESISTA

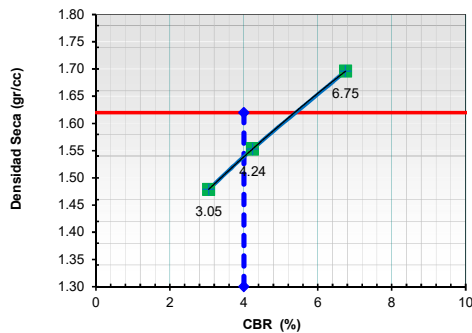
: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE

MUESTRA

: M - 2

PROF. (m)

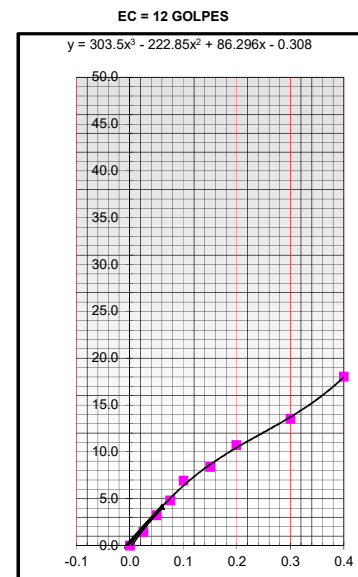
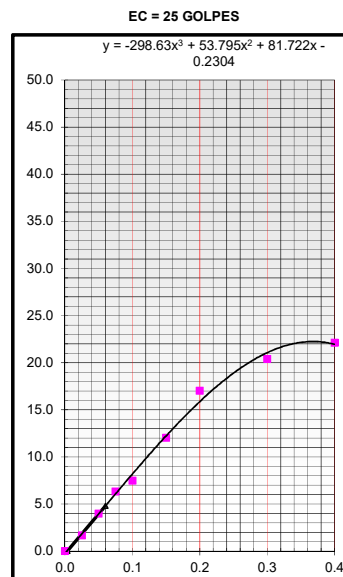
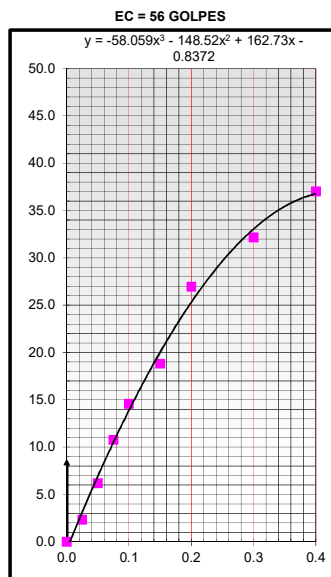
GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	6.75
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	4.00

Maxima Densidad Seca **1.705** gr/c
Optimo Humedad **14.650** %
95 % Maxima Densidad Seca **1.620** gr/cc

OBSERVACIONES:



ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



PRUEBA DE DENSIDAD IN SITU (metodo con arena calibrada)

MTC E 117 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1556 y AASHTO T-191

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE NATURAL + 2% DE ADICIÓN DE RESINA DE PINO	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 2	
PROF. (m)		

PROFUNDIDAD	13 CM
PESO UNITARIO DE LA ARENA	1.50gr/cm3

NIVEL	SUB RASANTE
DATOS DEL ENSAYO EN CAMPO	C1
Ubicacion	EJE
Peso Inicial del Frasco + Cono (gr)	6703.00
Peso Residual del Frasco + Cono (gr)	2471.00
Peso del Suelo Extraído (gr)	2571.00
Peso de la Grava, retenido en tamiz 3/4" (gr)	210.10
Peso de la Arena Utilizada, hueco + cono (gr)	4232.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1804.00
Peso de la Arena en el Hueco (gr)	2428.00
Volumen del Hueco (cm3)	1618.67
Peso Especifico de la Grava (gr/cm3)	2.52
Volumen de la Grava (cm3)	83.37
Peso del Suelo (gr)	2595.00
Volumen del Suelo (cm3)	1535.29
Densidad Húmeda del Suelo (gr/cm3)	1.69
CONTENIDO DE HUMEDAD	
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	545.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	495.90
Peso del Agua (gr)	49.10
Peso de la Muestra Seca (gr)	495.90
Contenido de Humedad	9.90%
COMPACTACIÓN	
Densidad Seca del Terreno (gr/cm3)	1.54
Densidad Seca Máxima de Proctor (gr/cm3)	1.71
PROGRESIVA	
% DE COMPACTACION	90.20%


ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594


PACHATUSAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



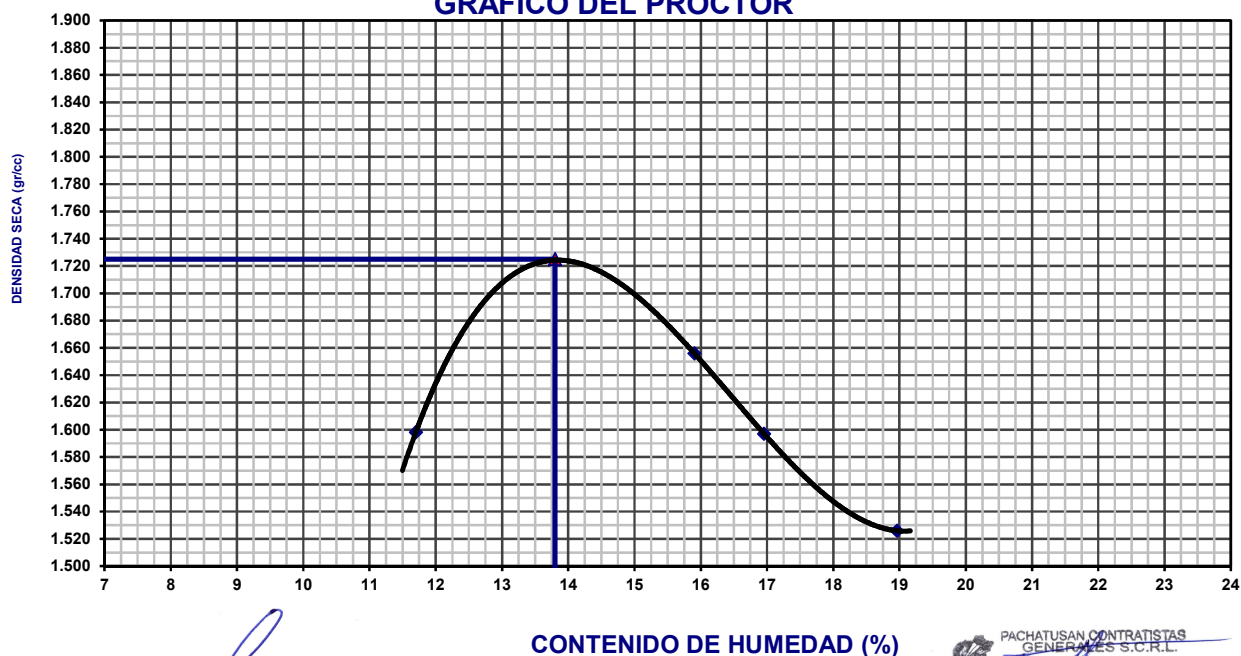
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

AASHTO - T-180-D

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE NATURAL + 4% DE ADICION DE RESINA DE PINO	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 3	
PROF. (m)		

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	943	PESO DEL MOLDE (gr.) :			4266	
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE		5949	6076	6027	5978	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO		1683	1810	1761	1712	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO		1.785	1.919	1.867	1.815	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
RECIPIENTE Nro.		10	20	30	40	
PESO SUELO HUMEDO + TARA		306.05	309.00	309.70	305.50	
PESO SUELOS SECO + TARA		274.00	266.60	264.80	256.80	
PESO DE LA TARA		0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA		32.05	42.40	44.90	48.70	
PESO DE SUELO SECO		274.00	266.60	264.80	256.80	
CONTENIDO DE AGUA		11.70	15.90	16.96	18.96	
PESO VOLUMETRICO SECO		1.598	1.656	1.597	1.526	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.725	gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:		13.80	

GRAFICO DEL PROCTOR



ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)

PACHATUSAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



ENSAYO DE CBR

AASHTO T-193

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE NATURAL + 4% DE ADICION DE RESINA DE PINO	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 3	
PROF. (m)		

Molde N°	7		8		9	
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)	11606	11636	11401	11454	10891	10969
Peso de molde (gr)	7531	7531	7670	7670	7373	7373
Peso del suelo húmedo (gr)	4065	4106	3731	3784	3518	3596
Volumen del molde (cm3)	2124	2124	2108	2108	2087	2087
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.914	1.933	1.770	1.795	1.686	1.723
Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5
Densidad seca (gr/cm3)	1.68	1.64	1.55	1.55	1.48	1.48
Tarro N°	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr)	523.0	523.0	512.0	512.0	514.5	514.5
Tarro + Suelo seco (gr)	458.4	455.0	449.2	442.4	451.5	441.8
Peso del Agua (gr)	64.6	68.0	62.8	69.6	63.0	72.7
Peso del tarro (gr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso del suelo seco (gr)	460.0	385.0	449.2	442.4	451.5	441.8
Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5
Promedio de Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
06/05/2022	08:30 a. m.	0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.000	0.0
07/05/2022	08:30 a. m.	24	5.0	0.05	0.0	4.0	0.04	0.0	3.0	0.030	0.0
08/05/2022	08:30 a. m.	48	13.0	0.13	0.1	16.0	0.16	0.1	19.0	0.190	0.2
09/05/2022	08:30 a. m.	72	20.0	0.20	0.2	22.0	0.22	0.2	48.0	0.480	0.4
10/05/2022	08:30 a. m.	96	28.0	0.28	0.2	56.0	0.56	0.5	81.0	0.810	0.7

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.025		45.0	2.3			32.0	1.7			28.0	1.4		
0.050		119.6	6.2			76.8	4.0			62.5	3.2		
0.075		208.5	10.8			122.5	6.3			93.5	4.8		
0.100	125	282.1	14.58	12.90	10.3	144.5	7.5	8.47	6.8	134.0	6.9	6.10	4.9
0.150		364.0	18.8			232.5	12.0			162.5	8.4		
0.200	135	521.7	27.0	23.50	17.4	329.0	17.0	16.11	11.9	207.5	10.7	10.27	7.6
0.300		622.1	32.1			394.5	20.4			261.5	13.5		
0.400		716.0	37.0			428.0	22.1			349.0	18.0		

ING. Rosalio Echegaray Salazar
 CIP. 69594

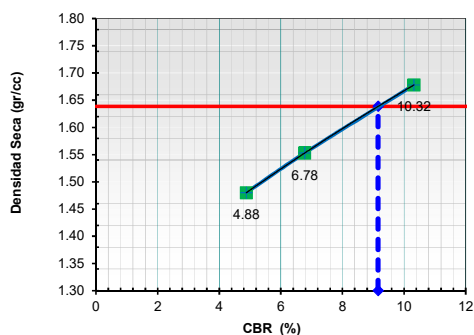
PACHATUSAN CONTRATISTAS
 GENERALES S.C.R.L.
 Julio Nerio Pacheco C.
 Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYO DE CBR AASHTO T-193

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"		Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA		Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE NATURAL + 4% DE ADICION DE RESINA DE PINO		Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO		Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE		
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE		
MUESTRA	: M - 3		
PROF. (m)			

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR

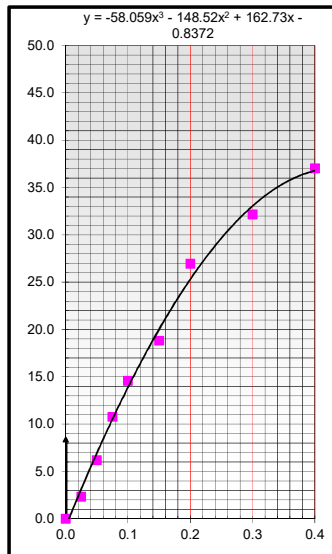


C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 10.32
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1": 9.16

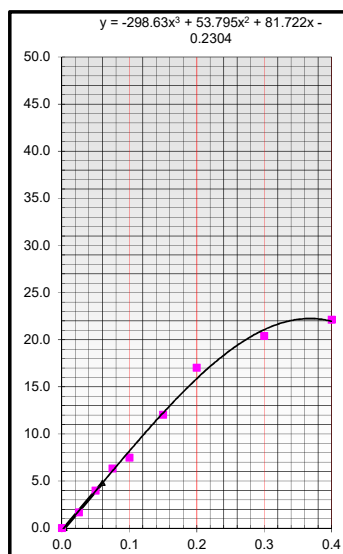
Maxima Densidad Seca **1.725** gr/c
Optimo Humedad **13.800** %
95 % Maxima Densidad Seca **1.639** gr/cc

OBSERVACIONES:

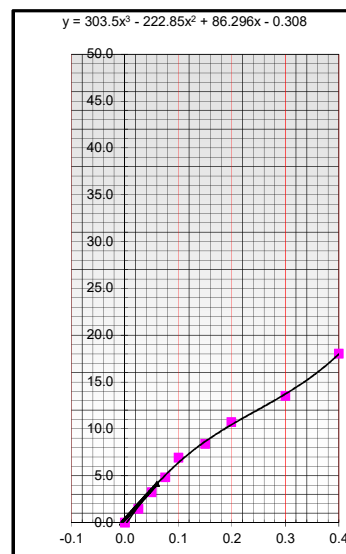
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS
GERENCIALES S.C.R.L.
Julio Nerio Eacheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



PRUEBA DE DENSIDAD IN SITU (metodo con arena calibrada)

MTC E 117 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1556 y AASHTO T-191

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE NATURAL + 4% DE ADICION DE RESINA DE PINO	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 3	
PROF. (m)		

PROFUNDIDAD	13 CM
PESO UNITARIO DE LA ARENA	1.50gr/cm3

NIVEL	SUB RASANTE
DATOS DEL ENSAYO EN CAMPO	C2
Ubicacion	EJE
Peso Inicial del Frasco + Cono (gr)	6700.00
Peso Residual del Frasco + Cono (gr)	2469.00
Peso del Suelo Extraído (gr)	2580.00
Peso de la Grava, retenido en tamiz 3/4" (gr)	150.00
Peso de la Arena Utilizada, hueco + cono (gr)	4231.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1810.00
Peso de la Arena en el Hueco (gr)	2421.00
Volumen del Hueco (cm3)	1614.00
Peso Especifico de la Grava (gr/cm3)	2.52
Volumen de la Grava (cm3)	59.52
Peso del Suelo (gr)	2885.00
Volumen del Suelo (cm3)	1554.48
Densidad Húmeda del Suelo (gr/cm3)	1.86
CONTENIDO DE HUMEDAD	
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	545.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	485.00
Peso del Agua (gr)	60.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	460.00
Contenido de Humedad	13.04%
COMPACTACION	
Densidad Seca del Terreno (gr/cm3)	1.642
Densidad Seca Máxima de Proctor (gr/cm3)	1.725
PROGRESIVA	
% DE COMPACTACION	95.18%


ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594


PACHATUSAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



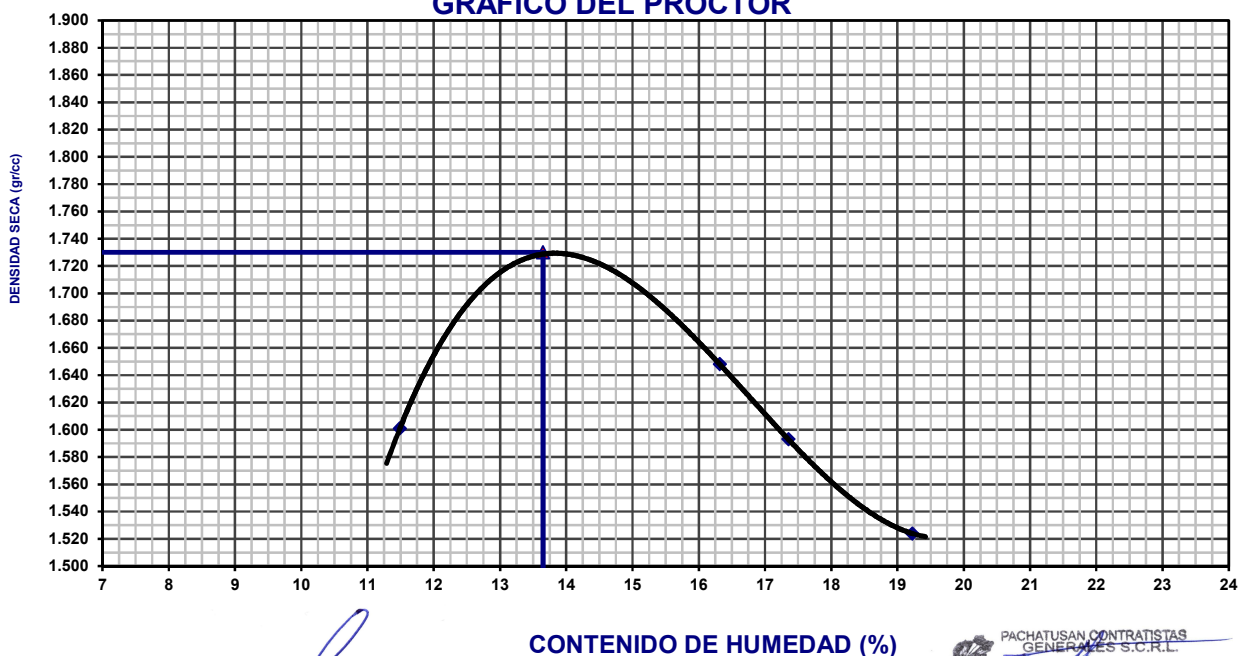
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

AASHTO - T-180-D

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE NATURAL + 6% DE ADICION DE RESINA DE PINO	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 4	
PROF. (m)		

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	944	PESO DEL MOLDE (gr.) :			4265	
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE		5950	6075	6030	5980	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO		1685	1810	1765	1715	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO		1.785	1.917	1.870	1.817	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
RECIPIENTE Nro.		15	16	17	18	
PESO SUELO HUMEDO + TARA		307.15	310.10	310.75	306.40	
PESO SUELOS SECO + TARA		275.50	266.60	264.80	257.00	
PESO DE LA TARA		0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA		31.65	43.50	45.95	49.40	
PESO DE SUELO SECO		275.50	266.60	264.80	257.00	
CONTENIDO DE AGUA		11.49	16.32	17.35	19.22	
PESO VOLUMETRICO SECO		1.601	1.648	1.593	1.524	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.730	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA:	13.65	

GRAFICO DEL PROCTOR



ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594

PACHATUNAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



ENSAYO DE CBR

AASHTO T-193

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE NATURAL + 6% DE ADICION DE RESINA DE PINO	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 4	
PROF. (m)		

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 húmedo (gr)	11610	11640	11405	11457	10990	11068
Peso de molde (gr)	7531	7531	7670	7670	7373	7373
Peso del suelo húmedo (gr)	4065	4110	3735	3787	3617	3695
Volumen del molde (cm3)	2124	2124	2108	2108	2087	2087
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.914	1.935	1.772	1.797	1.733	1.771
Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5
Densidad seca (gr/cm3)	1.68	1.65	1.56	1.55	1.52	1.52
Tarro N°	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr)	523.0	523.0	512.0	512.0	514.5	514.5
Tarro + Suelo seco (gr)	458.4	455.0	449.2	442.4	451.5	441.8
Peso del Agua (gr)	64.6	68.0	62.8	69.6	63.0	72.7
Peso del tarro (gr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso del suelo seco (gr)	460.0	385.0	449.2	442.4	451.5	441.8
Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5
Promedio de Humedad (%)	14.0	17.7	14.0	15.7	14.0	16.5

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
07/05/2022	08:30 a. m.	0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.000	0.0
08/05/2022	08:30 a. m.	24	5.0	0.05	0.0	4.0	0.04	0.0	3.0	0.030	0.0
09/05/2022	08:30 a. m.	48	13.0	0.13	0.1	16.0	0.16	0.1	19.0	0.190	0.2
10/05/2022	08:30 a. m.	72	20.0	0.20	0.2	22.0	0.22	0.2	48.0	0.480	0.4
11/05/2022	08:30 a. m.	96	28.0	0.28	0.2	56.0	0.56	0.5	81.0	0.810	0.7

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.025		45.0	2.3			32.0	1.7			28.0	1.4		
0.050		119.6	6.2			76.8	4.0			62.5	3.2		
0.075		208.5	10.8			122.5	6.3			93.5	4.8		
0.100	140	282.1	14.58	13.90	9.9	144.5	7.5	8.47	6.1	134.0	6.9	6.10	4.4
0.150		364.0	18.8			232.5	12.0			162.5	8.4		
0.200	175	521.7	27.0	25.31	14.5	329.0	17.0	16.11	9.2	207.5	10.7	10.27	5.9
0.300		622.1	32.1			394.5	20.4			261.5	13.5		
0.400		716.0	37.0			428.0	22.1			349.0	18.0		

ING. Rosalio Echegaray Salazar
 CIP. 69594

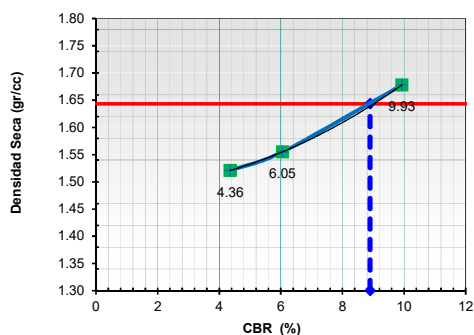
**PACHATUSAN CONTRATISTAS
 GENERALES S.C.R.L.**
 Julio Nerio Eacheo C.
 Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYO DE CBR AASHTO T-193

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"		Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA		Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE NATURAL + 6% DE ADICION DE RESINA DE PINO		Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO		Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE		
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE		
MUESTRA	: M - 4		
PROF. (m)			

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR

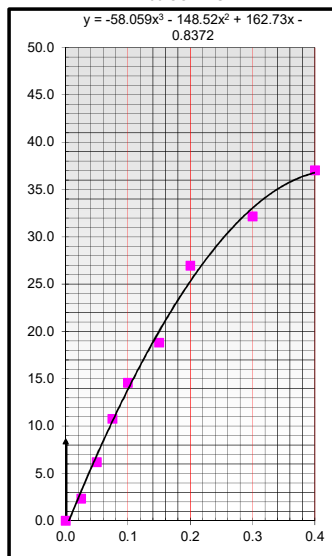


C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	9.93
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	8.90

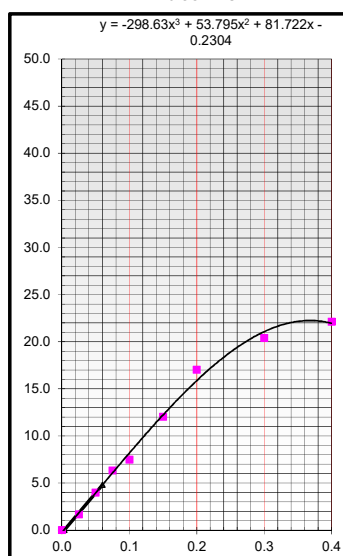
Maxima Densidad Seca	1.730	gr/c
Optimo Humedad	13.650	%
95 % Maxima Densidad Seca	1.644	gr/cc

OBSERVACIONES:

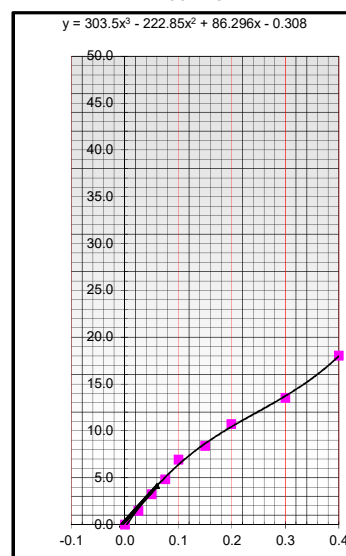
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594

PACHATUSAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos



ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ASESORAMIENTO TECNICO EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



PRUEBA DE DENSIDAD IN SITU (metodo con arena calibrada)

MTC E 117 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1556 y AASHTO T-191

TESIS	" MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO CON RESINA DE PINO DE LA SUBRASANTE DE CARRETERA PUMAMARCA DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO"	Informe N° : LAB-MAY-2022
TRAMO	: PUMAMARCA	Fecha : 11/05/2022
MATERIAL	: SUBRASANTE NATURAL + 6% DE ADICION DE RESINA DE PINO	Realizado por : Bach. G.L.B.R
UBICACIÓN	: SAN SEBASTIAN CUSCO	Revisado por : R.E.S.
SOLICITANTE	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
TESISTA	: BACH. GIANELLA LIZINCA BAUTISTA RAFAELE	
MUESTRA	: M - 4	
PROF. (m)		

PROFUNDIDAD	13 CM
PESO UNITARIO DE LA ARENA	1.50gr/cm3

NIVEL	SUB RASANTE
DATOS DEL ENSAYO EN CAMPO	C1
Ubicacion	EJE
Peso Inicial del Frasco + Cono (gr)	6750.00
Peso Residual del Frasco + Cono (gr)	2475.00
Peso del Suelo Extraído (gr)	2580.00
Peso de la Grava, retenido en tamiz 3/4" (gr)	150.00
Peso de la Arena Utilizada, hueco + cono (gr)	4275.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1810.00
Peso de la Arena en el Hueco (gr)	2465.00
Volumen del Hueco (cm3)	1643.33
Peso Especifico de la Grava (gr/cm3)	2.52
Volumen de la Grava (cm3)	59.52
Peso del Suelo (gr)	2930.00
Volumen del Suelo (cm3)	1583.81
Densidad Húmeda del Suelo (gr/cm3)	1.85
CONTENIDO DE HUMEDAD	
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	547.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	499.00
Peso del Agua (gr)	48.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	360.00
Contenido de Humedad	13.33%
COMPACTACION	
Densidad Seca del Terreno (gr/cm3)	1.632
Densidad Seca Máxima de Proctor (gr/cm3)	1.730
PROGRESIVA	
% DE COMPACTACION	94.35%


ING. Rosalio Echegaray Salazar
CIP. 69594


PACHATUSAN CONTRATISTAS
GENERALES S.C.R.L.
Julio Nerio Pacheco C.
Especialista en Mecanica de Suelos