

**UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



INFORME FINAL DE TESIS

**“EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE
DE SUELO ARCILLOSO EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN
SELVA BAJA. APLICACIÓN CARRETERA EX PETROLEROS,
LORETO”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTORES:

**JAIME LUIS VÁSQUEZ ZAMORA
CHRISTIAN WILSON MARIN GARCIA**

ASESOR

ING. ULISES IRIOGOIN CABRERA

COASESOR:

ING. CLAUDIA MORALES AQUITARI

San Juan Bautista – Loreto - Maynas – PERÚ

2020

AGRADECIMIENTO

A Dios por habernos guiado y permitido lograr nuestros objetivos trazados; a nuestros padres por su incansable apoyo, a nuestros familiares y amigos que nos motivaron en el transcurso de nuestra carrera profesional, a la Universidad Científica del Perú que nos forjó durante estos años con conocimientos y valores.

DEDICATORIA

A mi esposa y e hijas que son mi principal motivación en todas las cosas que hago; a mis padres por su amor y comprensión, y su apoyo incondicional todos los días.

Christian Marín.

A mis padres por haberme forjado y darme siempre su apoyo incondicional, ustedes me motivaron constantemente para lograr mis metas; y a mis hermanos que son mis mejores amigos de la vida.

Jaime Vásquez.

CONSTANCIA ANTIPLAGIO



"Año de la Universalización de la Salud"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:


La Tesis titulada:

**"EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE DE SUELO
ARCILLOSO EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN SELVA BAJA.
APLICACIÓN CARRETERA EX PETROLEROS, LORETO"**

De los alumnos: **JAIME LUIS VÁSQUEZ ZAMORA Y CHRISTIAN WILSON
MARIN GARCÍA** de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó
satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje
de **10% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que
estime conveniente.

San Juan, 08 de julio del 2020.



Dr. César J. Ramal Asayag
Presidente del Comité de Ética – UCP

CIRA/lasda
072-2020



Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5



(065) 261.088



www.ucp.edu.pe

ACTA DE SUSTENTACIÓN



“Año de la Universalización de la Salud”

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 121-2018-UCP-FCEI del 15 de febrero de 2018 y modificada con Resolución Decanal N° 450-2018-UCP-FCEI del 21 de agosto de 2018, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Águila, Dra. Presidente
- Ing. Miguel Ángel Robalino Osorio Miembro
- Ing. Erlin Guillermo Cabanillas Oliva, Dr. Miembro

Como Asesor: Ing. Ulises Octavio Irigoín Cabrera, M.Sc. y como co-asesora: Ing. Claudia de Jesús Morales Aquituarí

En la ciudad de Iquitos, siendo las 9:30 horas del día 11 de septiembre del 2020, a través de la plataforma ZOOM supervisado en línea por la Secretaria Académica del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: “EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN SELVA BAJA. APLICACIÓN CARRETERA EX PETROLEROS, LORETO”.

Presentado por los sustentantes:

CHRISTIAN WILSON MARÍN GARCÍA
Y
JAIME LUIS VÁSQUEZ ZAMORA

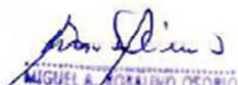
Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**


Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**


El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR MAYORÍA**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.


MIGUEL A. ROBALINO OSORIO
INGENIERO CIVIL
CIP. Nº 48743
Miembro


Presidente


Miembro

Contáctanos:

Iquitos – Perú
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

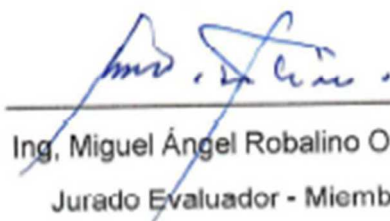
Filial Tarapoto – Perú
42 – 58 5638 / 42 – 58 5640
Leoncio Prado 1070 / Martines de Compañon 933

Universidad Científica del Perú
www.ucp.edu.pe

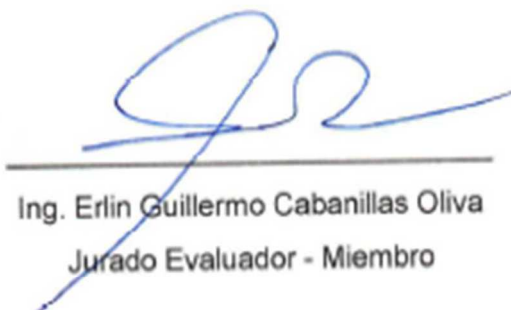
PÁGINA DEL JURADO Y ASESORES



Ing. Carmen Patricia Cerdeña Del Águila
Jurado Evaluador - Presidente



Ing. Miguel Ángel Robalino Osorio
Jurado Evaluador - Miembro



Ing. Erlin Guillermo Cabanillas Oliva
Jurado Evaluador - Miembro



Ing. Ulises Octavio Irigoín Cabrera
Asesor

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
ACTA DE SUSTENTACIÓN	IV
PÁGINA DEL JURADO Y ASESORES	VI
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE FOTOS	XVI
RESUMEN	XVIII
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	20
1.1 Antecedentes de la Investigación	20
1.2 Bases Teóricas de la Investigación	35
1.2.1 Suelos	35
1.2.1.1 Origen de los suelos	35
1.2.1.2 Suelos residuales	37
1.2.1.3 Suelos sedimentarios	39
1.2.1.4 Propiedades físicas y clasificación de los suelos	40
1.2.1.5 Propiedades físicas y químicas de las arcillas	50
1.2.1.6 Análisis de Materia Orgánica	51
1.2.2 Tipos de Arcillas	51
1.2.3 La Cal	55
1.2.3.1 Generalidades de la Cal	55
1.2.3.2 Funciones de la cal	56
1.2.3.3 Tipos de cal	57
1.2.3.4 Presentación de la cal	58
1.2.4 Estabilización de suelos	59

1.2.4.1	¿Qué propiedades mejorar?	59
1.2.4.2	Métodos de estabilización de suelos	65
1.2.4.3	Estabilización con cal	71
1.2.4.4	Modificación con cal y secado de suelos	76
1.2.4.5	Estabilización de subrasante (o subbase) con cal	78
1.2.4.5.1	Escarificación y pulverización inicial	78
1.2.4.5.2	Aplicación de la cal viva	78
1.2.4.5.3	Aplicación de la cal hidratada seca	79
1.2.4.5.4	Aplicación de la lechada de cal	80
1.2.4.5.5	Mezcla preliminar y aplicación de agua	81
1.2.4.5.6	Periodo de fraguado	81
1.2.4.5.7	Mezcla final y pulverización	82
1.2.5	Red Vial Nacional	82
1.2.5.1	Generalidades	82
1.2.5.2	Clasificación de carreteras	83
1.2.6	Conservación y rehabilitación de carreteras no pavimentadas	89
CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		93
2.1.	Planteamiento del problema	93
2.1.1.	Formulación del problema	98
2.1.1.1.	Problema general	98
2.1.1.2.	Problemas específicos	98
2.2.	Justificación de la investigación	99
2.3.	Objetivos	102
2.3.1.	Objetivo General	102
2.3.2.	Objetivos específicos.	102
2.4.	Hipótesis	102
2.4.1.	Alcances o delimitaciones de la investigación	103
2.5	Variables	103
2.5.1.	Independiente	103

2.5.2 Dependiente	103
2.5.3 Operacionalización de variables	103
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	104
3.1 Materiales Investigados	105
3.1.1 Tipo de estudio	105
3.1.2 Diseño de estudio	105
3.2 Población y muestra	106
3.2.1 Población	106
3.2.1 Muestra	106
3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	107
3.3.1 Técnicas de recolección de datos	107
3.3.2 Instrumentos de recolección de datos	108
3.3.3 Laboratorios y Procedimientos	108
3.3.4 Descripción de Ensayos a realizar: Para el Suelo Arcilloso con adición de Cal al 0 %.	109
3.4 Materiales a utilizar	111
3.4.1 Equipos a utilizar	111
3.4.2 Suelo arcilloso	112
3.4.4 Cal Apagada	118
3.4.5 Mezcla de materiales	119
3.4.5.1 Mezcla de suelo arcilloso y Cal	119
3.4.6 Ensayos para el suelo arcilloso con adición de al 2 %, 4%, 6% y 8% de cal hidratada	120
3.5 Métodos de análisis de datos	121
3.5.1 Estadística a utilizar	121
3.5.1.1 Números Índices	121
3.5.1.1.1 Tipos de Índices:	121
3.5.1.1.2 Cálculo de números índices simples, fórmulas de aplicación	122
3.5.1.1.3 Formas de calcular los números índices o relativos simplificados	122
3.5.1.1.4 Cálculo de los números índices simples o relativos simples	

de base fija.	123
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	123
4.1 Ensayos Físicos	124
4.1.1 Análisis Granulométrico	124
4.1.2 Límites de Atterberg	126
4.1.3 Clasificación de suelos	127
4.2 Ensayos Químicos	129
4.2.1 Determinación del pH	129
4.2.2 Ensayo Análisis de la Materia Orgánica	131
4.3 Ensayos Mecánicos	131
4.3.1 Ensayo de Proctor Modificado	131
4.3.2 Ensayo De CBR	135
4.4 Prueba de Hipótesis	139
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143
5.1 DISCUSIÓN	143
5.2 CONCLUSIONES	148
5.3 RECOMENDACIONES	151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
ANEXOS	158
ANEXO N° 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA; Error! Marcador no definido.	
ANEXO N° 2. REGISTRO DE ENSAYOS EN LABORATORIO	159
ANEXO N° 3. REGISTROS DE ENSAYOS QUÍMICOS	161
ANEXO N° 4. PANEL FOTOGRÁFICO	163
ANEXO N° 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	183
ANEXO N° 6. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN	189

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Adición de Cal	32
Tabla N° 2. <i>Denominaciones de la compacidad.</i>	41
Tabla N° 3. <i>Clasificación de los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría.</i>	49
Tabla N° 4. <i>Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.</i>	50
Tabla N° 5. <i>Métodos de mejoramiento de suelos.</i>	65
Tabla N° 6. <i>Procedimientos para modificar un suelo natural.</i>	65
Tabla N° 7. <i>Respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos.</i>	67
Tabla N° 8. <i>Longitud de la red vial, según tipo de superficie de rodadura y sistema de carretera, periodo 2005-2008 (kilómetros)</i>	82
Tabla N° 9. <i>Evolución de la Red Vial Peruana.</i>	83
Tabla N° 10. <i>Clasificación de Carreteras según su Función.</i>	83
Tabla N° 11. <i>Clasificación de Carreteras según su Demanda.</i>	84
Tabla N° 12. <i>Clasificación de Carreteras según su Condición Geográfica.</i>	85
Tabla N° 13. <i>Clasificación de Carreteras según su Tipo de Superficie de Rodadura.</i>	85
Tabla N° 14. <i>Superficie de rodadura de las carreteras de bajo volumen de tránsito.</i>	87
Tabla N° 15. Operacionalización de variables	103
Tabla N° 16. <i>Cantidad de muestra por calicata.</i>	107
Tabla N° 17. <i>Cantidad de muestras a ensayar.</i>	107
Tabla N° 18. <i>Fases de recopilación de datos.</i>	107
Tabla N° 19. <i>Ensayos (estándares y especiales) a realizar en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de Construcción de la UCP.</i>	108
Tabla N° 20. <i>Determinación del contenido de humedad (W %): para suelo arcilloso con adición de cal al 0 %.</i>	109
Tabla N° 21. <i>Análisis Granulométrico mediante tamizado por lavado: para suelo arcilloso con adición de cal al 0 %.</i>	109

Tabla N° 22. <i>Límite Líquido 0 % de cal: para suelo arcilloso.</i>	110
Tabla N° 23. <i>Límite Plástico 0 % de cal: para suelo arcilloso.</i>	110
Tabla N° 24. <i>Compactación Proctor Modificado 0 % de cal: para suelo arcilloso.</i>	110
Tabla N° 25. <i>Ensayo CBR en laboratorio 0 % de cal: para suelo arcilloso.</i>	110
Tabla N° 26. <i>Materiales a utilizar para realizar el proyecto.</i>	111
Tabla N° 27. <i>Equipos a utilizar para realizar el proyecto.</i>	111
Tabla N° 28. <i>Características técnicas de la carretera de penetración Ex Petroleros (6.5 km), ubicada en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto.</i>	112
Tabla N° 29. <i>Proporción de las combinaciones y símbolos de cada material.</i>	119
Tabla N° 30. <i>Granulometría, muestras de suelos arcilloso y combinaciones, calicata 1.</i>	124
Tabla N° 31. <i>Granulometría, muestras de suelos arcilloso y combinaciones, calicata 2.</i>	125
Tabla N° 32. <i>Límites de Atterberg, calicata 1.</i>	126
Tabla N° 33. <i>Límites de Atterberg, calicata 2</i>	126
Tabla N° 34. <i>Clasificación de suelos C-1</i>	127
Tabla N° 35. <i>Clasificación de suelos C-2</i>	127
Tabla N° 36. <i>Determinación del PH, combinaciones de suelo arcilloso y cal, calicata 1.</i>	129
Tabla N° 37. <i>Determinación del PH, combinaciones de suelo arcilloso y cal, calicata 2.</i>	130
Tabla N° 38. <i>Resultados de Materia Orgánica de los suelos en su estado natural.</i>	131
Tabla N° 39. <i>Valores del Proctor Modificado en Calicata N°01 (C-1)</i>	131
Tabla N° 40. <i>Valores del Proctor Modificado en Calicata N°02 (C-2)</i>	133
Tabla N° 41. <i>Resultados de ensayos de CBR, de las combinaciones de suelo arcilloso y cal, calicata 1.</i>	135
Tabla N° 42. <i>Resultados de ensayos de CBR, de las combinaciones de suelo arcilloso y cal, calicata 2.</i>	136
Tabla N° 43. <i>Valores de Hinchamiento promedio, de las combinaciones de suelo arcilloso y cal, Calicata N° 01.</i>	137

Tabla N° 44. *Valores de Hinchamiento promedio, de las combinaciones de suelo arcilloso y cal, Calicata N° 02.*

137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Curva granulométrica de un suelo. Fuente: Según Lambe. (1951).	45
Figura N° 2. Curvas granulométricas. Fuente: Muelas s.f.	45
Figura N° 3. La caolinita, mineral eléctricamente neutro.	53
Figura N° 4. Esquema de una unidad hexagonal de una lámina silícica. Fuente: Fernández. (1991). (23)	54
Figura N° 5. Esquema de una unidad hexagonal de una lámina silícica. Fuente: Fernández. (1991). (23)	55
Figura N° 6. <i>Km 41.5 de Carretera Iquitos-Nauta, Carretera ExPetroleros, zona de extracción de las muestras de arcillas. Fuente: Google Maps. (2019).</i>	113
Figura N° 7. <i>Zona de extracción de las muestras de arcillas. Fuente: Google Maps. (2019).</i>	114
Figura N° 8. Zona de extracción de las muestras de arcillas. Fuente: Google Maps. (2019).	114
Figura N° 9. Maynas dentro del Mapa político de la Región Loreto. Fuente: Gobierno Regional de Loreto- GOREL.	115
Figura N° 10. <i>Loreto dentro del Mapa político del Perú. Fuente: Gobierno Regional de Loreto- GOREL.</i>	116
Figura N° 11. Curva de distribución granulométrica, muestra de suelo calicata 1. Fuente: <i>Elaboración propia de los Autores. (2019).</i>	124
Figura N° 12. Curva de distribución granulométrica, muestra de suelo calicata 2. Fuente: <i>Elaboración propia de los Autores. (2019).</i>	125
Figura N° 13. <i>Variación del pH con respecto al porcentaje de cal, calicata 1. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).</i>	130
Figura N° 14. Variación del pH con respecto al porcentaje de cal, calicata 2. Fuente: <i>Elaboración propia de los Autores. (2019).</i>	130
Figura N° 15. <i>Variación del MDS con respecto al contenido de Cal, para las combinaciones de suelo arcilloso y Cal, en Calicata N° 01. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).</i>	132
Figura N° 16. <i>Variación de los Óptimos Contenidos de Humedad con respecto al contenido de Cal, para las combinaciones de suelos, en la Calicata N° 01. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).</i>	132

- Figura N° 17.** Variación de los Óptimos Contenidos de Humedad con respecto al contenido de Cal, para las combinaciones de suelos, en la Calicata N° 02. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019). 133
- Figura N° 18.** Variación del MDS con respecto al contenido de Cal, para las combinaciones de suelo arcilloso y Cal, en Calicata N° 02. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019). 133
- Figura N° 19.** Curvas de Compactación para combinaciones de suelo arcilloso con Cal, Calicata N°01. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019). 134
- Figura N° 20.** Curvas de Compactación para combinaciones de suelo arcilloso con Cal, Calicata N°02. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019). 134
- Figura N° 21.** Variación del CBR con respecto al contenido de Cal, Calicata N° 01. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019). 135
- Figura N° 22.** Variación del CBR con respecto al contenido de Cal, Calicata N° 02. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019). 136
- Figura N° 23.** Variación del Hinchamiento promedio con respecto al contenido de Cal, Calicata N° 01. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019). 137
- Figura N° 24.** Variación del Hinchamiento promedio con respecto al contenido de Cal, calicata 2. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019). 138

ÍNDICE DE FOTOS

<i>Foto N° 1. Zona de extracción de las muestras de suelo arcilloso, carretera ExPetroleros. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).</i>	116
Foto N° 2. Exploración geotécnica en la zona de estudio. Carretera ExPetroleros. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).	117
Foto N° 3. Exploración geotécnica en la zona de estudio. Carretera ExPetroleros. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).	117
Foto N° 4. Carretera ExPetroleros.	163
Foto N° 5. Carretera ExPetroleros.	163
Foto N° 6. Excavación Calicata.	164
Foto N° 7. Recolección de las muestras de suelos en la carretera ExPetroleros.	164
Foto N° 8. Determinación de la humedad natural de los suelos de ambas calicatas.	165
Foto N° 9. Pesado de las muestras para determinación de la humedad natural del suelo.	165
Foto N° 10. Secado de las muestras de suelo extraído.	166
Foto N° 11. Suelo seco Calicata N° 01	166
Foto N° 12. Suelo seco Calicata N° 02.	167
Foto N° 13. Combinación de suelos arcilloso con diferentes porcentajes de cal, para ensayos de granulometría y límites de Atterberg.	167
Foto N° 14. Lavado del material con el tamiz de malla N° 200.	168
Foto N° 15. Tamizado de diferentes combinaciones de suelo y cal.	168
Foto N° 16. Pesado de suelo retenido en cada tamiz.	169
Foto N° 17. Copa de Casagrande para ejecución de ensayos de límite líquido.	169
Foto N° 18. Uso de la Copa de Casagrande.	170
Foto N° 19. Pesado de la cal a ser utilizada en cada combinación de suelo.	170
Foto N° 20. Combinación de suelos arcillosos con dosis de cal.	171
Foto N° 21. Pesado de los diferentes porcentajes de agua a ser utilizada.	171
Foto N° 22. Pesado de suelo a utilizarse en cada molde de Proctor.	172

Foto N° 23. Muestras de suelo combinadas con porcentaje de cal, para ser combinados con porcentajes de agua.	172
Foto N° 24. Mezclado de muestra de suelo con porcentaje de agua.	173
Foto N° 25. Molde de Proctor modificado, listo a para ser enrasado y pesado.	174
Foto N° 26. Pesado de molde más suelo compactado, Proctor modificado.	174
Foto N° 27. Peso de taras más suelo, para determinar contenido de humedad.	175
Foto N° 28. Mezcla de suelo con adición de cal para ensayo de CBR.	175
Foto N° 29. Preparación de Moldes de CBR para ensayar	176
Foto N° 30. Moldes a ser utilizadas durante el ensayo de CBR.	176
Foto N° 31. Moldes de CBR listas para ser sumergidas.	177
Foto N° 32. Dial para medir las deformaciones en los moldes sumergidos.	177
Foto N° 33. Lectura inicial de deformación en molde, antes de ser sumergida en poza de agua.	178
Foto N° 34. Moldes de CBR durante el período de inmersión.	178
Foto N° 35. Lectura de deformación durante los días de inmersión en agua.	179
Foto N° 36. Moldes listos para ser pesados en su estado saturado.	179
Foto N° 37. Colocación de molde para la penetración con la prensa de CBR.	180
Foto N° 38. Ajuste de Dial, durante el uso de la prensa de CBR.	180
Foto N° 39. Muestras de suelo arcilloso y sus combinaciones, para determinar pH en laboratorio.	181
Foto N° 40. Pesado de muestra para determinar su pH.	181
Foto N° 41. Lectura de pH en muestra disuelta en agua destilada.	182

RESUMEN

Continúa en aumento el porcentaje de suelos estabilizados con fines de construcción de obras viales, modificando sus propiedades físicas y/o químicas para hacerlo capaz de cumplir los requisitos de capacidad de soporte y durabilidad deseados y no eliminarlo por inapropiado, lo cual se considera una buena solución, desde el punto de vista económico y ambiental, además supone un auténtico reciclado de suelos no aprovechables.

Los suelos arcillosos en subrasantes de carreteras no pavimentadas constituyen serios problemas, debido a su elevada plasticidad, reducida capacidad de soporte e inestabilidad volumétrica, cambiantes en el tiempo en función de la humedad; por ello, nuestro objetivo ha sido estudiar el efecto de la cal como material estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en la Selva Baja Peruana donde predominan los suelos residuales - suelos saprolíticos y lateríticos. Para la evaluación se trabajó aplicando la Norma ASTM 6276 y el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, y Manual de Ensayos de Materiales E 118 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú; adicionando porcentajes de 0%, 2%, 4%, 6% y 8% de cal, en peso de la muestra de suelo arcilloso extraído de la capa de subrasante. Los resultados obtenidos en esta investigación arrojaron variaciones en el índice de plasticidad; en la muestra C-1, se obtuvo un valor inicial de 39.12, dicho valor bajó hasta 22.93 con la adición de cal al 8%; en la muestra C-2 se tuvo un valor inicial de 26.11, el cual bajó hasta 17.17 con la adición de cal al 8%. También se obtuvo una variación considerable en el CBR; en la muestra C-1 se logró alcanzar un valor de 9.35%, al adicionarle cal al 8%, siendo el CBR con cal al 0% de 1.70; en la muestra C-2 se logró alcanzar un valor de 11.20%, al adicionarle cal al 8%, siendo el CBR con cal al 0% de 3.65. Evaluando los resultados, con los diferentes porcentajes de cal, para el tipo de suelo A-7-6 para ambas muestras C-1 y C-2, se tiene mejores resultados con la adición de 8% de cal con la cual se obtiene el máximo CBR al 95% de máxima densidad seca, que es de 9.35% y 11.20% respectivamente.

Palabras clave: Estabilizante, cal, suelo arcilloso, subrasante.

ABSTRAC

The percentage of stabilized soils for the construction of road works continues to increase, modifying its physical and / or chemical properties to make it capable of meeting the desired support capacity and durability requirements and not eliminating it as inappropriate, which is considered a good solution, from the economic and environmental point of view, also involves a genuine recycling of unusable soils.

Clay soils in sub-roads of unpaved roads are serious problems, due to their high plasticity, reduced support capacity and volumetric instability, changing over time as a function of humidity; Therefore, our objective has been to study the effect of lime as a stabilizing material of a subgrade of clay soil in the Peruvian Low Forest where residual soils predominate - saprolitic and lateritic soils. For the evaluation, we worked by applying ASTM 6276 and the Road Manual: Soils, Geology, Geotechnics and Pavements, and Materials Testing Manual E 118 of the Ministry of Transportation and Communications of Peru; adding percentages of 0%, 2%, 4%, 6% and 8% lime, by weight of the clay soil sample extracted from the subgrade layer. The results obtained in this investigation showed variations in the plasticity index; in sample C-1, an initial value of 39.12 was obtained, said value decreased to 22.93 with the addition of lime to 8%; in the C-2 sample, there was an initial value of 26.11 which fell to 17.17 with the addition of lime to 8%. Considerable variation was also obtained in the CBR; in the C-1 sample, achieving a value of 9.35% by adding 8% lime, the CBR with 0% lime being 1.70; in the C-2 sample, achieving a value of 11.20% by adding 8% lime, the CBR with 0% lime being 3.65. Evaluating the results, with the different percentages of lime, for the soil type A-7-6 for both samples C-1 and C-2, we have better results with the addition of 8% lime with which the maximum CBR at 95% maximum dry density, which is 9.35% and 11.20% respectively.

Keywords: Stabilizer, lime, clay soil, subgrade.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de la Investigación

La cal es uno de los conglomerantes hidráulicos de mayor data en el mundo de la construcción. Las referencias ancestrales de su uso, señalan que su producción se basa en procesos naturales aplicados sobre materiales naturales presentes en el medio de manera frecuente (1). Desde siempre, en la construcción se lo ha usado como material aglomerante. La obra más antigua que se conoce, tiene aún el espesor de 25 cm y data de nada menos 5 600 años A.C., fue descubierta durante excavaciones efectuadas en las riberas del río Danubio en Lapenski Vir (Yugoslavia). Fue empleada para hacer pisos de chozas en un pueblo de la edad de piedra.

El Instituto Salvadoreño de la Construcción en el 2006 indicó: “La estabilización de la arcilla con cal también fue conocida por la China y la India; así las pirámides de Shresi en el Tíbet fueron construidas con mezclas compactadas de arcilla y cal (2). También, se usó la cal, como material de unión y sellante de bloques en la pirámide de Kheops, en la cual cada bloque pesa más de 3 toneladas y son unidos por juntas de espesor inferior a medio milímetro. Juntos todos los bloques forman una pirámide de 2.600.0000 m³ y 146 metros de altura, no superada ésta, durante los siguientes 400 años, sino hasta la construcción de algunas catedrales.

Centrándonos en el tratamiento de suelos, recordemos la famosa “Vía Apia” de la época de la civilización romana y que aún está en "servicio" y que se construyó mezclando el suelo existente con cal. Para la Federación Internacional del Cemento FICEM (2007) “El hombre ha usado tanto la cal como diversos aglomerantes puzolánicos en la estabilización de cohesivos. En civilizaciones como la Inca o la Azteca, los caminos estabilizados fueron clave para el desarrollo de diversas actividades, pero ya en el siglo XX se lograron avances en la producción de conglomerantes

y en el desarrollo de equipos de construcción y técnicas de ejecución que permitieron usarlo (3).

Con el tiempo se crearon las condiciones óptimas para la realización de muchos experimentos en mezclas de suelo y cemento – cal que mostraron las posibilidades de aprovechamiento de los suelos existentes, modificados en mayor o menor grado por la mezcla de los mismos con cemento Portland y agua y su posterior compactación. En los últimos decenios su uso se ha extendido a la mejora de suelos para su estabilización en todo tipo de vías y explanaciones; sin embargo, fue en los EE.UU., a finales de 1940, cuando se aplicaron a las mezclas de cal y suelo las técnicas y ensayos de la Mecánica de Suelos que se desarrollaban en aquella época. El tratamiento de arcillas con cal comenzó en 1950, y la técnica aumentó su popularidad con gran rapidez. En los últimos decenios su uso se ha extendido a la mejora de suelos para su estabilización en vías y explanaciones; así se han construido miles de kilómetros de carreteras, así como principales aeropuertos como el de Dallas Fort Worth, sobre arcillas estabilizadas; técnica que también se practica extensamente en Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda, Alemania, Suecia y Francia (2).

Huezo (4), en la tesis “Guía Básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en El Salvador”, estudiaron suelos plásticos ($IP \geq 10$) y llegaron a las siguientes conclusiones: a). La adición de cal disminuye la plasticidad del suelo, reduciendo de igual manera su cohesión, y la resistencia en los primeros días de curado; razón por la cual la resistencia a la compresión en probetas elaboradas con suelo natural a temprana edad, son superiores que las de mezcla de suelo- cal; b). La adición de cal disminuye considerablemente la plasticidad de los suelos, para este suelo en particular con el porcentaje óptimo de cal (determinado bajo la Norma ASTM D 6276) esta propiedad se reduce a cero (0), provocando además

un considerable cambio en su granulometría y de igual manera en su clasificación, pasando de un suelo arcilloso (CL) a ser un suelo limoso (ML); c). La dosificación del porcentaje de cal a utilizar, dependerá de las características y propiedades que presenta cada suelo en particular.

La capacidad portante o CBR (California Bearing Ratio) de los materiales de las capas de subrasante y del afirmado, deberá estar de acuerdo a los valores de diseño; no se admitirán valores inferiores. En consecuencia, si los materiales a utilizarse en la carretera no cumplen las características generales previamente descritas, se efectuará la estabilización correspondiente del suelo. De esta forma, se podrán utilizar suelos de características marginales como subrasante o en capas inferiores de la capa de rodadura y suelos granulares de buenas características, pero de estabilidad insuficiente (CBR menor al mínimo requerido) en la capa de afirmado (5).

Gutierrez (6), en su trabajo de Tesis “Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de calcio”, evaluó técnica, económica y ambientalmente las ventajas y desventajas de la estabilización química de suelos utilizando Bischofita y cloruro de calcio (producto a base de cal) considerando su uso en bases y subbases de las carreteras no pavimentadas y de bajo tránsito de la costa peruana; y, en su Informe Final de Tesis, efectúa una serie de precisiones, algunas de las cuales se presenta en las Bases Teóricas del presente Anteproyecto.

En cita del Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (Pág. 121), La National Lime Association, resume las propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal, en las siguientes:

1. Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.

2. Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.
3. Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
4. La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
5. Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
6. Incremento de la resistencia a la comprensión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzando en algunos casos hasta un 40% de incremento.
7. Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR) en el tiempo.
8. Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.
9. Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas.

La Experiencia Americana ha demostrado que una estabilización con cal tiene excelentes resultados, en los siguientes casos:

- a) Materiales compuestos por mezclas de grava y arcilla para su uso como capa granular superficial con una incorporación de 2 a 4% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en peso.
- b) Suelos altamente arcillosos para usarlos como capa granular superficial (5 a 10% de cal en peso) o como capa inferior (1 a 3% de cal en peso). (6).

Según la National Lime Association, Los factores siguientes: Mantenimiento de tráfico, limitaciones climáticas, flexibilidad en la construcción, perjuicios a causas de lluvias, entre otros, deberán ser considerados tanto por ingenieros como por contratistas en el diseño y la construcción de caminos estabilizados con cal (7).

Vásquez (8), en su investigación “Pavimentos no tradicionales para carreteras de Selva Baja con bajo volumen de tránsito, aplicación: Carretera Contamana – Aguas Calientes, Loreto”, señala que de los diversos métodos de estabilización de suelos existentes, se elige el pertinente en función al tipo de suelo, procedimientos constructivos, costos y a las condiciones que deberá soportar la vía durante su vida de servicio. Para conocer las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante en su estado natural, como trabajo de campo se ejecutaron dieciocho calicatas de 1.50 m de profundidad, distanciadas entre sí un km, además se ejecutaron ensayos de penetrómetro dinámico de cono (PDC), con la que se determinó el CBR in situ y con estos resultados se sectorizó la carretera en dos sectores: el primero comprendido entre las progresivas 00+000 a 14+400 presenta suelo arcilloso de alta plasticidad; y, el segundo sector comprendido entre las progresivas 14+400 a 18+200 presenta suelos arenosos. El investigador para proceder al diseño de suelo-cal, suelo-cemento y suelo-asfalto, utilizó las dos únicas canteras estudiadas por la empresa contratista “Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana”: una de arcilla color beige, de alta plasticidad, consistencia media y 24% de humedad natural, clasificada como CH (SUCS) o A-7-6(17) (AASHTO), de 1103 kg/m³ de peso volumétrico, de 1297kg/m³ de peso unitario varillado y de 2.67 de gravedad específica, y la otra de material arenoso, clasificada como SM (SUCS) o A-2-4(0) (AASHTO) de 12% a 14 % de contenido de humedad y peso volumétrico comprendido entre 1350 kg/m³ y 1359 kg/m³, 2.61 de gravedad específica y un porcentaje de equivalente de arena entre 70% y 76%. Llegó a las siguientes conclusiones:

“En selva baja, los métodos químicos de estabilización de suelos son los más apropiados; y, dentro de ellos, la estabilización con cal hidratada se comportó mejor con suelos arcillosos, debido a la interacción química con éstas, siendo necesario adicionar como mínimo un 3% en peso, para asegurar el incremento de resistencia, obteniendo para la

cantera a usar la necesidad de 6%, con el cual aseguró que el CBR de diseño de espesores para el nivel de sub base requerido supere el 26%. Recomendando, para el diseño adecuado de mezcla suelo-cal, las especificaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, por las cuales el suelo debe cumplir las siguientes condiciones: contenido de materia orgánica menor a 3%, índice de plasticidad mayor a 15 y el porcentaje que pasa la malla # 200 mayor al 35%.”.

Beltran (9), en su trabajo de Tesis “Estabilización de un suelo arcilloso con cal hidratada, para ser utilizada como capa subrasante de pavimentos en la Colonia San Juan Capistrano de ciudad Obregón, Sonora”, determinaron el % óptimo de cal que se le debe agregar al suelo para ser utilizado como capa subrasante, basado en los métodos establecidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de los Estados Unidos Mexicanos, la cual para subrasante, exige un valor de CBR del 20% mínimo y una expansión de 2% máxima. Las muestras fueron obtenidas del sector localizado entre las colonias Casa Blanca y San Juan Capistrano en Cd Obregón, Sonora, (Costado Sur del fraccionamiento San Juan de Capistrano, localizado al poniente de Cd Obregón), el cual contenía más del 25% de partículas finas y un índice plástico mayor del 10% propiedades que lo hacen susceptible a ser estabilizado con cal. El suelo natural se clasificó como una arcilla de baja compresibilidad (CL), arrojando valores relativamente bajos, con un valor CBR del 2,17% y un porcentaje de expansión del 2,79%. Al no cumplir las especificaciones, se decidió estabilizar el suelo con el método de Eades & Grim (ASTM D – 6276), el cual consiste en medir el nivel de pH de las muestras de suelo – cal, determinándose el % óptimo de cal que requirió el suelo analizado para lograr estabilizarlo, encontrándose que el suelo requiere de 6% de cal en peso para el cual se alcanzó un CBR del 73,5%, muy por encima del requerimiento mínimo exigido por la SCT optándose por establecer la relación del valor CBR en base a su porcentaje de cal en peso, con la finalidad de disminuir el porcentaje de cal y apegándose al

20% requerido. Para ello, se elaboraron especímenes de 2%, 4%, 6% y 8% de cal en peso que se saturaron para cuantificar las magnitudes de penetración especificadas. Al introducir los resultados en la gráfica, se determinó que ese suelo requiere de una cantidad de 2,5% de cal en peso para alcanzar el valor mínimo requerido del 20% de CBR (realmente se logró 22%), con lo cual también se redujo su índice de plasticidad de 21% a 6% y el porcentaje de expansión de 2,79% a 0,99%.

Núñez (2) en su tesis para optar el Título de Ingeniero Civil “Elección y Dosificación del Conglomerante en estabilización de Suelos”, que consistió en determinar un método óptimo y sencillo de alcanzar la estabilización de un suelo de alta plasticidad, cuyo IP era de 18.425, tomó en cuenta las investigaciones existentes que ya indican, que es posible determinar el tipo de conglomerante a usar por medio del IP, decidió estabilizar con cal, (cuando se obtiene un IP menor a 10, es un suelo no plástico y el conglomerante más adecuado es el cemento), indicó: “La estabilización de suelos no es más que el proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas. Se dice también que, es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad”. También ha señalado que “Se ha determinado que al mezclar la arcilla con cal apagada los iones de calcio sustituyen algunos iones metálicos presentes en la película de agua que rodea a la partícula de arcilla y que son responsables de los cambios volumétricos, además, si el suelo tratado contiene suficiente sílice y alúmina estos pueden reaccionar formando silicatos de calcio y alúmina. Estos silicatos tienen un gran poder cementante, lo que implica que al agregar cal también se logra aumentar la resistencia del suelo”. Realizó ensayos para determinar los límites de Atterberg, granulometría, clasificar el suelo según SUCS y AASHTO, pH, prueba de Eades y Grim, valor cementante, equivalente de arena, VRS,

compresión. El suelo a estabilizar procedió de una excavación en “Fraccionamiento Lander – Misión del Real” a una profundidad de 2.00m, con un contenido de humedad natural $w = 8.34\%$, peso específico en estado inalterado de 1459.3 kg/m^3 , densidad de sólidos igual a 2.29, $LL = 36.5\%$, $LP = 18.075$, $IP = 18.425\%$, correspondiendo a una arcilla inorgánica de textura muy fina de color roja, que según SUCS corresponde a un CH (arcilla de alta compresibilidad) y según AASHTO a un suelo A-6 (5) La prueba de Eades y Grim que requiere que el pH sea de 12.4 arrojó que el porcentaje óptimo de cal fue de 1% con un pH de 12.67, de lo cual resultó que cada 1 000 kg de suelo se estabilizara con 10 kg de cal.

Ruano (10) en su investigación utilizó dos grandes tipos de muestras de suelos con características cohesivas, extraídas del norte del departamento de Guatemala – carretera al Municipio de Palencia; y, experimentó su estabilización de los suelos mencionados adicionándole arena sílice, arena azul y cal viva; llegando a comprobar que la cal viva es un material muy eficaz en la estabilización de suelos cohesivos, ya que se puede lograr una estabilización de bajo costo mezclándola con arena sílice y arena azul, dado que los bancos de estos materiales están ubicados a 26 km y 22 km de la ciudad de Guatemala, respectivamente y ambos están a unos cuantos km de la autopista que conduce de la capital a Agua caliente sobre la ruta del Atlántico. Las muestras propuestas de su diseño van del 10, 25 y 50 por ciento de arena sobre el material a estabilizar y una cantidad entre 2% a 8% en peso de cal viva, logrando obtener desde un valor de CBR de 52,6 % a 91,5% , rango que coincide con diversas investigaciones sobre estabilización de suelos realizados en el Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos; a la vez, recomienda realizar el mismo proceso de estabilización con arenas volcánicas y cal viva, pero utilizando suelos de alta plasticidad.

Martinez (11), en su trabajo de investigación en la Universidad Veracruzana, evaluó el mejoramiento de suelos arcillosos empleando

materiales cementantes. Su investigación se centró en la evaluación del deterioro de los caminos cimentados sobre arcillas de mediana a alta plasticidad y que se hallaban revestidos o sin revestir, de la Colonia Lomas Verdes emplazada a 1427 msnm y ubicada al norte de la Ciudad de Xalapa – Golfo de México. Las muestras que se registraron y estudiaron pertenecen a tres puntos distintos de la calle, ubicados estratégicamente, situándose una muestra a la mitad de la longitud y en el centro del camino, los siguientes dos se localizaron en los extremos del camino y opuestos en sentido, es decir el del lado derecho norte se tomó del lado izquierdo (hombro izquierdo) y el del lado sur del lado derecho (hombro derecho). Los resultados de los suelos naturales sometidos a ensayos arrojaron para el L.L., I.P. y C.B.R. valores de 37,3%, 13,3% y 27,7 respectivamente, siendo los indicados en el proyecto, para el L.L. máximo permisible de 30%, para el I.P. máximo de 10% y para CBR mínimo de 50%. Con los resultados obtenidos en la mezcla del suelo con cal para el caso del Límite Líquido, se obtuvieron todos los valores en los diferentes porcentajes por arriba del 30% especificado, por lo que concluyó que la acción de la cal con el tipo de suelo encontrado no presenta buen desempeño para mejorar este parámetro; sin embargo, para el Índice Plástico, los porcentajes de cal que reducen son los de 2% y 4 % colocándolos en 9.5% y 7.6%, cumpliendo con el máximo permitido de 10%; y, en cuanto a las densidades encontradas menores a la natural, infirió que las mezclas de suelo con cal son más estables ante cambios volumétricos, encontrándose un punto de equilibrio para con un 4% de cal.

Según señala Perez (12), en el Brasil, en la investigación desarrollada por Nardi (1975) y más tarde complementado por la investigación de Marcon (1977) fue comprobada la estabilización de arena con ceniza volante y cal. Este trabajo dio lugar a la implantación de un tramo de prueba que se encuentra en las orillas de la BR- 101 en la ciudad de Imiturba, en donde fue construido una sub base de arena estabilizada con cenizas y cal, sobre arena de la subrasante con éxito. Asimismo,

Pérez (2012) refiere que, en Brasil también se presentó en la revista de Soils and Rocks de fecha enero a abril del año 2012, un artículo titulado “Modification of a Lateritic Soil with Lime and Cement: An Economical Alternative for Flexible Pavement Layers”, F.H.M. Portelinha, D.C. Lima, M.P.F. Fontes, C.A.B. Carvalho; donde se explica la investigación realizada sobre suelos lateríticos de Brasil y que están ampliamente extendidos en el territorio nacional y que han sido utilizados como subbase de capas de pavimentos. Específicamente, los suelos arcillosos de color rojo y amarillo se caracterizan como materiales de baja capacidad de carga para las capas de pavimentos flexibles. Como una solución convencional, se ha utilizado como refuerzo de subrasante de pavimentos, la estabilización de suelos con cal hidratada o cemento Portland; pero, no obstante, la adición de bajos contenidos de estabilizadores en la modificación del suelo, no se han aplicado de manera regular en los diseños de carreteras. El propósito del trabajo de investigación referido fue, evaluar el uso de bajo contenido de cal y cemento en la modificación de las propiedades de los suelos lateríticos y una relación con el comportamiento de las mezclas desde el inicio de la construcción hasta el producto final resultante. En este punto se evaluaron, la manejabilidad, propiedades químicas, comportamiento mecánico y la composición mineralógica. Los análisis mecánicos se realizaron con el fin de verificar las fallas por fatiga de las capas de pavimento en carreteras. Los resultados experimentales mostraron que la adición de 2% y 3% de cal o cemento fue suficiente para cambiar la trabajabilidad y la resistencia mecánica del suelo, llegando a las siguientes conclusiones:

- Bajos contenidos de cal y cemento fueron eficientes en cambios de trabajabilidad de suelos lateríticos de color rojo-amarillo, destacando mejores cambios por adición de 3% de cemento, pues se observó, que otras adiciones de cal y cemento no cambian el IP del suelo.
- Las propiedades químicas de las mezclas son compatibles con el comportamiento de plasticidad, mostrando que la cantidad de cal

es de alrededor de 3% en este suelo (suelo del estudio referido), por lo tanto, el suelo estudiado en la investigación citada, puede soportar las alteraciones mineralógicas. Asimismo, la hidratación y reacción del cemento favorece la disminución del IP.

- La cal estabiliza y elimina la hinchazón del suelo, mientras que la adición del 2% de cemento la incrementa.
- El suelo estabilizado promueve el incremento de esfuerzos y el módulo inicial tangente, principalmente después de 28 días de curado, donde el cemento es el material más eficiente. Las alteraciones mayores de esfuerzos ocurrieron con 2% y 3% de cal y cemento, aunque la adición de 1% era suficiente para proporcionar 50% del aumento de resistencia a la compresión no confinada en comparación con el suelo sin tratar. La adición de bajos contenidos de estabilizadores aumentó el módulo tangente inicial y fueron significativamente mayores que la compresión no confinada de esfuerzos (UCS).

Pérez (12) en su trabajo de Tesis para optar el Grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Geotécnica por la Universidad Nacional de Ingeniería, estudió el efecto que produce en el comportamiento de un suelo arcilloso la adición de cenizas volantes de carbón y cemento Portland en diferentes proporciones para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos. Los 800 kg de material de las muestras de suelo conformantes de la subrasante fueron cien por ciento (100%) arcilla de alta plasticidad (CH), se obtuvieron en el talud del km 132, lado derecho de la carretera Villa Rica – Puerto Bermúdez, ubicada en la provincia de Oxapampa, departamento de Pasco (zona de la selva central). Asimismo, de la ciudad de Ilo – Moquegua, se recolectó la muestra de ceniza volante de la Central Termoeléctrica de Ilo 21; recolectándose 500 kg de ceniza volante. Las muestras se llevaron al Laboratorio N° 2 de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería. Para evaluar su comportamiento, realizó ensayos para

caracterizar el suelo natural, la ceniza volante, las mezclas suelo – ceniza volante y suelo – ceniza volante – cemento, llegando a las siguientes conclusiones:

- Las cenizas volantes de tipo F (principales componentes: SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 representan más del 70%) funcionan como aditivo inhibidor de las propiedades expansivas del material, pero éste requiere ser adicionado en porcentajes excesivos, al menos en el caso de una arcilla expansiva, en promedio mayor a 20%. (12).
- Los resultados del Ensayo Mineralógico de Difracción de Rayos X realizados en el Laboratorio de INGEMET y los ensayos de materia orgánica de arcilla y cal realizados en el Laboratorio Químico “LASA Ingenieros”, demostraron que el suelo arcilloso y la ceniza volante están constituidos principalmente por cuarzo (SiO_2).
- El suelo estudiado tipo CH / A-7-6 (14) corresponde a una arcilla inorgánica de alta plasticidad y según la investigadora no es recomendable para el uso como subrasante en pavimentos. Sin embargo, Pérez (2012) indica que las arcillas en combinación con cenizas volantes y cemento en un 3%, da buenos resultados mejorando la resistencia del suelo arcilloso estudiado desde 7,7% hasta 51% de CBR al 100% de la máxima Densidad Seca del Proctor Modificado, lo que implica menores espesores de pavimento, obteniéndose menores costos durante la construcción. La adición de ceniza volante en la muestra de arcilla disminuyó los efectos de expansión, también disminuye la gravedad específica y la plasticidad y humedad de la arcilla.

Según refiere Jara (13), en Costa Rica Arrieta et al (2010) estabilizando suelos con cal con porcentajes de 2%, 4%, 6% y 8% logran resultados que se encuentran por encima de la resistencia a la compresión

mínima (1725 kpa) solicitada para el material a utilizar como sub base o material selecto en pavimentos flexibles, inclusive los resultados están muy por encima de este valor, con resistencias que van desde los 3103 kPa hasta los 3790 kPa, aproximadamente; entonces, concluyen que, las dosificaciones pueden ser reducidas y aun así cumplirán con los requisitos de resistencia, sin embargo no llegan a ser suficiente para ser utilizada como una base. Refiere que, en el Perú, la estabilización de suelos arcillosos con cal esta fundamentalmente centrado en la selva amazónica por contar con una gran variedad de suelos arcillosos y con alto contenido de humedad. En el Tercer Congreso Internacional realizado en Sao Pablo, Brasil, de Infraestructura de Transportes (CONINFRA, 2009) presentaron una estabilización de una subrasante de suelo arcilloso con cal llegando a obtener los siguientes resultados como se muestra en la **Tabla N° 1**.

Tabla N° 1. Adición de Cal

% CAL	PASA N°200	L.L.	IP	CLASIFICACIÓN AASHT O	SUCS	MAX. DENS .	HUM. OPT.	CBR 95% MDS 0. 1"	AL	COMPRESIÓN NO CONFINADA (28d) (Mpa)
0.0	36.7	29.4	10.2	A-4(0)	SC	1.945	13.3	23.0%		
2.0	38.6	30.6	7.4	A-4(1)	SM	1.920	13.7	54.0%		1.55
3.0	39.2	31.2	5.0	A-4(1)	SM	1.902	14.2	75.0%		1.97
4.0	39.2	31.2	5.0	A-4(1)	SM	1.902	14.2	82.5%		2.22
5.0	40.4	32.2	2.0	A-4(1)	SM	1.890	14.5	90.0%		2.24
6.0	41.0	30.1	3.9	A-4(1)	SM	1.870	14.7	69.0%		2.1

Fuente: CONINFRA. (2009).

(13) en su Trabajo de Tesis para optar el Título de Ingeniero civil en la Universidad Nacional de Cajamarca, evaluó el efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso, estudiando el límite líquido y límite plástico, la densidad seca máxima y el valor relativo de soporte (CBR) del suelo arcilloso de “la subrasante del acceso al Centro Comercial Open Plaza” en la ciudad de Cajamarca - Perú, sin adición de cal y después de la adición de cal al 2%, 4% y 6% en peso de la muestra de suelo arcilloso a evaluar, tomando estos porcentajes de cal según Norma ASTM 6276 y ejecutando los ensayos de acuerdo a procedimientos normados. Los resultados obtenidos de esta evaluación de estabilización contienen variaciones muy grandes, en el índice de plasticidad bajó a un

valor de 9.23 con la adición de cal al 6% siendo el Índice de plasticidad inicial de 36.87 con la adición de cal al 0%, y una variación considerable en el CBR (capacidad de soporte), logrando alcanzar un valor de 11.48% al adicionarle cal al 4%, siendo el CBR con cal al 0% de 2.55. Evaluando los resultados obtenidos, llegó a las siguientes conclusiones:

- Para el tipo de suelo perteneciente a la subrasante A-7-5(29) la dosis de cal al 4% es la óptima para estabilizarla, pues con esta dosificación se obtiene el máximo CBR al 95% que es de 11.48%.
- Con la adición de cal de 0%, 2%, 4% y 6% el comportamiento del límite líquido disminuye, teniendo su máxima disminución la muestra con cal al 4% con un 57.15. La muestra con cal al 0% tiene un límite líquido de 67.57.
- El límite plástico aumenta de acuerdo a la adición de cal logrando su máximo límite plástico de 47.60 con cal al 4%, el límite plástico menor es de 30.70 con cal al 0%.
- El índice de plasticidad disminuye, logrando la máxima disminución con la adición de 6% de cal, con un valor de 9.26. La muestra con cal al 0% presenta un índice plástico de 36.87, esto nos representa una disminución de un 74.97% del índice plástico.
- La densidad seca máxima con la adición de los diferentes porcentajes de cal disminuye, siendo el mínimo de 1.55 en la muestra con cal al 6%. El contenido de humedad aumenta siendo el máximo de 22.20% en la muestra con cal al 6%.
- El CBR de diseño al 95% máximo se logra con un porcentaje de cal de 4% con un valor de 11.48%. El CBR mínimo es de 2.55% sin adicionar cal a la muestra, el cual está por debajo de 6 exigido para subrasantes según norma (MTC EM 115). Este aumento del CBR es de hasta un 421.57%.

Palli (14), en su trabajo de tesis para optar el Título de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional del Altiplano, estudió la influencia de la estabilización de suelos con cal en las propiedades mecánicas de los

suelos plásticos (CBR), plasticidad, y expansión, para su uso en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román (Puno) y llegó a la conclusión “que la adición de cal a los suelos plásticos de la provincia de San Román mejora considerablemente la resistencia mecánica del suelo (CBR) hasta un 100% del valor del suelo convencional, cumpliendo de esta manera las Especificaciones Técnicas exigidas en las normas peruanas (EG-2013).

1.2 Bases Teóricas de la Investigación

1.2.1 Suelos

Jara (13) en su trabajo de tesis sobre “Efecto de la cal como estabilizante de una sub rasante de suelo arcilloso” haciendo referencia a (15), manifiesta que “Es común creencia que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización; pero en realidad se trata de un conjunto con organización definida y propiedades que varían "vectorialmente". En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la horizontal. El suelo tiene perfil, y éste es un hecho del que se hace abundante aplicación”.

1.2.1.1 Origen de los suelos

La mayoría de los suelos que cubren la tierra están formados por la meteorización de las rocas. Los geólogos emplean el término meteorización de las rocas para describir todos los procesos externos, por medio de los cuales la roca experimenta descomposición química y desintegración física, proceso mediante el cual masas de roca se rompen en fragmentos pequeños. Los suelos que provienen de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas presentan características diferentes si la alteración es física o química. Y así, cuando el efecto alterativo de las rocas se lleva a cabo por un medio físico se produce un suelo con la misma composición de ellas (16).

Esta fragmentación progresiva, debida a los agentes físicos como el sol, el agua, el viento y los glaciares, es un mero cambio físico y por eso se llama también meteorización mecánica (13). Por otra parte, la meteorización química de una roca para dar origen al suelo, es un proceso de descomposición, mediante el cual los minerales constitutivos de las rocas madre cambian su constitución mineralógica de él debido

principalmente a los agentes químicos, como la oxidación, carbonatación, y la hidratación (16). La meteorización mecánica es el proceso por el cual las rocas se fracturan en piezas de menor tamaño bajo la acción de las fuerzas físicas, como la corriente de agua de los ríos, viento, olas oceánicas, hielo glacial, acción de congelación, además de expansiones y contracciones causadas por ganancia y pérdida de calor. (17) (13)

En la descomposición química, los minerales persistentes se transforman en minerales de composición y propiedades físicas diferentes. Es preciso indicar que la desintegración física completa la descomposición, ya que los minerales y partículas rocosas de menor tamaño producidos por meteorización mecánica son mucho más susceptibles al cambio químico que los granos minerales firmemente soldados en grandes masas de roca compacta.

La meteorización química es el proceso de descomposición química de la roca original. Entre los distintos procesos de alteración química pueden citarse: la hidratación (paso de anhidrita a yeso), disolución (de los sulfatos en el agua), la oxidación (de minerales de hierro expuestos a la intemperie), la cementación (por agua conteniendo carbonatos), etc.,

Por ejemplo, la meteorización química de los feldespatos puede producir minerales arcillosos. Muy relacionada con la meteorización química se encuentra la meteorización biológica, producida fundamentalmente por la actividad bacteriana, originando putrefacciones en materiales orgánicos. La acción conjunta o individual de estos procesos de meteorización da lugar a un perfil de meteorización de la roca en función de la profundidad (ver figura 1). En este perfil la roca sana ocupa la zona más profunda, transformándose gradualmente a suelo hacia la parte más superficial. Así, por ejemplo, la observación de una trinchera recién abierta (una excavación para una carretera, una pared de cantera, etc.), a menudo revelará una sucesión de capas de diferentes materiales térreos. En la base del afloramiento puede haber roca compacta.

denominada roca firme; se encuentra todavía en su Jugar de origen y está relativamente poco modificada. La roca firme suele presentar innumerables grietas, denominadas juntas o diaclasas, que son consecuencia de esfuerzos principalmente asociados a una historia anterior de procesos tectónicos. Allí donde existen familias de juntas que se cruzan, la roca firme se desintegra fácilmente en bloques. Por encima de la roca firme puede haber una capa de materia mineral blanda, denominada regolita. (El prefijo rego viene de la palabra griega que significa "manto".) La regolita puede formarse in situ por descomposición y desintegración de la roca firme inmediatamente subyacente; este tipo se denomina regolita residual o suelo residual. Si esta capa de partículas minerales relativamente sueltas o blandas, dispuestas sobre la roca firme, es transportada por agentes tales como corrientes de agua, hielo, viento, olas, recibe el nombre de regolita transportada o suelo sedimentario (17).

1.2.1.2 Suelos residuales

Los suelos residuales se originan cuando los productos de la meteorización de las rocas no son transportados como sedimentos, sino que se acumulan in situ. Si la velocidad de descomposición de la roca supera a la de arrastre de los productos de descomposición, se produce una acumulación de suelo residual. Entre los factores que influyen sobre la velocidad de alteración en la naturaleza de los productos de meteorización están el clima (temperatura y lluvia), el tiempo, la naturaleza de la roca original, la vegetación, el drenaje y la actividad bacteriana. Los suelos residuales suelen ser más abundantes en zonas húmedas, templadas, favorables al ataque químico de las rocas y con suficiente vegetación para evitar que los productos de meteorización sean fácilmente arrastrados (17).

Carrillo (18) tratando sobre los ensayos de laboratorio de suelos residuales, señaló: "En el Perú, los suelos tropicales en un gran porcentaje

son de tipo saprolíticos, esto es, suelos arcillosos mezclados con limo y arena principalmente”.

Algunos resultados de ensayos de resistencia al cortante efectuadas en los suelos del Perú indican valores muy dispersos; sin embargo, se ha encontrado que la prueba de la veleta practicada en el campo en los suelos saprolíticos que se encuentran muy fisurados, la medida de la resistencia al corte sin drenaje efectuada en el campo arroja siempre valores mucho más confiables que las ensayos de laboratorio, comprobándose que estos valores son mucho más altos en casi todos los casos que los obtenidos por otros medios, siendo el límite más bajo los resultados de los ensayos triaxiales rápidos y los más próximos los resultados de los ensayos de Compresión-No-Confinada, quizás debido a la descompresión que sufren estos suelos al ser obtenidos en profundidad y a la alteración de los especímenes con el manipuleo, o los efectos de la succión en los suelos parcialmente saturados que hacen variar su resistencia al cortante”, al tratar sobre el tema de estabilización con cal de suelos residuales en la selva baja peruana, señaló: “De la investigación llevada a cabo con fines de estabilización con cal para algunos suelos saprolíticos de la amazonia peruana que permanentemente presentan contenidos, de humedad natural mucho mayores que el óptimo de compactación, se han encontrado algunos resultados de laboratorio para especímenes que presentan portancia tan baja como CBR de 1% a 5% en promedio, y que al mezclarse con cal se obtiene un aumento substancial en el valor del CBR para diferentes tiempos de curado, probablemente debido al desarrollo de la reacción puzolánica en el suelo, estableciéndose que con 5% a 6% de cal hidratada en peso es posible obtener un mínimo de 15% de CBR como resistencia inicial para las arcillas saprolíticas de la selva baja, y si se continua el curado, se encontró que después de un buen tiempo el CBR aumentó considerablemente llegando hasta valores mayores del 29% en 140 horas. En la mayoría de los casos, la adición de 5%, a 6% de cal hidratada fue suficiente para lograr resistencias adecuadas para el diseño de pavimentos de carreteras, calles y

aeródromos para aviones medianamente pesados que normalmente hacen servicio en las áreas selváticas del Perú” (19).

1.2.1.3 Suelos sedimentarios

La formación de los suelos sedimentarios puede explicarse más adecuadamente considerando la formación, el transporte y el depósito de los sedimentos. El modo principal de la formación de sedimentos lo constituye la meteorización física y química de las rocas en la superficie terrestre. En general, las partículas de limo, arena y grava se forman por la meteorización física de las rocas, mientras que las partículas arcillosas proceden de la alteración química de las mismas.

Según Muelas (17), los sedimentos pueden ser transportados por cualquiera de los cinco agentes siguientes: agua, aire, hielo, gravedad y organismos vivos. El transporte afecta a los sedimentos de dos formas principales:

- a) Modifica la forma, el tamaño y la textura de las partículas por abrasión, desgaste, impacto y disolución;
- b) Produce una clasificación o graduación de las partículas.

Después de que, las partículas se han formado y han sido transportadas se depositan para formar un suelo sedimentario. Las tres causas principales de este depósito en el agua son la reducción de la velocidad, la disminución de la solubilidad y el aumento de electrolitos. Cuando una corriente de agua desemboca en un lago, océano, etc., pierde la mayor parte de su velocidad. Disminuye así la fuerza de la corriente y se produce una sedimentación. Cualquier cambio en la temperatura del agua o en su naturaleza química puede provocar una reducción en la solubilidad de la corriente, produciéndose la precipitación de algunos de los elementos disueltos. Concluye que, el suelo es el resultado del proceso de meteorización de las rocas, con o sin transporte de los productos de alteración. Los suelos se caracterizan fundamentalmente por los siguientes aspectos:

- Los suelos están formados por partículas pequeñas (desde micras hasta algunos centímetros) e individualizadas que pueden considerarse indeformables.
- Entre estas partículas quedan poros con un volumen total del orden de magnitud del volumen ocupado por ellas (desde la mitad a varias veces superior).
- Un suelo en particular, es un sistema multifase (sólida, líquida y gaseosa).
- Los poros pueden estar llenos de agua (suelos saturados), o con aire y agua (suelos semisaturados), lo que condiciona la respuesta de conjunto del material.
- En condiciones normales de presión y temperatura, el agua se considera incomprensible.

1.2.1.4 Propiedades físicas y clasificación de los suelos

a. Relaciones peso-volumen

Como se mencionó anteriormente, el suelo constituye un sistema de tres fases diferenciadas: la sólida (partículas minerales), la líquida (agua generalmente) y la gaseosa (aire o gas). Un elemento de suelo natural se lo separa en sus tres fases para facilitar la deducción de las relaciones entre ellas. Las propiedades físicas se expresan, básicamente, a partir de las relaciones peso-volumen, (relaciones en volumen y relaciones en peso), la densidad o compacidad relativa, granulometría y plasticidad. Las relaciones en volumen son: índice de huecos o poros, porosidad y grado de saturación; y, las relaciones en peso: Humedad, peso específico de las partículas sólidas, peso específico del agua, peso específico seco, peso específico aparente y peso específico saturado (20).

b. Densidad o compacidad relativa

Una magnitud muy empleada para caracterizar la compacidad de un suelo

granular es la densidad relativa, definida como:

$$D_r = \frac{e_{Nás} - e}{e_{Nás} - e_{Nín}} \times 100 = \frac{Y_{dNás}}{Y_d} \times \frac{Y_d - Y_{dNín}}{Y_{dNás} - Y_{dNín}} \times 100$$

Siendo:

$e_{máx}$: Índice de huecos del suelo en el estado más suelto

$e_{mín}$: Índice de huecos del suelo en el estado más denso

e : Índice de huecos in situ

y_d : Peso específico seco in situ

$y_{dNás}$: Peso específico seco en el estado más denso ($e_{mín}$)

$y_{dNín}$: Peso específico seco en el estado más suelto ($e_{máx}$)

En la tabla siguiente se indican las denominaciones de la compacidad de los suelos granulares a partir de su densidad relativa:

Tabla N° 2. Denominaciones de la compacidad.

Densidad relativa (%)	Denominación
0-15	Muy suelto
15-35	Suelto
35-65	Medio
65-85	Denso
85-100	Muy denso

Fuente: Das (2001). (20)

c. Granulometría

En cualquier masa de suelo, los tamaños de las partículas varían considerablemente, es decir su distribución no es uniforme. Para clasificar apropiadamente un suelo se debe conocer su distribución granulométrica, es decir, la distribución, en porcentaje, de los distintos tamaños dentro del suelo. La distribución granulométrica de partículas de tamaño superior a 0,08 mm se determina generalmente mediante un análisis granulométrico por tamizado. Para partículas de tamaño inferior al mencionado (0,08 mm) se emplea la granulometría por sedimentación. El análisis granulométrico

por tamizado se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco, bien pulverizado y pasándolo a través de una serie de tamices (cuyo tamaño de malla suele ir disminuyendo en progresión geométrica de razón 2), agitando el conjunto. La cantidad de suelo retenido en cada tamiz se pesa y se determina el porcentaje acumulado de material que pasa por cada tamiz. El porcentaje de material que pasa por cada tamiz, determinado de la forma anterior, se representa en un gráfico semilogarítmico. El diámetro de la partícula se representa en una escala logarítmica (abscisas), y el porcentaje de material que pasa se representa en escala aritmética (ordenadas).

Según Muelas (17), una vez determinada dicha curva granulométrica, existen dos coeficientes que se utilizan para una mejor descripción de la granulometría de un suelo. Estos coeficientes son:

- Coeficiente de uniformidad: $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$
- Coeficiente de curvatura: $C_c = \frac{(D^2)_{30}}{D_{60} \times D_{10}}$

El coeficiente de uniformidad representa la relación entre el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 60% de material y el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 10% (20). “Sí, C_u es menor que 5 el suelo tiene una granulometría uniforme; si $5 < C_u < 20$, el suelo es poco uniforme; y, si $C_u > 20$, se considera suelo bien graduado. Cuanto más uniforme es el suelo, más uniforme es el tamaño de sus huecos y más difícil es su compactación, al no existir una cierta variación de tamaños que rellenen adecuadamente los huecos del suelo”.

El coeficiente de curvatura del suelo, también llamado de graduación, si adopta valores entre 1 y 3 se considera suelo bien graduado. Se determina dividiendo el cuadrado del diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 30% del material, entre el producto de los diámetros correspondientes a los tamices por los que pasa un 60% y un 10% del material.

Das (20) al tratar del análisis granulométrico con el hidrómetro, señala que: El análisis granulométrico por sedimentación (partículas de tamaño inferior a 0,08 mm) se lleva a cabo con el hidrómetro, y se basa en el principio de la sedimentación de las partículas de suelo en agua. Los hidrómetros están calibrados para mostrar la cantidad de suelo que está aún en suspensión en cualquier tiempo dado, t. El diámetro máximo de las partículas de suelo, aún, en suspensión en el tiempo t se determina mediante la ley de Stokes:

$$D = \sqrt{\frac{185}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

Donde:

D = diámetro de la partícula de suelo

G_s = peso específico de los sólidos

γ_w = viscosidad del agua

γ_m = peso específico del agua

L = longitud efectiva (es decir, longitud medida de la superficie del agua en la probeta al centro de gravedad del hidrómetro.

t = tiempo

Las partículas de suelo con diámetros mayores que los calculados con la ecuación anterior se habrán asentado más allá de la zona de medición. Así, con lecturas tomadas en tiempos diferentes en el hidrómetro, el porcentaje de suelo más fino que un diámetro dado puede calcularse y prepararse, a partir de los diámetros, una gráfica de la distribución granulométrica de los suelos.

Por su parte, Crespo (16), en su libro Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Sexta Edición, Limusa Noriega Editores, señala: Los Procedimientos para la determinación de los tamaños de partículas menores a 0.074 mm están basados en la Ley de Stokes, que da la

velocidad de sedimentación de partículas sólidas esféricas en un líquido.
La velocidad de sedimentación está dada por la fórmula:

$$v = \frac{2 \cdot g \cdot r^2 (D_a - D_w)}{9 \cdot \rho} = \frac{H}{t}$$

En la que:

v = Velocidad de caída de las partículas en cm/seg.

g = Aceleración de la gravedad en cm/seg²

r = Radio de la esfera en cm

D_a = Densidad absoluta del material en g/cm³

D_w = Densidad absoluta del agua en g/cm³.

ρ = Viscosidad absoluta del agua en g/cm.seg

H = Altura de caída de la esfera en cm

t = Tiempo transcurrido, en seg.

Con agua a 20°C, $\rho = 0.0101$ g/(cm.seg) y con esferas de densidad absoluta de 2.65 g/cm³, que es un valor medio entre los minerales que se encuentran en el suelo, la fórmula anterior se transforma, quedando así:

$$v = 35,613.86 r^2$$

Con los dos métodos de análisis granulométrico expuestos, tanto el por tamizado, como con el hidrómetro, puede determinarse la curva granulométrica completa de una muestra de suelo (ver curvas granulométricas adjuntas).

En función de la granulometría se clasifican los suelos en cuatro grandes grupos: gravas, arenas, limos y arcillas. Las arcillas, son los materiales de las que tratará la presente investigación; y, están constituidas por minerales de silicatos, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos, cuyas partículas tienen tamaños inferiores a 0.002mm (16).

Figura N° 1. Curva granulométrica de un suelo. Fuente: Según Lambe. (1951).

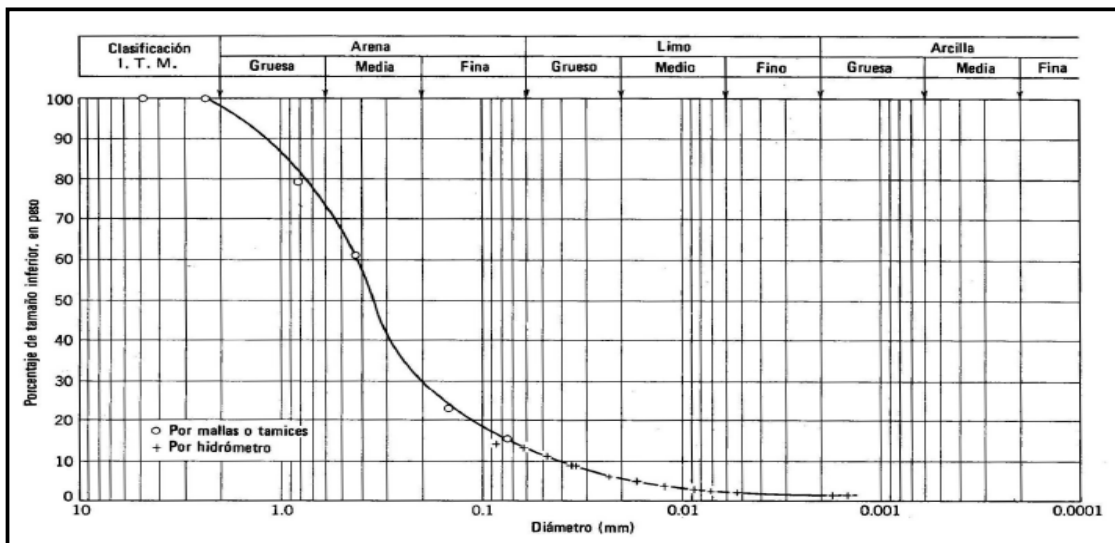
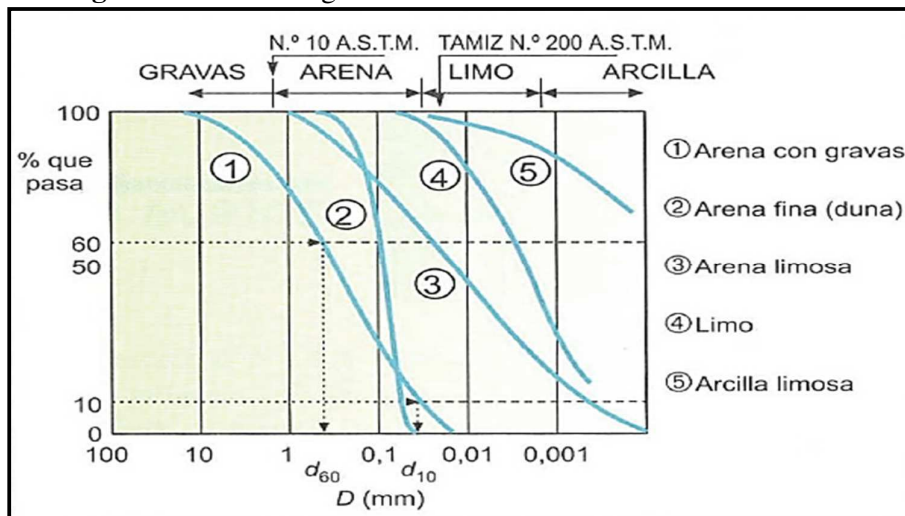


Figura N° 2. Curvas granulométricas. Fuente: Muelas s.f.



d. Plasticidad

Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como un semilíquido. Si el suelo se seca gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua (20).

Los contenidos de humedad y los puntos de transición de unos estados a otros se denominan Límites de Atterberg (21). El concepto de que un suelo puede presentarse en varios estados, en función del contenido de humedad, se basa en que cuanto mayor sea la cantidad de agua que contiene un suelo, menor será la interacción entre partículas adyacentes y más se aproximará el comportamiento del suelo al de un líquido.

"Esta variación de la consistencia en función de la humedad (a la que se conoce como plasticidad) es propia de suelos finos (arcillas y limos), ya que los suelos gruesos (arenas y gravas) no retienen agua y se mantienen inalterables en presencia de ésta" (13).

La determinación de los Límites de Atterberg se lleva a cabo en laboratorio, definiéndose el límite plástico como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de 3 mm de diámetro. El límite líquido del suelo, se determina utilizando la copa de Casagrande (Designación de Prueba D -4318 de la ASTM) (20). El significado físico de los límites de Atterberg y su utilización práctica se está considerando en el presente Informe Final de Tesis.

Según Das (20) la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo se define como Índice de Plasticidad:

$$IP = LL - LP$$

El índice de liquidez o fluidez se define como:

$$I_L = \frac{W_n - W_p}{W_L - W_p}$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica, mientras que el índice de liquidez indica la proximidad de la humedad natural del suelo al límite líquido (21).

Con el fin de proporcionar una representación adecuada de la plasticidad de una muestra de suelo se emplea la denominada Carta de Plasticidad de Casagrande. En el gráfico "Carta de Plasticidad de Casagrande", se representa la relación del límite líquido (abscisas) con el índice de plasticidad (ordenadas). Casagrande definió que los suelos con $LL > 50$ son de "alta plasticidad" (pueden admitir un mayor contenido de agua y por tanto pueden experimentar deformaciones plásticas mayores). Los suelos con $LL < 50$ se denominan de "baja plasticidad". Complementariamente, el Ing. Casagrande, definió una línea A, que separa los suelos arcillosos de los más limosos. Así, a partir del criterio de alta y baja plasticidad y de la línea A, se pueden definir varias zonas en el gráfico anterior. Los suelos limosos y con apreciable contenido orgánico tienen un intervalo de humedad menor para pasar del estado semisólido al estado líquido (menor índice de plasticidad), situándose por debajo de la línea A. En el caso de las arcillas, dicho intervalo de humedad es mayor, situándose por encima de la línea A. Se definen, por tanto, varios tipos de suelos: arcillas de alta plasticidad (CH), arcillas de baja plasticidad (CL), limos y suelos orgánicos de alta plasticidad (MH-OH) y limos y suelos orgánicos de baja plasticidad (ML-OL) (17).

e. Clasificación de suelos

Con el objeto de dividir los suelos en grupos de comportamiento semejante, con propiedades geotécnicas similares, surgen las denominadas clasificaciones de suelos.

La clasificación de suelos consiste, pues, en incluir un suelo en un grupo que presenta un comportamiento semejante. La correlación de unas ciertas propiedades con un grupo de un sistema de clasificación suele ser un proceso empírico puesto a punto a través de muchos años de experiencia. La mayoría de las clasificaciones de suelos utilizan ensayos muy sencillos, para obtener las características del suelo necesarias para asignarlo a un determinado grupo. Las propiedades ingenieriles básicas

que suelen emplear las distintas clasificaciones son la distribución granulométrica, los Límites de Atterberg, el contenido en materia orgánica, etc. “La clasificación de suelos constituye una ayuda valiosa para el ingeniero, le da indicaciones generales, transformando de manera empírica los resultados de la experiencia de campo. Sin embargo, el ingeniero debe ser precavido al utilizar las clasificaciones de suelos. La resolución de problemas de flujo, asentamiento o estabilidad únicamente a partir de clasificaciones puede llevarle a resultados desastrosos” (21).

Muelas (17), indica que los dos sistemas principales de clasificación de suelos actualmente en uso son el sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el SUCS (Unified Soil Classification System). El primero se usa principalmente para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para la construcción de explanadas de canteras.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación más general a su “Sistema de clasificación de aeropuertos” propuesto inicialmente en 1942 para aeropuertos y después, en 1952, revisado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por el Cuerpo de Ingenieros. Este sistema es el más extendido para la amplia variedad de problemas geotécnicos de ingeniería en los que intervienen suelos (permeabilidad, resistencia y compresibilidad de diversos tipos de suelos de cada grupo para su empleo en presas de tierra, canales, cimentaciones y pistas de aeropuertos).

El sistema SUCS clasifica los suelos en base a su granulometría, los Límites de Atterberg y el contenido en materia orgánica. A continuación, se muestra dicha clasificación, junto con los símbolos empleados en la misma, así como una descripción de las propiedades esperables de los grupos diferenciados según Muelas (17), abarca solo gravas, arenas, suelos limosos y arcillosos.

Tabla N° 3. *Clasificación de los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría.*

Tipo de Suelo	Descripción	Tamaño
Gravas	Los granos son observables directamente, existen grandes huecos entre las partículas y no retienen el agua.	80 mm. y 4,75 mm
Arenas	Estas son observables a simple vista y se mantienen inalterables en presencia de agua.	4,75 mm. y 0,075 mm
Limos	Retienen el agua y si se forma una pasta limo-agua y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se aprecia cómo el agua se exuda con facilidad.	0,075 mm y 0,002 mm
Arcillas	Son partículas de tamaño gel y están formadas por minerales silicatos, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos, unidas por enlaces covalentes débiles y pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas, produciendo aumentos de volumen, a veces muy importantes. Por tanto, presentan una gran capacidad de retención de agua, con un porcentaje de huecos muy elevado (huecos pequeños, pero con una gran superficie de absorción en las partículas). Debido a que el tamaño de los huecos es muy pequeño (aunque el índice de huecos es elevado), exhiben unos tiempos de expulsión de agua muy elevada y una permeabilidad muy baja (Muelas s.f.).	Tamaños inferiores a 0,002 mm

Fuente de Origen: (16)

Fuente: Adaptación de Elaboración propia de los Autores.

Tabla N° 4. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.

Símbolo de Grupo	Criterios
CL	Inorgánico; LL<50; PI>7; Límites de Atterberg sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
ML	Inorgánico; LL<50; PI<4; Límites de Atterberg debajo de la línea A (véase zona ML en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
OL	Orgánico; (LL no secado en horno) / (LL secado en horno) <0.75; LL <50 (véase zona OL en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
CH	Inorgánico; LL≥50; PI sobre o arriba de la línea A (véase zona CH en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
MH	Inorgánico; LL≥50; PI debajo de la línea A (véase zona MH en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
OH	Orgánico; (LL no secado en horno) / (LL secado en horno) <0.75; LL≥50 (véase zona OH en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
CL-ML	Inorgánico; LL >50; 4≤PI≤7; Límites de Atterberg arriba de la línea A. Se grafica en la zona sombreada en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)

Fuente de Origen: (Das, 2001). Adaptación de Elaboración propia de los Autores. (2019).

1.2.1.5 Propiedades físicas y químicas de las arcillas

Para entender mejor la respuesta que tendrán los suelos ante una estabilización es necesario conocer los aspectos físicos-químicos de éstos. De manera general se considera, que las partículas arcillosas tienen un tamaño del orden de las 2 micras (0.002 mm) o menores y presentan una actividad eléctrica importante que rige su comportamiento, dada su gran superficie específica en relación con su volumen, y aun con su masa.

En los suelos finos predominan las fuerzas eléctricas y están compuestos predominantemente por minerales cristalinos, algunos de los cuales tienen muy poca actividad superficial por lo que no contribuyen a los efectos conocidos como plasticidad y cohesión, como pueden ser el

cuarzo y la calcita, por ejemplo. Por lo que, es imprescindible la clasificación de los suelos (SUCS, AASHTO), la determinación de la composición mineralógica del suelo y el material estabilizante y el análisis de los niveles de materia orgánica que contiene el suelo (17).

1.2.1.6 Análisis de Materia Orgánica

El ensayo de los niveles de contenido de materia orgánica que contiene un suelo se realiza por el método Pérdida por Ignición (Loss on Ignition – AASHTO T 267: Standard Method of Test for Determination of Organic Content in Soils).

La materia orgánica es una mezcla heterogénea de sustancias de origen vegetal, animal y microbiana que, dentro del suelo, influyen sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Este modo operativo sirve para determinar la oxidación cuantitativa de materia orgánica en materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta o materiales como madera, raíces, pasto o materiales carbonáceos y proporciona una estimación válida del contenido orgánico. Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar, además las obligaciones de su uso e interpretación (22).

1.2.2 Tipos de Arcillas

Según, Fernandez (23), los minerales cristalinos cuya actividad superficial es tal que se presenta plasticidad y cohesión, podemos denominarlos como arcillosos, existen aproximadamente 15 minerales de este tipo, pero se pueden agrupar en 3 grupos dominantes, a saber: Caolinita, Montmorilonita e Illita.

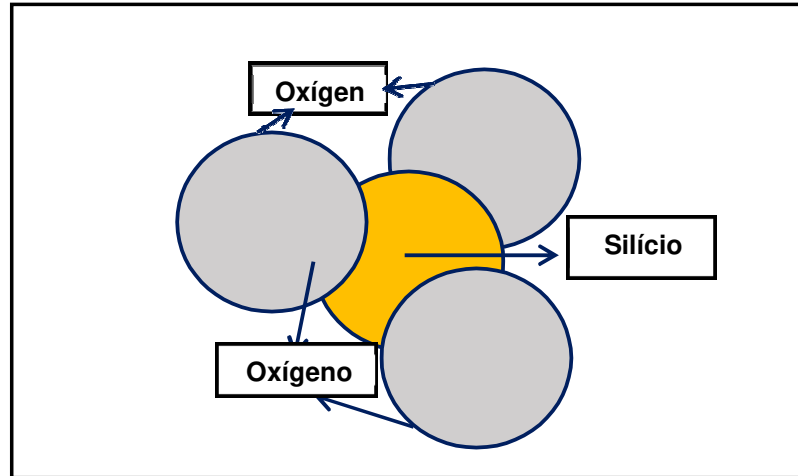
1. Caolinita

Debido a que las fuerzas de valencia en los átomos de oxígeno superiores, en la lámina de sílica, se encuentran insatisfechas, así como los espaciamentos que guardan entre sí dichos oxígenos, resulta posible que la mencionada lamina se una a los de gibsita.

Se pueden unir láminas de este mismo tipo unas sobre otras para formar cristales de caolín conocidas como Caolinita, siendo las fuerzas que las unen del tipo hidrogeno y desarrolladas entre los iones oxígeno (O^{2-}) y los iones hidroxilo (OH^{-1}). Esta unión es relativamente fuerte. Si se tienen diferentes estructuras en las láminas, se obtienen diferentes minerales arcillosos con la misma composición de caolín. Aunque las láminas de sílica (fig. 2.2) y gibsita son capaces de extenderse en forma indefinida en la dirección horizontal (de los planos), se ha encontrado que las partículas de caolín que generalmente son de forma hexagonal, se presentan como partículas planas cuyos radios varían de 0.5 a 1.0 micras.

La caolinita es un mineral eléctricamente neutro, pero bajo la presencia de agua se disocian algunos de los hidroxilos (OH^{-1}) y pierden los iones hidrogeno (H^{+}), dejando en consecuencia al cristal con una carga residual negativa que se equilibra con la atracción de algunos cationes intercambiables presentes en el agua, por ejemplo, Sodio (Na^{+}) o Calcio (Ca^{+2}).

Figura N° 3. La caolinita, mineral eléctricamente neutro.
Fuente: Fernández. (1991). (23)



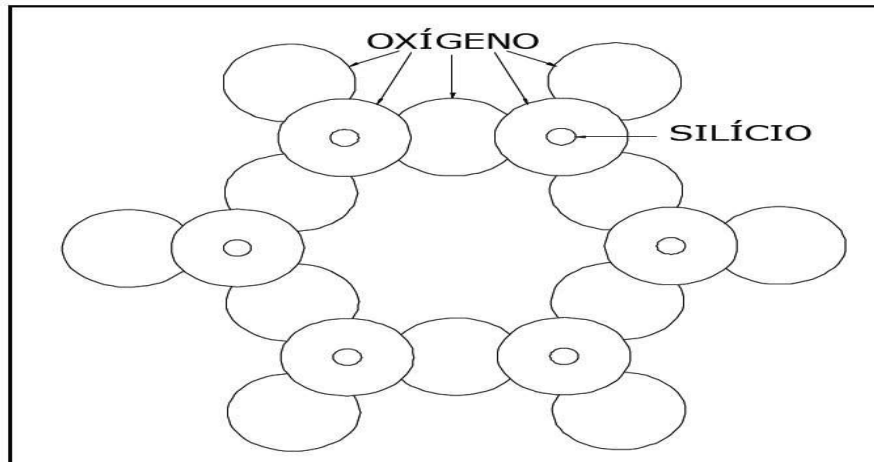
2. Montmorilonitas

En las láminas formadas por unidades tetraédricas y octaédricas frecuentemente ocurre lo que se conoce como sustitución isomorfa, que consiste en la sustitución de un átomo por otro. Si el agua contiene cationes tales como Sodio (Na^{+1}), Calcio (Ca^{+2}), Potasio (K^{+1}) o similares, estos son atraídos a las unidades de tal manera que satisfacen casi totalmente a la carga negativa resultante de la solución isomorfa. El problema es que estos cationes no quedan fijos en las láminas si no que se pueden intercambiar fácilmente.

El espesor de las láminas de la montmorilonita es del orden de 10 Angstroms ($1 \times 10^{-11}\text{m}$) y se colocan una sobre la otra como las hojas de un libro, teniéndose como liga entre las unidades a las atracciones mutuas de dos láminas hacia los cationes intercambiables anteriormente retenidos. La unión catiónica en la montmorilonita depende del tipo de catión que se tenga presente, pero en lo general es débil, por lo que el agua puede entrar fácilmente entre las láminas de montmorilonita, ocasionando que se separen, no siendo difícil desasociar a las

unidades estructurales de montmorilonita. Como resultado de lo anterior, los suelos que contengan cantidades considerables de montmorilonita presentan importantes características de expansión.

Figura N° 4. Esquema de una unidad hexagonal de una lámina silícica. Fuente: Fernández. (1991). (23)

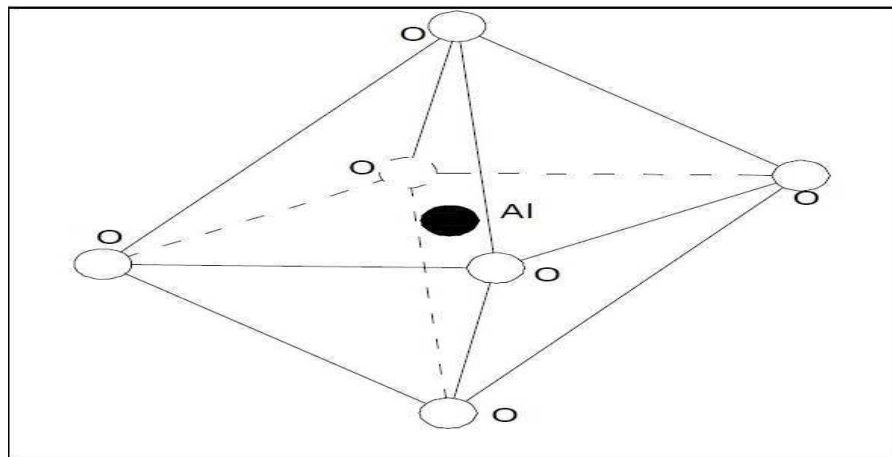


3. Iilitas

La unidad estructural de la ilita es muy semejante a la montmorilonita con la excepción de que siempre se presenta una sustitución isomorfa adicional de átomos de sílice (Si^{+4}) por átomos de aluminio (Al^{+3}) en la lámina de sílica (Fig. 5). Resultando con ello una carga residual negativa, más alta que la correspondiente a la de la lámina de montmorilonita. Sin embargo, una parte sustancial de esta carga residual negativa se equilibra con cationes de potasio (K^{+1}) no intercambiables, lo que provee una liga fuerte entre las láminas de ilita para constituir las partículas. Las ligas mediante los cationes no intercambiables (K^{+1}) son más débiles que las ligas de hidrógeno que unen a las unidades estructurales de la caolinita, pero son mucho más fuertes, que las ligas de los cationes intercambiables, que forman a los cristales de la montmorilonita. Esto se debe, en parte, al hecho de que los

cationes (K+1) se fijan entre las superficies de las láminas de sílica y en consecuencia se encuentran mucho más cerca del catión intercambiado que en el caso de la montmorilonita en donde el catión intercambiado queda en la lámina central. Debido a esto, la estructura de la illita no se expande por el paso del agua a través de sus láminas como ocurre en la montmorilonita.

Figura N° 5. Esquema de una unidad hexagonal de una lámina silícica.
Fuente: Fernández. (1991). (23)

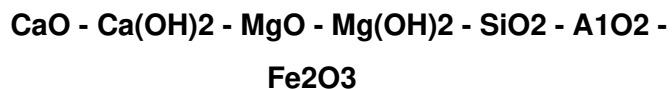


1.2.3 La Cal

1.2.3.1 Generalidades de la Cal

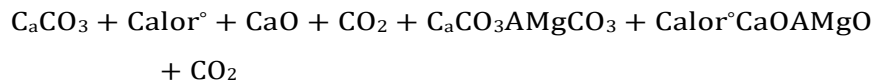
Como término genérico la cal es un producto compuesto de óxidos e hidróxidos de calcio y magnesio que procede de la calcinación de minerales calizos y dolomíticos.

También suele contener óxidos de silicio, aluminio y hierro en función del material básico de procedencia:



En el proceso de calcinación, los minerales compuestos por carbonatos cálcicos y magnésicos, en proporciones variables según la calidad y tipología del mineral base dan lugar, ante la aplicación de calor, a la formación de óxidos de cal y/o magnesio, que es el producto buscado, con desprendimiento de dióxido de carbono. (24)

Las reacciones químicas siguen el siguiente esquema:



Una característica especial de estos procesos es que la temperatura de la reacción debe ser suficientemente alta para lograr la disociación de los carbonatos. Son así precisas a presión atmosféricas temperaturas superiores a 1.300°C que, además, deben prolongarse durante tiempo suficiente para asegurar la reacción. También es importante para la formación de la cal que durante la reacción el dióxido de carbono que se genera pueda ser evacuado.

El producto directamente obtenido de esta reacción es el que se conoce como “Cal Viva”. Para la consecución de un buen producto es necesario que el mineral de origen sea de gran pureza en cuanto al contenido de carbonatos. Pero evidentemente en el proceso de calcinación influyen otra serie de factores físicos del mineral que deben asegurarse para obtener una calidad adecuada del producto. Estos factores son, fundamentalmente, la granulometría y superficie del mineral expuesto a calcinación, su porosidad y densidad. (24)

1.2.3.2 Funciones de la cal

El mecanismo básico consiste en la carbonatación de los hidratos de carbono en contacto con el dióxido de carbono atmosférico, que le lleva a aumentar la resistencia y durabilidad de los materiales. La cal en contacto con un suelo arcilloso produce un efecto de secado, un proceso

de intercambio iónico y una reacción puzolánica. Estos mecanismos se manifiestan en una reducción de la humedad natural del suelo; una modificación de su granulometría, microestructura y porosidad; aumento de la permeabilidad; mayor trabajabilidad por reducción del índice de plasticidad; eliminación del potencial de cambios volumétricos; modificación de las características de compactación; aumento inmediato de la consistencia; cambios en la mineralogía ; mayor resistencia a largo plazo con menor deformabilidad e incremento de la resistencia a la erosión. Pero dichas mejoras están condicionadas por una serie de factores más o menos críticos cuyo conocimiento ha acaparado gran parte de las investigaciones recientes. (24)

1.2.3.3 Tipos de cal

Bauza (24), hace referencia a dos grandes clasificaciones. Una primera clasificación de los tipos de cal ya se ha citado anteriormente y se basa en la composición del mineral básico que es sometido a calcinación. Así, según la proporción de carbonatos magnésicos en relación con el total de carbonatos, se puede clasificar en:

- Cales de alto contenido en calcio: Procedentes de material base de CaCO_3 , con no más del 5 % de MgCO_3 . Se componen pues, fundamentalmente de óxidos de calcio
- Cales dolomíticas: Procedentes de material base con contenidos de más del 5 % de MgCO_3 . Se componen de óxidos de calcio y magnesio.

Inicialmente tanto los óxidos de magnesio como los de calcio tienen acciones análogas. No obstante, la diferencia entre ambos tipos puede establecerse en que las cales dolomíticas son menos solubles en el agua y que el fenómeno de la hidratación es más lento en ellas que en las cálcicas. Esto hace que, en el empleo de la cal dolomítica, al aplicarlas en

vía acuosa se desprenda menor cantidad de óxido de calcio libre que con las calizas y que la reacción conglomerante perseguida en su aplicación sea más lenta, lo que puede incluso hacerla ineficaz en ciertos usos.

Otra posible clasificación es la que se deduce de los procesos de obtención y materiales de origen. En este sentido se pueden dividir en:

- Cales hidráulicas: Obtenidas a partir de calizas que contienen arcillas (sílice y alúmina) por su calcinación y posterior hidratación. Además de hidróxido cálcico incorporan silicatos y aluminatos cálcicos. Tienen propiedades hidráulicas, es decir, endurecen con el agua. El dióxido de carbono atmosférico contribuye a este proceso de endurecimiento adicionalmente.
- Cales aéreas: Compuestas de óxido e hidróxido de calcio y magnesio, que endurecen en contacto con el CO₂ del aire. No tienen propiedades hidráulicas, es decir, no endurecen con ella. Se obtienen de rocas calizas con más del 95% de carbonatos.

1.2.3.4 Presentación de la cal

Bauza (1) refiere las siguientes presentaciones:

- Cal apagada, procedente de la hidratación de la cal viva, compuesta por hidróxidos de calcio/magnesio. Como tal es posible presentarla en forma de pasta, lechada o suspensión de cal en agua, o incluso en forma de polvo seco.
- Cal viva, u óxido de calcio/magnesio procedente directamente del proceso de calcinación. Se presenta en forma de grano o molidas en polvo, incluso micronizadas, ya que esta forma supone que no se ha hidratado el producto de la calcinación.

1.2.4 Estabilización de suelos

La estabilización significa, no solo llegar a un estado del suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, sino también asegurar la permanencia de ese estado a través del tiempo. Este último aspecto del proceso tiene fundamental importancia, ya que, de su existencia, depende la existencia del primero (25).

Los suelos con contenidos apreciables de arcillas y limos, presentan graves problemas geotécnicos para su empleo en la construcción de infraestructuras, dentro de las cuales en los caminos se presentan las mayores exigencias por su exposición al clima, debido a que estos suelos poseen elevada plasticidad, reducida capacidad portante e inestabilidad de volumen en función de la humedad (expansión y contracción) (9)

1.2.4.1 ¿Qué propiedades mejorar?

a. Estabilidad volumétrica

La expansión y contracción de muchos suelos, originados por los cambios de humedad, se puede presentar en forma rápida o acompañada a las variaciones estacionales o con la actividad propia de la construcción (26). Los suelos que varían altamente su volumen en función de la humedad, son llamados expansivos, éstos se presentan con mucha frecuencia en la selva peruana donde los suelos se expanden y se contraen ocasionado por los cambios de humedad, debido a las lluvias permanentes, por lo cual se debe tener especial cuidado en el diseño y construcción de vías en esta región (8).

Ahora bien, si las presiones de expansión que se desarrollen debido a un incremento en la humedad no se controlan de alguna manera, estas

presiones pueden levantar pavimentos, levantar cimentaciones de edificaciones, inclinar postes, fracturar muros, romper tubos de drenaje, etc. por lo cual es de vital importancia detectar a los suelos expansivos, su composición y tratamiento más adecuado para evitar lo anterior. Actualmente, las soluciones para evitar cambios volumétricos en suelos expansivos consisten en introducir humedad al suelo en forma periódica, aplicar cargas que equilibren la presión expansiva interna, utilizar membranas impermeables y apoyar la estructura a profundidades tales que no se registre variación estacional en la humedad. Un medio más podría consistir en modificar la arcilla expansiva transformándola en una masa rígida o granular, esto puede lograrse por medios químicos o térmicos. Por último, algunas veces se puede aumentar la impermeabilidad de un suelo y por ende reducir la velocidad de los cambios volumétricos en suelos expansivos, compactándolos a pesos volumétricos altos, pero debe tenerse en cuenta que la humedad de compactación juega un papel también muy importante en el fenómeno de los cambios volumétricos (11).

b. Resistencia

Es la capacidad del suelo a evitar su deformación y falla ante una carga; generalmente es en general más baja cuanto mayor sea su contenido de humedad salvo algunas excepciones. Existen casos en los que al bajar la humedad también lo hace la resistencia, por ejemplo, un suelo cohesivo al secarse y no estar confinado se agrieta y termina comportándose como un suelo friccionante, lo que deviene en derrumbes (26). Los suelos arcillosos al secarse, alcanzan grandes resistencias teniéndose inclusive la condición más alta de resistencia cuando se calientan a temperaturas muy elevadas como sucede en la fabricación de tabiques y ladrillos.

Se ha visto que en suelos finos tiene una importancia decisiva la forma de

aplicación de la energía de compactación, sobre todo cuando se emplean humedades más altas que la óptima.

Al estudiar los efectos de una estabilización, debe tenerse presente el fin que se busca, así, si el suelo estabilizado va a permanecer húmedo en las condiciones de trabajo, entonces la determinación de la resistencia bajo estas circunstancias sería la adecuada, por el contrario, si el suelo permanecerá seco y agrietado, probablemente sea más efectivo efectuar pruebas, con cargas repetidas para estudiar efectos de disgregación y pulverización. Para suelos de textura abierta y mal graduados sería más importante determinar su susceptibilidad a recompactarse provocando con ello deformaciones en las estructuras sobre las cuales se apoyen. Algunas veces resulta muy difícil incrementar la resistencia de un suelo mediante la adición de agentes estabilizantes, tal es el caso de los suelos con alto contenido de humedad, del orden de 10 %, ya que esta acción inhibe la acción de tales agentes (11). El incremento en el peso volumétrico de un suelo orgánico mediante la compactación, se ha considerado, en general, como un incremento en la Resistencia. Algunos de los procedimientos utilizados para incrementar el peso volumétrico de un suelo son:

1. Compactación mediante amasado, vibración o impactos.
2. Vibroflotación.
3. Precarga.
4. Drenaje.
5. Adición de agentes que reduzcan la fricción y cohesión entre las partículas.

Resulta un tanto evidente que los procedimientos que sirvan para mantener a un suelo sin que se produzcan cambios volumétricos, son también adecuados para mantener la resistencia en el suelo como lo es la adición de agentes que transformen a un suelo fino en una masa rígida o granular (11).

c. Permeabilidad

Es el contenido de vacíos en su estructura, es decir, el espacio comprendido entre sus partículas provocando la circulación de agua a través de sus poros. En los suelos la permeabilidad se plantea en dos problemas básicos, como lo es el relacionado con la disipación de las presiones de poro y el relacionado con el flujo del agua a través de los suelos. El tener presiones de poro excesivas puede originar deslizamientos en terracerías y el flujo de agua puede generar en arcillas, tubificaciones y arrastres. Si se compacta un suelo con humedades muy bajas o prácticamente en seco, se obtendrá finalmente una alta permeabilidad en el suelo debido a los grumos que no se disgregan resistiendo al esfuerzo cortante de compactación y permitiendo que se forme con ello una gran cantidad de vacíos intersticiales. Mientras más alta sea la humedad de compactación se producirán menores permeabilidades en el suelo compactado, ya que este tiene mayores oportunidades de deformarse, eliminándose así grandes vacíos. Se debe tener presente que, los métodos de estabilización para modificar la permeabilidad de un suelo, no necesariamente mejoran su estabilidad volumétrica o resistencia mecánica y en algunos casos inclusive puede resultar contraproducente a estos aspectos.

Se puede reducir la permeabilidad de un suelo mediante la inyección de lechadas, sin embargo éstas al no sellar perfectamente los poros, solamente se logra disminuir el gasto y el flujo sin lograr una impermeabilidad adecuada.; entonces, no es difícil modificar substancialmente la permeabilidad de formaciones de suelos por métodos tales como la compactación, inyección, etc.; aunque, en materiales arcillosos, el uso de floculantes puede reducir la permeabilidad también significativamente, y algunas sustancias defloculantes como el polifosfato de sodio pueden sellar perfectamente los poros de un suelo (26) (11).

d. Compresibilidad

Es una propiedad donde se observa el cambio volumétrico de la estructura de un suelo debido a las condiciones naturales y artificiales que se presenten (8). La compresibilidad de un suelo puede presentar variaciones importantes dependiendo de algunos factores tales como la relación de la carga aplicada con relación a la que el suelo soportaba anteriormente, tiempo de aplicación de la carga una vez que se ha disipado la presión de poro en exceso de la hidrostática, naturaleza química del líquido intersticial, entre otros (11). Estos cambios en volumen o compresibilidad, influyen considerablemente en las propiedades ingenieriles de los suelos, pues se modifica la permeabilidad, se alteran las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como en sentido, lo que tienen una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y se provocan deslizamientos (8) (11).

e. Durabilidad

Condición muy deseable en los suelos estabilizados, al igual que en todos los materiales de construcción, es la durabilidad, definida como la resistencia a los procesos de intemperización, erosión y abrasión.

En la durabilidad de caminos se involucran, entonces, aquellos factores que se refieren a la resistencia al intemperismo, erosión o la abrasión del tráfico; de esta manera, en la infraestructura de transporte, los problemas de durabilidad están relacionados a las capas superficiales del pavimento en especial el nivel de rodadura (8). Martínez (11), señala que la durabilidad está referida no solo a las capas superficiales, sino que también se presentan erosiones profundas internas en los terraplenes o cortes debido no solo a una baja durabilidad sino también a una alta permeabilidad de los suelos.

En los suelos estabilizados la durabilidad baja se debe generalmente a un

diseño deficiente que puede tener su origen en una mala elección de un estabilizante, o también puede deberse a una cantidad insuficiente de estabilizante. Una deficiencia importante en los estudios de estabilizaciones es la carencia de pruebas adecuadas para estudiar la durabilidad.

La durabilidad es pues uno de los factores más difíciles de cuantificar y la reacción común ha sido la de sobrediseñar los materiales o sobredimensionar la estructura, lo cual a veces no puede ser lo correcto. En el diseño de la estabilización de un suelo se deben tener muy presentes las variaciones que se espera lograr en lo que respecta a la estabilidad volumétrica, resistencia mecánica, permeabilidad, durabilidad y compresibilidad, ya que se puede presentar el caso de que el mejoramiento de alguna de las propiedades del suelo mediante la estabilización, provoque que otras características resulten en condiciones desfavorables, esto es especialmente cierto en el caso de la estabilización mediante la compactación (11).

Ahora bien, para el diseño de la estructura del pavimento de estos tipos de vías, a partir de la determinación del CBR, se evalúa el método sugerido por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), El procedimiento de este método se basa en ecuaciones que permiten determinar el espesor de material requerido sobre una capa o subrasante de un CBR conocido. La condición es que el CBR del material de la capa superior sea mayor que el de la subyacente. El espesor del pavimento obtenido mediante este método es tal que permite un cierto número de repeticiones, antes que la estructura alcance un nivel de deformación que corresponda a una serviciabilidad baja. Este método ha sido desarrollado para los caminos de bajo tránsito con repeticiones de hasta 1'000,000 de ejes equivalentes de 18,000 libras.

Para el diseño del pavimento de bajo volumen de tránsito se emplea el "Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito – MTC (2008)". Teniendo en cuenta la capacidad de soporte

en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocará encima (12).

Se identifican en el manual del MTC cinco categorías de subrasante:

S ₀	SUB RASANTE MUY POBRE CBR < 3%
S ₁	SUB RASANTE POBRE CBR = ≥ 3% - <6%
S ₂	SUB RASANTE REGULAR CBR = ≥6% - <20%
S ₃	SUB RASANTE BUENA CBR = ≥10 - 19%
S ₄	SUB RASANTE MUY BUENA CBR ≥20% - <30
S ₅	SUB RASANTE EXCELENTE CBR ≥30%

1.2.4.2 Métodos de estabilización de suelos

Existen varios procedimientos para modificar un suelo natural, y someterlo a tratamiento, una forma de clasificarlos propone Gárnica (27):

Tabla N° 5. Métodos de mejoramiento de suelos.

Métodos	Físicos	Confinamiento (suelos no cohesivos). Pre consolidación (suelos cohesivos). Mezclas (suelo con suelo). Vibro flotación.
	Químicos (Estabilizaciones)	Con cemento. Con asfalto. Con sal. Con cal. Con otras sustancias: (Sales como la Bischofita).
	Mecánicos	Compactación.

Fuente: La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Rico Rodríguez, Alonso y Del Castillo, Hermilio, Editorial Limusa S.A., 1974, México.

Tabla N° 6. Procedimientos para modificar un suelo natural.

PROCEDIMIENTOS		
Procedimientos físicos	Procedimientos químicos (estabilizaciones)	Procedimientos mecánicos (compactación)
Mezcla (suelo con suelo)	Cal	Amasado (rodillos pata de cabra).

Confinamiento (suelos friccionantes) Consolidación previa (suelos finos arcillosos) Vibroflotación	Cemento Portland	Impactos de Carga (pisones). Presión estática (rodillos lisos y neumáticos). Vibración (rodillos vibratorios). Métodos Mixtos (combinación de los métodos anteriores).
	Ceniza volante	
	Asfaltos	
	Otros	

Fuente: Elaboración propia de los Autores.2018

Según refiere (6), La estabilización química hace referencia principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. El diseño de estabilizaciones con agentes químicos estabilizantes, consiste en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo y de acuerdo a ello determinar el tipo y cantidad de agente estabilizante, así como el procedimiento para efectuar la estabilización. Las características principales de las sustancias químicas usadas como agentes estabilizadores son:

- Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica
- Cemento Portland: aumenta la Resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.
- Productos Asfálticos: es muy usado para material triturado sin cohesión.
- Cloruro de Sodio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Cloruro de Calcio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo.
- Escorias de Fundición: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

- Polímeros: éste se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Hule de Neumáticos: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

En el diseño de la estabilización de un suelo se deben tener presentes las variaciones que se espera lograr en lo que se respecta a la estabilidad volumétrica, resistencia mecánica, permeabilidad, durabilidad y compresibilidad. El método de diseño obviamente depende del uso que se pretenda dar al suelo estabilizado. En el cuadro siguiente se presenta la respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos. Los aditivos, materiales o agentes a usarse en el proceso de estabilización de las carreteras no pavimentadas son clasificados tal como se detalla en los siguientes apartados.

Tabla N° 7. *Respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos.*

Componente dominante	Estabilizante recomendado	Objetivos
Arenas	<ul style="list-style-type: none"> • Arcilla de baja plasticidad • Cemento Portland • Asfaltos 	<ul style="list-style-type: none"> • Para estabilización mecánica • Incrementar el peso volumétrico de la cohesión • Incrementar la cohesión
Limos	<ul style="list-style-type: none"> • Dependerá del tipo de minerales que contenga 	-----
Alófanos	<ul style="list-style-type: none"> • Cal 	Acción puzolánica e incremento del peso volumétrico
Caolín	<ul style="list-style-type: none"> • Arena • Cemento Portland • Cal 	<ul style="list-style-type: none"> • Para estabilización mecánica • Para resistencias tempranas • Trabajabilidad y Resistencia tardía
Ilita (mineral de arcilla)	<ul style="list-style-type: none"> • Cemento • Cal 	<ul style="list-style-type: none"> • Para resistencias tempranas • Trabajabilidad y Resistencia tardía

Montmorilonita

• Cal

- Trabajabilidad y Resistencia, reducción de expansiones y contracciones

Fuente: Gárnica et al. Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres; pág.10.

Gutierrez (6), señala que “La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio (28).

Entre los productos químicos usados como estabilizadores de las vías no pavimentadas tenemos: los óxidos e hidróxidos de calcio, los cloruros de calcio (Ca), sodio (Na), los cloruros férricos; el silicato sódico, el cloruro de magnesio hexahidratado ($MgCl_2 \cdot 6 H_2O$) o Bischofita y las resinas. En el Perú, es en la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, donde se encuentra las recomendaciones y sugerencias necesarias a tenerse en cuenta en caso se desee verificar si el producto químico estabilizador cumple con las características indicadas en la documentación técnica entregada por el fabricante o distribuidor. También, en dicha Norma se establecen los métodos de ensayo que se deben utilizar en la evaluación de las propiedades y el comportamiento del suelo mejorado; además de establecer recomendaciones a tenerse en cuenta en la utilización de los diversos estabilizadores químicos, excepto la cal y ceniza.

Perez (12), en su investigación señala: “En los suelos de fundación de baja capacidad de soporte, con presencia de arcilla débil o compresible se hace comúnmente mediante la eliminación de los suelos arcillosos de

baja capacidad de soporte y se los sustituye en todo su volumen y espesores considerables generalmente por grava arenosa, piedra triturada, arena, los cuales son compactados para aumentar la capacidad de carga (29).

Hoy día, a las cuestiones de costo, plazo y calidad en los procesos de ejecución de obras, se agrega como factores determinantes de optimización, la cuestión ambiental presente en la extracción y transporte del material de préstamo para la sustitución de los de mala calidad y los vertederos para depositar el material inapropiado. Por tanto, se hace cada vez más necesaria la utilización de todos los materiales que se encuentran directamente dentro del área de las propias obras, sean cuales sean sus propiedades. Ello obliga a un estudio detallado de sus propiedades para así adoptar los tratamientos y medidas necesarias a tomar en cuenta para lograr que su comportamiento sea satisfactorio durante la vida útil de la obra, y por supuesto, a un costo razonable.

La estabilización de suelos in situ, es la técnica de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que, al encontrarse en el sitio de la obra, no reúnen las condiciones necesarias para su utilización. Los medios para la estabilización de suelos van desde el reemplazo del material inadecuado hasta la incorporación de elementos químicos que al reaccionar con el suelo dan como resultado un suelo con mejores propiedades.

Con la estabilización de suelos in situ se pretende aumentar la resistencia mecánica de los suelos, se entrelazan las partículas de una forma más efectiva y se aseguran que las condiciones de humedad en las que trabaja el suelo varíen dentro de unos rangos reducidos, para conseguir una adecuada estabilidad a las cargas y una escasa variación volumétrica; además, se produce un aumento de la durabilidad de dicha capa. Crea poco impacto ambiental, ya que ahorra transportar a un vertedero enormes volúmenes de material de excavación, y por otro, traer enormes volúmenes de material de préstamo (9).

Vasquez (8), refiriéndose a estabilización de suelos, recalca la premisa “No existe el Estabilizador que se aplique a los suelos y mejore todas sus propiedades”. Existen muchos agentes estabilizantes que ofrecen diversas mejoras en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo, por lo que una adecuada selección del método de estabilización parte de reducir al mínimo los posibles agentes estabilizadores en función de las limitaciones de fuentes de materiales, clima, tráfico y las exigencias del diseño de pavimento y las mínimas afectaciones ambientales. Una vez predeterminado el o los posibles agentes de estabilización se proceden a realizar los diseños de mezcla, con éstos a diferentes proporciones con el fin de obtener los porcentajes óptimos y así poder discriminar en función de los factores económicos su empleo.

El proceso de estabilización que inicialmente se aplicaba solamente a suelos y materiales de escasa calidad se ha extendido actualmente a capas granulares formadas por gravas de calidad tratadas. Este tipo de materiales se fabrican en plantas especiales y están sometidos a continuos controles de calidad, para ser transportados posteriormente a obra. Hasta ahora los principales aditivos empleados han sido el cemento y la cal, sin embargo, la estabilización con estos aditivos aumenta los costos en la construcción y no controlan de manera satisfactoria la pérdida de humedad en los suelos utilizados para fundación de una construcción (30)

El diseño de la estabilización de suelos con agentes estabilizantes, por ejemplo, con cal y cemento, consiste en primer término en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo con base en la cual se determina el tipo y cantidad de estabilizante, así como el procedimiento para efectuar la estabilización. Estos materiales son generalmente utilizados para estabilizar capas de base o subbase, también son muy utilizados para mejorar subrasantes. Sin embargo, según (2), los proyectos típicos que se

han beneficiado de la estabilización con cal y cemento, incluyen:

- Autopistas, carreteras principales y secundarias.
- Pistas de aterrizaje y de servicio en aeropuertos.
- Aparcamientos y explanadas de fábricas.
- Estabilización de laderas.
- Caminos vecinales, pistas forestales y caminos Rurales.
- Vías férreas.
- Recuperación de muelles en desuso.
- Recuperación de terrenos contaminados.
- Rellenos estructurales.

La aplicación del suelo – cemento empezó a estudiarse metódicamente entre 1910 y 1920. Núñez (2), señala que, en Inglaterra, según Arias Duran y Nicolle (2011) quienes citando a Brookr Bradley (1917) indican que fue éste quien empleó con éxito una mezcla de cemento con suelos arcillosos en la construcción de carreteras. Sin embargo, a pesar de los excelentes resultados, la técnica no fue usada posteriormente. En los estados Unidos, el uso del suelo – cemento se incrementó a partir de la patente de Joseph Hay Amies de Filadelfia en 1917, de una mezcla de suelo con cemento llamada Soilamies. El esfuerzo conjunto de la Portland Cement Asociation (PCA), el Bureau of Public Roads y el Highway Department del Estado de Carolina del Sur contribuyó al desarrollo tecnológico de la estabilización de suelos con cemento, realizando diversos tramos experimentales de carreteras entre 1930 y 1940.

1.2.4.3 Estabilización con cal

Según Perez (12), la técnica de estabilización química de suelos se basa en la interacción de los elementos presentes en el suelo, de los componentes del medio ambiente y en este caso de la cal adicionada. El

suelo influye de acuerdo a su mineralogía, o sea, presencia de cuarzo y minerales de arcillas; el medio ambiente influye a través de la temperatura, agua y aire; y, la cal interactúa con el sistema debido a la presencia de óxido de calcio o magnesio. Esta interdependencia se manifiesta en función de las reacciones físicas, químicas y físico-químicas, predominantemente de las que ocurren entre la cal y el suelo. Así, el proceso de estabilización envuelve cuatro reacciones distintas que son: intercambio iónico, la floculación y aglomeración, reacciones puzolánicas y carbonatación.

La estabilización de suelos (suelo-cal) se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza se compone fundamentalmente de óxido cálcico (cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal apagada). Este método de estabilización con cal se utiliza con doble propósito; mejorar la resistencia o capacidad de soporte (CBR) del suelo y reducir su plasticidad (6). La estabilización del suelo cambia considerablemente las características del mismo, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que concierne a la acción del agua (31).

En el caso de suelos arcillosos con exceso de humedad, la adición de cal viva disminuye el contenido de agua por la acción combinada del aporte de producto seco, consumo del agua necesaria para hidratarse y formar hidróxido cálcico y evaporación de agua debida a la reacción anterior la cual es fuertemente exotérmica. De esta forma, el aporte de un 1 % de cal viva puede disminuir el contenido de humedad del suelo en un 4 o 5 %. Si a ello le sumamos el efecto de aireación y volteo de un material procedente de un préstamo, el valor de la disminución puede llegar al 7 % (6).

El tratamiento y estabilización con cal de los suelos con contenidos apreciables de arcilla y limo es una solución muy interesante desde los puntos de vista económico, ambiental y técnico. Se afirma que, siempre

que el índice de plasticidad (I.P.) de un suelo sea igual o mayor que 10 es aconsejable y satisfactoria su estabilización con cal (9). Este es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes a agregar varían del 2 al 6% con respecto al peso del suelo seco para estabilizar; con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia; sin embargo, es recomendable no usar más del 6% ya que con esto se aumenta la resistencia, pero también se presentará un incremento en la plasticidad (2). También es importante indicar las ventajas que presenta la técnica de estabilización de suelos con cal para el tratamiento y reparación de caminos y terraplenes con problemas de plasticidad y baja capacidad portante (9).

La cal, sola o en combinación con otros materiales, puede ser utilizada para tratar una gama de tipos de suelos. Las propiedades mineralógicas de los suelos determinarán su grado de reactividad con la cal y la resistencia final que las capas estabilizadas desarrollarán. En general, los suelos arcillosos de grano fino (con un mínimo del 25 por ciento que pasa el tamiz 200 -75 μ m- y un Índice de Plasticidad mayor que 10) se consideran buenos candidatos para la estabilización. Los suelos que contienen cantidades significativas de material orgánico (mayor que 1 por ciento) o sulfatos (mayor que el 0.3 por ciento) pueden requerir cal adicional y/o procedimientos de construcción especiales (Manual de estabilización de Suelo tratado con Cal, 2004), (6).

La forma más usual de la cal empleada en las estabilizaciones es la hidratada, óxidos o hidróxidos de calcio. Los carbonatos de calcio no tienen virtudes estabilizantes dignas de mención. La cal viva se utiliza con frecuencia en pretratamientos con suelos húmedos. El efecto básico de la cal es la constitución de silicatos de calcio que se forman por acción química de la cal sobre los minerales de arcilla, para formar compuestos cementadores (32).

Según Gutierrez (6), el tratamiento de suelos arcillosos con cal viva o hidratada en cualquier obra de movimiento de tierras: laderas, terraplenes, explanadas, firmes, plataformas, etc., correspondiente a cualquier tipo de infraestructura: viales, aeropuertos, ferrocarriles, etc., permite obtener una serie de ventajas técnicas y económicas que se citan a continuación:

- Posibilidad de reutilización de los suelos disponibles en las carreteras; disminuyendo así, la necesidad de canteras para préstamos y vertederos para eliminación del material no aceptable. Este aspecto, además de disminuir las afecciones medioambientales, disminuye los costes del movimiento de tierras, incidiendo especialmente en el transporte de materiales y en el tiempo de ejecución.
- La reducción del plazo de ejecución viene determinada también por la rapidez de las reacciones suelo-cal y el efecto secante producido; pues, como el Índice de Plasticidad disminuye notablemente y el suelo se vuelve más friable, se aumenta inmediatamente su trabajabilidad; además, el empleo de cal viva ayuda a secar rápidamente los suelos húmedos, facilitando su compactación.

Por el contrario, si la humedad de los suelos se encuentra por debajo de la óptima, puede ser aconsejable aplicar la cal en forma de lechada, aportando la cal y el agua necesarias en una sola operación. La cal en forma de lechada es la suspensión de cal apagada en agua. Su empleo en tratamiento de suelos nos permite, por un lado, evitar el polvo producido durante el extendido de la cal y por otro, controlar mejor la humedad de los suelos secos.

A excepción de la lechada de cal y de las cal vivas granuladas (granos < 6mm), la mayoría de las cal, utilizadas para la estabilización, se presentan en forma de polvo seco. Las cal utilizadas en la estabilización de suelos son cales aéreas cálcicas (CL), llamadas así porque endurecen con el CO₂ presente en el aire, y compuestas principalmente por óxido, hidróxido

de calcio y de magnesio, sin adición de materiales puzolánicos e hidráulicos. Sampedro Rodríguez Ángel en su libro: Tratamiento de Suelos con cal. Planteamiento General, Diseño y Control de calidad (Pág. 5), para la estabilización de suelos, se emplean las siguientes cales aéreas:

- Cales vivas: Cales aéreas constituidas principalmente por óxido de calcio (CaO) y de magnesio (MgO), producidos por la calcinación de caliza.
- Cales apagadas o hidratadas: Cales aéreas, cálcicas resultantes del apagado controlado de las cal vivas. Están compuestas principalmente por hidróxido de calcio [Ca (OH)₂].

Gutiérrez (6), señala dos de los aspectos que más negativamente pueden influir en la estabilización de suelos con cal: su contenido en sulfatos solubles y en materia orgánica. Con respecto al contenido de materia orgánica, esta puede inhibir las reacciones puzolánicas, retardando los efectos de la cal sobre el suelo. Pero, por otro lado, la mezcla del suelo con la cal permite eliminar esta materia orgánica. Por lo tanto, en el caso de suelos con porcentajes excesivos de esta, conviene sobre dosificar la cal necesaria para eliminar la materia orgánica presente. El contenido de sulfatos solubles, bien por su existencia en el propio terreno, o bien por ser aportados por las aguas subterráneas existentes, puede afectar la estabilización mediante la reacción de los sulfatos solubilizados en el agua con los aluminatos cálcicos hidratados, producidos por la reacción puzolánica entre el suelo y la cal, formando Etringita (trisulfoaluminato cálcico), muy expansiva, que puede llegar a romper las capas ya extendidas y compactadas. En el ataque por sulfatos, el agua constituye un elemento esencial para el mismo. Así, el agua presente en el material estabilizado suelo-cal puede ser insuficiente para disolver la cantidad necesaria de sulfato, de forma que no exista ataque apreciable aún con grandes cantidades de sulfatos, a menos que haya una aportación suficiente de agua desde el exterior.

Subrasante (o subbase): La cal puede estabilizar permanentemente el suelo fino empleado como una subrasante o subbase, para crear una capa con un valor estructural significativo en el sistema del pavimento. Los suelos tratados pueden ser del lugar (subrasante) o bien, de materiales de préstamo. La estabilización de la subrasante por lo general implica mezcla en el lugar y generalmente requiere la adición de cal de 3 a 6 por ciento en peso del suelo seco.

Bases: La cal puede estabilizar permanentemente materiales que no cumplen con las características mínimas para funcionar como una base (como la grava con arcilla, gravas “sucias”, o bases contaminadas en general) que contienen al menos el 50 por ciento de material grueso retenido en la malla o tamiz No. 4. La estabilización de bases es utilizada para la construcción de caminos nuevos y para la reconstrucción de caminos deteriorados, y generalmente requiere la adición de 2 a 4 por ciento de cal respecto al peso del suelo seco. La mezcla en el lugar se usa comúnmente para la estabilización de bases, sin embargo, la mezcla en planta también puede ser utilizada. La cal también se usa para mejorar las características de las mezclas de suelo y agregados en “el reciclaje de espesor completo” (31).

1.2.4.4 Modificación con cal y secado de suelos

Existen otros dos tipos importantes de tratamiento con cal utilizado en operaciones de construcción (31).

Primero, debido al calor generado por la reacción de la cal al combinarse químicamente con el agua, puede ser usada con eficacia para secar suelos mojados. La reacción con el agua ocurre incluso si los suelos no contienen fracciones arcillosas significativas. Cuando las arcillas están presentes, la reacción química de la cal con las arcillas, seca aún más los suelos. El efecto neto es que el secado ocurre rápidamente, dentro de un

lapso de horas, lo cual permite al contratista compactar el suelo mucho más rápidamente que si esperara que el suelo se secase por la evaporación natural.

El secado del suelo húmedo en obras de construcción es uno de los usos más amplios de la cal para el tratamiento de suelos. La cal puede ser utilizada para uno o varios de los siguientes casos: ayudar a la compactación, secar las áreas húmedas; mejorar la capacidad soporte; proporcionar una plataforma de trabajo para la construcción subsiguiente; y acondicionar el suelo (hacerlo trabajable) para una posterior estabilización con cemento Portland o con asfalto. Generalmente, entre 1 y 4 por ciento de cal secará un sitio mojado suficientemente para permitir que procedan las actividades de construcción.

Segundo, el tratamiento con cal puede mejorar considerablemente la trabajabilidad y la resistencia a corto plazo del suelo, de tal forma que permite que los proyectos puedan ser ejecutados más fácilmente. Los ejemplos incluyen tratamiento de suelos finos o materiales de base granular para construir caminos temporales u otras plataformas de construcción. Típicamente se utiliza del 1 al 4 por ciento de cal en peso con respecto al suelo para la modificación, que es generalmente una menor cantidad que la utilizada para la estabilización permanente de suelos. Los cambios hechos al suelo modificado con cal pueden o no ser permanentes. La diferencia principal entre la modificación y la estabilización es que, con la modificación, generalmente no se le concede ningún crédito estructural a la capa modificada con cal en el diseño del pavimento. La modificación con cal trabaja mejor en suelos arcillosos.

1.2.4.5 Estabilización de subrasante (o subbase) con cal

1.2.4.5.1 Escarificación y pulverización inicial

La subrasante puede ser escarificada a la profundidad y ancho especificados y luego pulverizarse parcialmente. Es deseable remover los materiales que no sean suelos y que sean mayores que 3 pulgadas, como troncos, raíces, césped y piedras (31).

Una subrasante escarificada o pulverizada ofrece más área de contacto superficial de suelo para la cal en el momento de la aplicación.

Si la cal viva se descarga en “volcanes”, es deseable una superficie lisa, de modo que se alcance una aplicación uniforme con la hoja de la motoniveladora. Por lo anterior, el suelo no debería ser escarificado antes de que la cal viva sea aplicada de esta manera (1).

Equipo: motoniveladora con escarificador o escarificador de discos; estabilizadora de suelos para pulverización inicial.

1.2.4.5.2 Aplicación de la cal viva

Existen dos formas en que la cal viva seca puede ser aplicada. La primera, los camiones auto descargables o tráiler pueden distribuir la cal viva neumática o mecánicamente a la anchura completa del camión. Debido a que el flujo de cal viva granular y sin triturar es más controlable que el de la cal hidratada, resulta una práctica común usar camiones con aplicadores incorporados (1).

Para el empleo de una barra de extensión neumática, la cal viva se muele ($\frac{1}{4}$ " de \emptyset) para fluir libremente. Aplicador mecánico sobre la parte posterior de un camión o tráiler, o una caja separada puede manejar la cal viva menos fina, comúnmente hasta $\frac{1}{2}$ " de diámetro. La subbase puede ser escarificada para este tipo de uso. Este uso trabaja bien en condiciones

de suelo muy mojadas.

Para asegurar que se aplica la cantidad correcta de cal, se puede colocar sobre el suelo una bandeja o un paño de área conocida, entre las ruedas del camión que esparce la cal. La bandeja o paño, donde se recolectó la cal, se pesa para verificar que la cantidad de cal es la correcta (31).

Otro método para aplicar la cal viva, es por gravedad, dejándola caer formando un camellón. Es usual utilizar camiones graneleros con sistemas de compuertas inferiores neumáticas. Una motoniveladora se utiliza, ocasionalmente, para esparcir la cal viva. Se puede utilizar cal hasta un tamaño de $\frac{3}{4}$ ". Este método requiere que el área sea nivelada y esté suficientemente seca, para que el suelo no se ahuelle bajo las llantas del camión, lo que evitaría la extensión uniforme. Es difícil de medir la proporción de aplicación de cal cuando se extiende utilizando una motoniveladora. El mejor método es marcar un área en la cual se extenderá una cantidad conocida de cal y observar la motoniveladora para asegurar que es extendida uniformemente (30).

1.2.4.5.3 Aplicación de la cal hidratada seca

La cal hidratada debe ser uniformemente extendida en el porcentaje especificado desde camiones adecuadamente equipados. Un aplicador aprobado es preferible para la distribución uniforme. La cantidad de cal hidratada seca puede ser medida usando el mismo método que descrito encima para la cal viva.

La cal hidratada seca no debería ser extendida en condiciones de viento debido al polvo excesivo. En condiciones de viento, en áreas pobladas, o en zonas adyacentes al tráfico de vehículos pesados, la aplicación de lechada o una aplicación adecuada de cal viva pueden reducir al mínimo los problemas relacionados con el polvo.

Equipo para aplicación de cal hidratada seca: Para envíos en camión, los camiones con tanques auto descargables son los más eficientes para transportar y esparcir la cal porque no se requiere ningún manejo adicional. La descarga se realiza neumáticamente o por uno o varios transportadores de tomillo. La extensión puede ser lograda por una paleta mecánica colocada en la parte posterior u otros dispositivos.

Si se utiliza transporte de palangana, los mismos deben ser cubiertos para prevenir el polvo durante el viaje al lugar de aplicación y durante la extensión de la cal. La extensión, al utilizar transporte de palangana, deberá realizarse ajustándole un esparcidor mecánico en la parte posterior. No se recomienda descargar la cal en solo “volcán” para realizar posteriormente la extensión con motoniveladora (31).

1.2.4.5.4 Aplicación de la lechada de cal

En este uso, el suelo generalmente es escarificado y la lechada se aplica con camiones distribuidores. Debido a que la cal en la forma de lechada está menos concentrada que la cal seca, a menudo se requiere dos o más pasadas para proporcionar la cantidad especificada de sólidos de cal. Para prevenir la pérdida y la consecuente no uniformidad en la distribución de cal, la lechada se mezcla con el suelo inmediatamente después de cada pasada.

La proporción real utilizada depende del porcentaje de cal especificada para el tipo de suelo, y el porcentaje de sólidos de cal en la lechada. Los sólidos en la lechada generalmente están en el rango entre 30 y 35 por ciento, aunque existe la tecnología para aumentar los sólidos arriba del 40 por ciento para reducir el número de pasadas de por los camiones esparcidores. Los sólidos contenidos en la lechada (y, por consiguiente, la cantidad de cal disponible) pueden ser fácilmente medidos en los tanques de mezcla o en los camiones, utilizando un dispositivo de gravedad específica. Una vez que se conoce el contenido

de sólidos de la lechada, las cargas pueden ser extendidas sobre áreas de extensión conocida para asegurar la cantidad correcta de aplicación.

Equipo para aplicación de la lechada: Se recomiendan camiones distribuidores con recirculación, capaces de mantener la lechada en la suspensión. Si el tiempo de viaje es corto, se pueden utilizar camiones sin bombas de recirculación. La extensión desde los camiones de tanque se lleva a cabo por gravedad o por barras de rocío a presión. Los distribuidores de presión son preferidos porque ellos proporcionan una aplicación más uniforme (31).

1.2.4.5.5 Mezcla preliminar y aplicación de agua

Se requiere una mezcla preliminar para distribuir la cal dentro del suelo y para pulverizar inicialmente el suelo para preparar la adición de agua que inicie la reacción química para la estabilización. Esta mezcla puede iniciar con la escarificación. La escarificación puede realizarse aún sin mezcladoras modernas. Durante este proceso o inmediatamente después, el agua deberá agregarse (31).

1.2.4.5.6 Periodo de fraguado

La mezcla de suelo y cal debería fraguar suficientemente para permitir la reacción química que cambia sus propiedades. La duración de este período de fraguado depende del tipo de suelo y es a juicio del ingeniero; comúnmente, es de 1 a 7 días. Después del fraguado, el suelo deberá ser mezclado, de nuevo, antes de la compactación. Para suelos con Índice de Plasticidad bajos, o cuando el objetivo es el secado o la modificación, el fraguado no es necesario (31).

1.2.4.5.7 Mezcla final y pulverización

Para alcanzar la estabilización completa, es esencial una adecuada pulverización final de la fracción arcillosa y la completa distribución de la cal dentro del suelo. La mezcla y la pulverización deberían continuar hasta que el 100 por ciento de material pase el tamiz de 1 pulgada y al menos el 60 por ciento de material pase el tamiz No. 4.

1.2.5 Red Vial Nacional

1.2.5.1 Generalidades

La red vial en el Perú está compuesta por más de 78,000 km de carreteras, organizada en tres grandes grupos: carreteras longitudinales, carreteras de penetración y carreteras de enlace. Estas rutas están a cargo de PROVIAS, organismo descentralizado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, que tiene la función mantener y ampliar dichas vías. Por la calidad y el tipo de vehículos que las recorre se clasifican en 3 categorías: autopistas, carreteras asfaltadas y caminos afirmados.

Tabla N° 8. Longitud de la red vial, según tipo de superficie de rodadura y sistema de carretera, periodo 2005-2008 (kilómetros)

Tipo de superficie de rodadura Sistema de carretera	2005	2006	2007	2008
Total	1944.33	1944.33	1398.98	1398.98
Nacional	458.116	458.116	642.866	642.866
Departamental	257.87	257.87	124.62	124.62
Vecinal	1228.35	1228.35	631.5	631.5
Asfaltado				
Nacional	357.126	357.126	357.126	357.126
Departamental	0.00	0.00	0.00	0.00
Vecinal	50.7	50.7	66.6	66.6
Afirmado				
Nacional	0.00	0.00	51.5	51.5
Departamental	0.00	0.00	0.00	0.00
Vecinal	105.7	105.7	58.8	58.8
Sin afirmar				
Nacional	70.79	70.79	204.04	204.04
Departamental	257.865	257.865	124.615	124.615

Vecinal	66.90	66.90	66.90	66.90
Trocha				
Nacional	30.2	30.2	30.2	30.2
Departamental	0.00	0.00	0.00	0.00
Vecinal	905.05	905.05	439.2	439.2

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. **Ver Nota** ¹

Tabla N° 9. Evolución de la Red Vial Peruana.

Año	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Miles de Km	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94	73,44
Año	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Miles de Km	73,77	75,73	78,11	78,13	78,21	78,25	78,32	78,40	78,40	78,51

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (33)

1.2.5.2 Clasificación de carreteras

Tabla N° 10. Clasificación de Carreteras según su Función.
CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS SEGÚN SU FUNCIÓN

TIPO DE RED	
RED	DESCRIPCIÓN
Red Vial Primaria	Se denomina en el Perú como Sistema Nacional, conformado por carreteras que unen las principales ciudades de la nación con puertos y fronteras.
Red Vial Secundaria	Se denomina en el Perú como Sistema Departamental, constituyen la red vial circunscrita principalmente a la zona de un departamento, división política de la nación, o en zonas de influencia económica; constituyen las carreteras troncales departamentales.

¹ (*) Red Nacional: rutas longitudinales (Panamericana, Carretera de la Sierra o Andina)

(**) Red Departamental: carreteras que constituyen la red vial circunscrita a la zona de un departamento, uniendo las principales capitales de provincia de ese departamento.

(***) Red Vecinal, (Camino Rural): caminos que comunican pueblos o caseríos pequeños.

Red Vial Terciaria o local	<p>Se denomina en el Perú como Sistema Vecinal compuesta por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caminos troncales vecinales: interconectando pequeñas poblaciones. • Caminos rurales alimentadores: interconectando aldeas y pequeños asentamientos poblacionales.
----------------------------------	---

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

Tabla N° 11. *Clasificación de Carreteras según su Demanda.*

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS SEGÚN SU DEMANDA	
	DESCRIPCIÓN
Autopistas	Carretera de IMDA mayor de 4000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles, con control total de los accesos (ingresos y salidas) que proporciona flujo vehicular completamente continuo. Se le denominará con la sigla A.P.
Carreteras duales o multicarril.	De IMDA mayor de 4000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles; con control parcial de accesos. Se le denominará con la sigla MC (Multicarril).
Carreteras de 1ra. Clase	Son aquellas con un IMDA entre 4000-2001 veh/día de una calzada de dos carriles (DC).
Carreteras de 2da. Clase	Son aquellas de una calzada de dos carriles (DC) que soportan entre 2000-400 veh/día.
Carreteras de 3ra. Clase	Son aquellas de una calzada que soportan menos de 400 veh/día.
Trochas carrozables	Es la categoría más baja de camino transitable para vehículos automotores. Construido con un mínimo de movimiento de tierras, que permite el paso de un solo vehículo

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (34)

Tabla N° 12. *Clasificación de Carreteras según su Condición Geográfica.*

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS SEGÚN SU CONDICIÓN GEOGRÁFICA	
	DESCRIPCIÓN
Carreteras Tipo 1	Permite a los vehículos pesados mantener, aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos ligeros. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es menor o igual a 10%.
Carreteras Tipo 2	Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de las de los vehículos de pasajeros, sin ocasionar el que aquellos operen a velocidades sostenidas en rampa por un intervalo de tiempo largo. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre 10 y 50%.
Carreteras Tipo 3	Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir a velocidad sostenida en rampa durante el recorrido de distancias considerables o a intervalos frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre 50 y 100%.
Carreteras Tipo 4	Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en rampa que aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es mayor de 100%.

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (34)

Según el tipo de **superficie de rodadura**, las carreteras pueden clasificarse en pavimentadas y no pavimentadas, como se puede apreciar en la **Tabla N° 13**.

Tabla N° 13. *Clasificación de Carreteras según su Tipo de Superficie de Rodadura.*

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS SEGÚN SU TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	
CARRETERAS	DESCRIPCIÓN
Pavimentadas	<p>Vías que tienen una estructura formada por una o más capas de materiales seleccionados y eventualmente tratados (pavimento), que se colocan sobre la subrasante con el objetivo de proveer una superficie de rodadura adecuada y segura bajo diferentes condiciones ambientales y que soporta las solicitaciones que impone el tránsito.</p>
No pavimentadas	<p>Vías que tienen una capa delgada de asfalto o estabilizadas mediante aditivos, pero que no pasaron por un proceso de pavimentación. El manual de diseño para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, ha considerado que básicamente se utilizarán los siguientes materiales y tipos de superficie de rodadura:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo. • Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo y de 75 mm de tamaño máximo. • Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento de materiales de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25mm. • Afirmados con gravas naturales o zarandeadas. • Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado. • Carreteras con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales:

	<ul style="list-style-type: none"> • Grava con superficie estabilizada con materiales como: cal, aditivos químicos y otros. • Suelos naturales estabilizados con: material granular y finos ligantes, cal, aditivos químicos y otros.
--	---

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (34)

Tabla N° 14. Superficie de rodadura de las carreteras de bajo volumen de tránsito.

CARRETERA DE BVT	IMD PROYECTADO	ANCHO DE CALZADA	ESTRUCTURAS Y SUPERFICIES DE RODADURA ALTERNATIVAS
T1	101- 200	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeo o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min.) 15 cm) estabilizadas con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T2	51- 100	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular natural, grava seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado. min. 15 cm.
T3	16- 50	1 carril (*) o 2 carriles 3.50-4.50	Afirmado (material granular natural, grava seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado. min. 15 cm
T0	< 15	1carril (*) 3.50-40.50	Afirmado (tierra) en lo posible mejorado con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado. min15 cm
Trocha carrozable	IMD indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada: perfilado y compactado

Fuente: Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. **Ver Nota** ².

² (*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.

(**) En caso no disponer de grava a distancia cercana, la carretera puede estabilizarse mediante técnicas de estabilización como la de suelo - cemento, suelo - cal, productos químicos u otros)

1.2.5.3 Mantenimiento de carreteras no pavimentadas

En forma general, se define el término “mantenimiento vial” como el “conjunto de actividades que se realizan para conservar en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen el camino y, de esta manera, garantizar que el transporte sea cómodo, seguro y económico. En la práctica lo que se busca es preservar el capital ya invertido en el camino y evitar su deterioro físico prematuro”. En el Perú, las carreteras no pavimentadas, conforman el mayor porcentaje del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), las cuales se caracterizan por tener una superficie de rodadura de material granular. Además, si se toma en consideración el Manual Técnico de Mantenimiento Rutinario para la Red Vial No Pavimentada se distingue dos tipos de trabajos en carreteras no pavimentadas.

Mantenimiento rutinario: Es el conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente a lo largo del camino y que se realizan en los diferentes tramos de la vía; estas actividades tienen como finalidad principal la preservación de todos los elementos del camino con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y, en lo posible, conservando las condiciones que tenía después de la construcción o la rehabilitación. El mantenimiento rutinario es de carácter preventivo, por tal razón se incluyen como parte de éste; a las actividades de limpieza de las obras de drenaje, el corte de la vegetación y las reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma, entre otras actividades. En síntesis, el mantenimiento rutinario como conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de servicio, para lo cual se realizan actividades que pueden ser manuales o mecánicas - principalmente labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud, etc. -; también incluye las actividades socio ambientales, de atención de emergencias viales menores y de cuidado y vigilancia de la vía.

Mantenimiento periódico: conjunto de actividades que se ejecutan en

períodos, en general, de más de un año y que tienen el propósito de evitar la aparición o el agravamiento de defectos mayores, de preservar las características superficiales, de conservar la integridad estructural de la vía y de corregir algunos defectos puntuales mayores. Ejemplos de este mantenimiento son la reconformación de la plataforma existente y las reparaciones de los diferentes elementos físicos del camino. En otras palabras, el mantenimiento será periódico, cuando el conjunto de actividades programadas cada cierto período, se realizan en las vías para conservar sus niveles de servicio; dichas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de desencalaminado, perfilado, nivelación, reposición de material granular, así como reparación o reconstrucción puntual de los puentes y obras de arte (5).

1.2.6 Conservación y rehabilitación de carreteras no pavimentadas

La conservación de carreteras se puede efectuar a diferente nivel. En el primer nivel está la conservación propiamente dicha, en la cual las actuaciones no conducen a modificaciones sustanciales de los elementos de las carreteras. Dentro de esta conservación se realizan actuaciones periódicas que impiden la aparición de deterioros (conservación preventiva) o bien se actúa lo antes posible cuando estos deterioros ya aparecieron (conservación curativa). La conservación curativa puede dirigirse a la reparación de deterioros localizados (operaciones localizadas) o al tratamiento de tramos de una longitud apreciable (operaciones generales). Dado que la conservación vial involucra muchas actividades; una de las más importantes es capacitar técnicamente a quienes tienen la tarea de hacerlo y organizar su esfuerzo lo cual por su naturaleza es una tarea permanente; asimismo, iniciar oportunamente la ejecución misma de las obras de conservación. Como se señaló en las líneas precedentes, la conservación vial está a cargo del Estado, en sus diversos niveles de gobierno; luego, para lograr proteger las carreteras,

las autoridades y/o entidades competentes o responsables de la conservación de las obras viales - según el tipo de red vial-, son:

- Para Red Vial Nacional: El Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Para Red Vial Departamental o Regional: El Gobierno Regional, a través de su unidad ejecutora de la Gestión Vial; y
- Para Red Vial Vecinal o Rural: Los gobiernos locales, a través de sus unidades ejecutoras de gestión vial.

En un segundo nivel de la conservación de carreteras no pavimentadas se sitúan las rehabilitaciones. En general, se recurre a éstas, cuando el paso del tráfico y las acciones climáticas han provocado una disminución apreciable de las características iniciales o cuando se quiere hacer frente a nuevas solicitudes no contempladas con anterioridad. Las rehabilitaciones de una carretera no pavimentada incluyen actuaciones de carácter extraordinario —a menudo de aplicación general—, en un tramo de longitud apreciable y cuyo objetivo es un aumento significativo del índice de estado o de comportamiento de la carretera. Las rehabilitaciones pueden referirse a:

- Rehabilitaciones superficiales; cuando se trata de rehabilitaciones o renovaciones superficiales. Por ejemplo: Disminuir o eliminar el nivel de polvo que empieza a presenciarse luego de un tiempo después de haberse aplicado el estabilizador.
- Rehabilitaciones significativas. Por ejemplo: Cuando se opta por cambiar el aditivo estabilizador por otro.
- Rehabilitaciones estructurales; las que se llevan a cabo habitualmente con el fin de producir un aumento significativo de la capacidad estructural de la carretera. Por ejemplo: Cuando se ensancha la carretera o se opta por la pavimentación (35).

Definición de Términos Básicos

Cal: Es un término que designa todas las formas físicas en las que pueden aparecer el óxido de calcio (CaO) y el óxido de calcio y magnesio (CaMgO). Estos productos se obtienen como resultado de la calcinación de las rocas (calizas o dolomías).

Estabilización de suelos: proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

Límite líquido: Contenido de humedad con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De esta forma, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte y según Atterberg es de 25 g/cm².

Límite plástico: Contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. El límite plástico se determina con el material sobrante del límite líquido y al cual se le evapora humedad por mezclado hasta obtener una mezcla plástica que sea moldeable. Se forma una pequeña bola que deberá rodillarse enseguida aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos.

Prueba Proctor: Esta prueba determina el peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Se refiere a la Prueba Proctor estándar y Prueba Proctor modificado.

Prueba Proctor estándar: Esta prueba tiene como finalidad determinar el peso volumétrico seco máximo de compactación Proctor y la humedad óptima en los suelos con material mayor de 3/8" y los cuales no se les puede hacer la prueba Proctor. Esta prueba sirve también para determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado periodo de saturación.

Prueba Proctor modificado: Aplica mayor energía de compactación que el estándar siendo el que está más de acuerdo con las solicitaciones que las modernas estructuras imponen al suelo.

Valor relativo de soporte: Es un índice de resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad de los suelos de subrasante y de las capas de subbase, base y afirmado de un pavimento.

Subrasante: Se define así al terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.

Suelo arcilloso: El suelo arcilloso es aquél en el que predomina la arcilla sobre otras partículas de otros tamaños. La arcilla es un conjunto de partículas minerales muy pequeñas, de menos de 0,001 mm de diámetro, en contraposición a otras partículas más grandes como son el limo y la arena, por orden de tamaño, de menor a mayor. (33)

CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Planteamiento del problema

En la práctica, con frecuencia el ingeniero debe enfrentarse al suelo, a la vez, material y estructura de soporte; y, cuyas características le obligan, según muchísimos ingenieros, entre ellos Gárnica et al (27), a tomar alguna de las siguientes posibles decisiones:

- Aceptar el material en las condiciones que se lo encuentra, pero teniendo en cuenta en el diseño las restricciones impuestas por su calidad.
- Eliminar el material insatisfactorio o abstenerse de usarlo, sustituyéndolo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades físicas y/o químicas del material para hacerlo capaz de cumplir en mejor forma los requisitos deseados o, cuando menos, que la calidad obtenida sea adecuada. Esta última posibilidad es la que según Montejo (26) conlleva a la estabilización de suelos.

Las vías terrestres constituyen un factor fundamental dentro de la infraestructura física de un país, éstas influyen directamente en el crecimiento del Producto Interno Bruto nacional, agilizan el mercado, comunican poblaciones, mejoran la calidad de los servicios públicos y la calidad de vida de sus beneficiarios (36). Las Carreteras no pavimentadas son de gran importancia en el desarrollo local, regional y nacional, por cuanto el mayor porcentaje de la vialidad se encuentra en esta categoría; y, en la sierra y selva tienden a deteriorarse en forma acelerada debido principalmente a la presencia de lluvias. La consistencia de la capa de afirmado no sólo es vulnerable a los factores climáticos sino también a la acción física de los vehículos; así, en

estaciones secas las partículas de la superficie de rodadura llegan a pulverizarse bajo la acción abrasiva de los neumáticos, iniciándose el deterioro progresivo de la superficie y la emisión de polvo que afecta la salud de los pobladores que habitan cerca al eje de este tipo de carreteras; pero, en épocas de lluvia pierde la capacidad portante iniciándose fallas como ahuellamientos, surcos, baches, etc.; lo cual implican altos costos en el mantenimiento rutinario de la vía y afectaciones ambientales.

El comportamiento de los suelos influye en el comportamiento de la estructura, entonces, resulta importante conocer si las propiedades y características de este son apropiadas, de no ser así se recurren a métodos de mejoramientos denominados estabilización de suelos como por ejemplo la adición de materiales cementantes. La planeación, construcción y mantenimiento de las vías tienen costos muy altos cual fuese el nivel de su calidad y en ciertas ocasiones encarece, pues no en todos los lugares se encuentran materiales útiles para la construcción, haciéndose necesario transportar materiales desde lugares muy alejados, para cumplir las exigencias normativas. Por otra parte, el funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción vial depende de la calidad de los suelos subyacentes; éstos influyen en el comportamiento de la estructura, así los suelos inestables pueden crear problemas significativos en los pavimentos, por tal motivo desde hace algunas décadas se ha tratado de realizar el mejoramiento de estos suelos empleando diversas técnicas de estabilización y diversos materiales, como cal, cemento Portland, aditivos, emulsiones, enzimas, geomallas, etc (11). Los métodos de mejoramiento de suelos en pavimentación a través de la adición de materiales elevados en calcio, como el cemento y la cal hidratada, consideran que estos materiales mezclados en un porcentaje adecuado, con la humedad óptima y energía de compactación de acuerdo a la capa a construir y buen control de calidad garantizan un

comportamiento eficiente al lograrse buena resistencia a los factores climáticos, adecuada absorción de los esfuerzos producidos por el tránsito, y disminución en los costos de construcción (11).

Vásquez (8), señala que la estabilización significa entonces, no solo llegar a un estado del suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, que implica la mejora de las propiedades de estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad y compresibilidad, sino también asegurar la permanencia de ese estado a través del tiempo, es decir, la durabilidad. Este último aspecto del proceso tiene fundamental importancia, ya que, de su existencia, depende la existencia del primero.

En la actualidad, se viene desarrollando el uso y estabilización de suelos, alrededor de todo el mundo, con el fin de obtener una mayor durabilidad de los materiales que conforman la estructura del pavimento, además de tener capas de mayor capacidad de soporte y que de igual forma sean más resistentes a los agentes atmosféricos; y, hace más de 30 años que las técnicas de modificación de los suelos se han convertido en una parte importante de la práctica de la ingeniería civil. El mejoramiento de las zonas con presencia de arcilla débil o compresible se hace comúnmente mediante la eliminación de los suelos arcillosos de baja capacidad de soporte y se reemplazan por otros más competentes, tales como la grava arenosa compactada, piedra triturada, o agregados livianos para aumentar la capacidad de carga (29). Aunque esto se considera una buena solución, por lo general tiene el inconveniente de alto costo debido al material de reemplazo; entonces, el uso de aditivos, derivados de la combustión de carbón, como cenizas volantes u otros procesos de estabilización química de mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural existente en las fundaciones se considera una solución más rentable.

No obstante la existencia de investigaciones y hasta algunos proyectos viales ejecutados con estabilización de suelos en Perú, se ha observado que cada caso presenta resultados particulares inherentes al tipo de suelo predominante en la región; para la selva baja peruana, donde según Carrillo (19), predominan los suelos residuales - suelos saprolíticos y lateríticos - no es posible todavía hacer generalizaciones que sean válidas universalmente por no existir suficiente conocimiento del suelo tropical, en especial con respecto a sus propiedades químicas y mineralógicas y a su comportamiento mecánico; y, por otro lado, los métodos de análisis de estabilidad aceptados por la comunidad geotécnica no conducen aún a resultados satisfactorios para estos materiales (37).

Entonces, resulta importante conocer sí las propiedades y características de este son apropiadas, de no ser así plantear alguno de los varios métodos de mejoramiento conocidos como los de *estabilización de suelos*, por ejemplo, la adición de cal para estabilizar una subrasante de suelo arcilloso de una vía de acceso en selva baja. Los suelos de la selva peruana, específicamente en Loreto, son finos (arenas muy finas, arcillas y limos), altamente plásticos y saturados. Algunos métodos de mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos para construcción de pavimentos consisten en la adición de materiales elevados en calcio, como el cemento y la cal hidratada; estos materiales mezclados en un porcentaje adecuado, con la humedad óptima y energía de compactación de acuerdo al espesor de la capa a conformar, han demostrado un comportamiento eficiente, también en los suelos referidos siempre y cuando exista un buen control de calidad, garantizándose una buena resistencia a los factores climáticos, adecuada absorción de los esfuerzos producidos por el tránsito, y disminución de los costos de construcción (8).

La carretera de penetración Ex Petroleros (6.5 km), se encuentra ubicada en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto; está jerarquizada como ruta vecinal y se

encuentra registrada en el Sistema Nacional de Carreteras con el Código de rutas **LO – 524: Trayectoria: Emp. LO – 103 – (Expetroleros) – Pta. Carretera**; y, es de competencia Municipal. Está asentada en terreno arcilloso con un ancho promedio de superficie de rodadura de 8.00m, las que como consecuencia de las constantes precipitaciones pluviales y tránsito vehicular y peatonal, así como el tiempo transcurrido de haberse rehabilitado y/o efectuado trabajos de mantenimiento y mejoramiento. A a la fecha, la carretera presenta deterioro debido al acelerado crecimiento de la vegetación abundante (malezas y arbustos), cunetas cubiertas parcial o totalmente con tierra, algunos debido al derrumbe de los taludes y otras por material de préstamo, alcantarillas obstruidas con material orgánico e inorgánico muchas de las cuales requieren una inmediata limpieza, alcantarillas y puentes en completo estado de deterioro los cuales requieren un inmediato mantenimiento.

Esta carretera tiene las siguientes características técnicas:

- Velocidad directriz 30 Km. /h.
- Ancho promedio de plataforma 8.00 m.
- Superficie de rodadura Encalaminada.
- Bermas laterales Con maleza y arbustos.
- Pendiente promedio 3 %
- Alcantarillas Obstruidas - Cunetas
- Longitud 6.50 km

En esta carretera, los materiales constituyentes de la subrasante a estabilizar, son arcillas que se encuentran saturadas, debido a la inexistencia de obras de arte longitudinal e insuficiente obras de arte transversal. Los suelos en la zona son arcillosos de alta plasticidad, no existiendo fuentes de material grueso cercanas, a excepción de la arena cuarzosa blanca fina que existen en canteras explotables hasta el km

26 de la carretera Iquitos – Nauta. Esta trocha carrozable actualmente se encuentra a nivel de subrasante y anualmente está sometido a mantenimiento rutinario, sufriendo erosión considerable por la pendiente natural que presenta y porque el agua de lluvia acumulada a ambos lados escurre sobre ésta. Ante esta situación, es posible tomar la siguiente decisión: Modificar las propiedades del material conformante de la subrasante para hacerlo capaz de cumplir en mejor forma los requisitos deseados o, cuando menos, cumplir con las exigencias de las especificaciones técnicas para el tipo de infraestructura; razón como ésta llevó a Montejo (26), a sugerir esta posibilidad, la misma que da origen a la *estabilización de suelos in situ*, mejorándolo con el empleo de materiales cementantes para en una posterior oportunidad construir una sub-base también mejorada. Por esta razón el presente trabajo se enfoca a evaluar los efectos de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en la carretera Ex Petroleros, en mención.

Para contribuir en la solución de esta problemática, el problema queda formulado de la siguiente manera:

2.1.1. Formulación del problema

2.1.1.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la cal como estabilizante, en las propiedades químicas, físicas y mecánicas, del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, distrito de San Juan Bautista?

2.1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el diagnóstico de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los suelos arcillosos en estado natural de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, distrito de San Juan

Bautista?

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos en estado natural, que se necesitan mejorar, en la subrasante de la carretera Ex Petroleros, distrito de San Juan Bautista?
- ¿Cómo influye la cal aplicada en diferentes proporciones, en la estabilización de los suelos arcillosos para la mejora de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los suelos de la subrasante en vías no pavimentadas de bajo tránsito?
- ¿Cuál es el efecto de la cal como estabilizante, en las propiedades químicas, físicas y mecánicas del suelo cohesivo de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, distrito de San Juan Bautista?
- ¿Cuál es el diseño de la estabilización adicionando cal al suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, distrito de San Juan Bautista?

2.2. Justificación de la investigación

La aplicación de la cal como material estabilizante de suelos de fundación es utilizado por ejemplo en las capas subrasantes, aunque existen muchos estudios sobre este tema, en esta investigación se va a estudiar el efecto del citado material estabilizante agregándolo en ciertas proporciones a un suelo arcilloso de la subrasante de una carretera no pavimentada y de bajo tránsito, específicamente de la carretera Ex Petroleros, la que inicia a la altura del Km 41.3 de la carretera Iquitos Nauta, distrito de San Juan Bautista, Loreto - Perú.

El presente estudio, se justifica, porque la Universidad contribuye con esta investigación a resolver los problemas de su entorno; bajo el entendido del objetivo fundamental de estabilizar las carreteras no pavimentadas es prestar a los usuarios un servicio de calidad que satisfaga sus necesidades

de movilidad; y, en este caso, el proyecto se orienta a brindar una mejor calidad de vida en la población de diversas comunidades asentadas a ambos lados de esta vía de penetración que se dedican a las actividades agrícola y piscícola, cuyos excedentes de producción son transportados por esta vía para el suministro a la población de la ciudad metropolitana de Iquitos.

También para ello, es sabido que, una vez construida una carretera no pavimentada, hay que realizar una serie de actividades de conservación para no solamente preservar el valor patrimonial del país, sino también, como observara Gutierrez (6), para asegurar una resistencia estructural que garantice una circulación segura, fluida y cómoda, pero buscando que los costos globales de transporte sean los más bajos posibles. En periodos de lluvia esta vía presenta problemas de transitabilidad en su mayor parte, debido al efecto del agua en las propiedades de compresibilidad, estabilidad volumétrica, resistencia al esfuerzo cortante, resistencia a la compresión y capacidad de soporte de los suelos cohesivos conformantes de su subrasante, cuyo comportamiento se pretende mejorar, a través de la aplicación de cal a los suelos in situ que, como indican Gárnica et al (27), no permita que la presencia del agua modifique sustancialmente las propiedades en mención.

En el aporte al conocimiento, esta investigación está justificada, porque se busca la mejora de las características físicas y mecánicas de los materiales in situ como una alternativa que ofrece la ventaja de la reducción del tiempo de construcción y costos de acarreo, pero a la par que las propiedades químicas y mineralógicas y el comportamiento mecánico de los suelos amazónicos no son del todo conocidos, es de notar que “No existe el Estabilizador que se aplique universalmente a cualquier tipo de suelos y mejore todas sus propiedades” (37) (12) (38).

Los resultados que se obtengan en la presente investigación contribuirán en la interpretación del comportamiento de los suelos arcillosos estabilizados con cal, incrementando el conocimiento y el estado del arte

de la estabilización de suelos residuales en la Amazonía utilizando cal como material estabilizante; y, potenciando así su aplicación empírica en el mantenimiento de carreteras a nivel de trocha carrozable, así como en sub bases y bases de pavimentos. La investigación también está justificada desde el punto de vista del aspecto tecnológico, dado a que la elección del método a usar depende del tipo de suelo, procedimientos constructivos, costos y a las condiciones que deberá de soportar la vía durante su vida de servicio; y, la mayoría de los suelos arcillosos generalmente, por su mala calidad y baja capacidad de soporte, no cumplen con los requerimientos exigidos en los proyectos de pavimentación; sin embargo, para que la adición de cal reaccione convenientemente se necesita que el suelo contenga minerales arcillosos, o sea sílice y aluminio, cuya determinación se ha previsto en la investigación para la mejora de las propiedades mecánicas del suelo natural, evitando sobrecostos de obra por mayores espesores de la estructura del pavimento y por la distancia de acarreo de material granular, los que, a excepción de la arena fina, en la selva baja, son inexistentes (10). Además, la poca o nula presencia de materiales granulares o roca, que puedan ser usados en las diversas capas de la estructura del pavimento, hace de los costos de construcción de carretera tradicional con sub base, base granular y carpeta asfáltica, sea costosa y sin considerar que sería poco funcional debido a que, en principio, la subrasante debe de ser mejorada a partir, fundamentalmente, del mejoramiento de las propiedades de los suelos que lo constituyen, debido a estas razones es imprescindible la búsqueda de otras técnicas alternativas, que al incorporar elementos químicos que reaccionan con el suelo, como en el caso de la estabilización con cal, permitan mejorar entre otras, la capacidad de soporte de los suelos en el proceso de construcción de carreteras en estas zonas (13), (11), (12), (6). Se realizarán ensayos de laboratorio a las muestras de suelos arcillosos, y a todas las mezclas que se utilizarán para lograr valores positivos en las estabilizaciones, todos estos ensayos realizados de acuerdo a normas ASTM, normas AASHTO y normas MTC, según corresponda.

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la modificación de una subrasante de suelo arcilloso, como efecto de la adición en diferentes proporciones de cal como material estabilizante, de la carretera Ex Petroleros, distrito de San Juan Bautista.

2.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas más importantes de los suelos en estado natural, de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, Loreto.
- Definir las propiedades físicas, mecánicas y químicas de las muestras recolectadas y estabilizadas con cal, de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, Loreto.
- Evaluar el efecto de la cal como estabilizante, en las propiedades físicas, mecánicas y químicas, del suelo de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, distrito de San Juan Bautista.
- Determinar el óptimo contenido de cal para estabilizar los suelos de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, Loreto

2.4. Hipótesis

Con la adición de cal (2%, 4%, 6% Y 8%), en el suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Ex Petroleros se mejorarán sus propiedades físicas y mecánicas (límites de Atterberg, la densidad seca máxima y el valor relativo de soporte) entre un 25% a 40%.

2.4.1. Alcances o delimitaciones de la investigación

Se evaluarán las propiedades químicas, físicas y mecánicas del suelo a estabilizar, de la cal como material estabilizante y del material mejorado resultante de la mezcla en proporciones de 2%, 4%, 6% y 8% de cal y de suelo de la subrasante, mediante ensayos de laboratorio como son, entre otros: límite líquido, límite plástico, contenido de humedad óptimo, densidad seca máxima y el valor relativo de soporte (CBR). Se determinará el porcentaje óptimo del agente estabilizador para las diferentes condiciones de suelos de la subrasante de la carretera Ex Petroleros (Norma ASTM D 6276).

La investigación está limitada a suelos arcillosos de la Selva Baja peruana. Sólo se realizarán los ensayos para los que se cuente con equipos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP.

2.5 Variables

2.5.1. Independiente

X1: Suelo arcilloso altamente plástico (convencional o patrón)

2.5.2 Dependiente

Y1: Comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado con cal.

2.5.3 Operacionalización de variables

Tabla N° 15. Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Indices
<u>Variable</u> <u>Independiente: X</u> Suelo arcilloso	X0: Suelo Natural sin adiciones de cal.	0% DE CAL	

extraído de la Subrasante de la carretera ExPetroteros, Loreto.	X1: suelo con 2% de Cal	2% DE CAL	
	X2: suelo con 4% de cal	4% DE CAL	
	X3: suelo con 6% de cal.	6% DE CAL	
	X4: suelo con 8% de cal.	8% DE CAL	
<u>Variable Dependiente: Y</u>	Propiedades Físicas.	-Contenido de humedad.	%
Comportamiento de la propiedades Físicas, mecánicas y químicas.	Propiedades Mecánicas.	-Granulometría.	mm.
		- Límites de Atterberg.	%
	Propiedades Químicas.	-Próctor.	%OCH, MDS
		-California Bearing Ratio (CBR)	%
		- Potencial de Hidrógeno.	Und.

Fuente: Los Autores 2018.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

La fase experimental de la presente tesis se inició con la obtención de muestras. Para ello se realizaron trabajos de campo, donde se reconoció la zona de estudio, luego se procedió con las exploraciones geotécnicas a través de la ejecución de dos calicatas para la extracción del material. Asimismo, se compró cal hidratada, comercializada en una ferretería de la ciudad de Iquitos; un saco de 40 kg, se solicitó las especificaciones técnicas para verificar que el producto era de buena calidad.

Una vez realizada la recolección de las muestras y su posterior traslado al Laboratorio de Suelos de la Universidad Científica del Perú. Según el programa experimental que planteó analizar las muestras en su estado

natural para determinar sus propiedades intrínsecas (este constituirá el grupo de control), posteriormente se realizaron ensayos en las muestras de suelo arcilloso combinándolo con diferentes porcentajes de cal (2%, 4%, 6% y 8%; este grupo es sobre el cuál se aplicó el tratamiento).

A continuación, se detallan los materiales que se utilizaron para la fase experimental, las combinaciones de los materiales y los ensayos que se tuvieron que realizar con el suelo en su estado natural y con la mezcla del suelo natural y las adiciones de las combinaciones.

3.1 Materiales Investigados

3.1.1 Tipo de estudio

El tipo de estudio es **Aplicada**, porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, y la adquisición de nuevos conocimientos después de la práctica realizada tras el desarrollo de la investigación, “Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.

3.1.2 Diseño de estudio

El diseño de estudio pertenece al diseño **Experimental, del tipo Experimental Puro o Auténtico**, incluye dos grupos: uno recibe el tratamiento experimental y el otro no (grupo de control).

Cuando concluye la manipulación, a ambos grupos se les administra una medición sobre la variable dependiente en estudio. (39)

El grupo experimental estará conformado por los suelos de alta plasticidad con $IP \geq 12$, de dos (02) calicatas de hasta 1.50m de profundidad correspondientes al tramo 0+000 a km 6+000.

La representación gráfica es la siguiente:

G₁O X₁ G₁O
G₂O X₂ G₂O
G₃O X₃ G₃O
G₄O X₄ G₄O

Donde:

O: Medición inicial.

G1: Grupo que se está definiendo.

X: Variable Independiente.

Subíndices: Definen los diversos niveles de manipulación de la variable.

GO: Grupo control.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La Población estará conformada por suelos arcillosos de alta plasticidad ($IP \geq 12$) de la carretera Expetroleros del distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, Región Loreto, los cuales serán sujetos a evaluación y análisis de sus propiedades físicas y mecánicas.

3.2.1 Muestra

Para la prueba de hipótesis, la cantidad de muestra se determinará a criterio no probabilístico, considerándose objeto de estudio dos (02) calicatas de suelo arcilloso de alta plasticidad de la carretera Expetroleros con la cual elaboraremos ensayos adicionándolo porcentajes de cal de 0%, 2%, 4%, 6% y 8%, según se indica en las siguientes tablas.

Tabla N° 16. Cantidad de muestra por calicata.

Ensayo	Cantidad (Kg)
Contenido de humedad	5.00 kg
Límites de consistencia	5.00 kg
Granulometría	10.00 kg
Ensayo Próctor	50.00 kg
Ensayo CBR	200.00 kg
Total por calicata	270.00 kg

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

Tabla N° 17. Cantidad de muestras a ensayar.

Variable/	Código	M0	M2	M4	M6	M8	Parcial
Especímenes Límite Líquido y Plástico		5	5	5	5	5	25
Especímenes densidad seca máxima		1	1	1	1	1	5
Especímenes CBR		2	2	2	2	2	10
Total de ensayos							40

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1 Técnicas de recolección de datos

Tabla N° 18. Fases de recopilación de datos.

LA RECOPIACIÓN DE DATOS	
Primera fase:	Se tomarán las muestras de las calicatas de la subrasante
Trabajo de campo	en zonas aún no alteradas (muestras inalteradas) y hasta a 1.50m de profundidad en un promedio de 250kg por calicata.
Segunda fase:	Los ensayos a realizar son los conocidos como
Trabajo de laboratorio	estándares y los denominados especiales.

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

3.3.2 Instrumentos de recolección de datos

Los datos acerca de la efectividad de la cal como estabilizador químico, se determinará mediante ensayos realizados sobre probetas estabilizadas químicamente y sobre probetas del suelo de la subrasante de la carretera Expetroleros; teniendo como criterio de efectividad, la mejora en una propiedad de desempeño de los resultados obtenidos de las probetas estabilizadas químicamente sobre las otras (Adaptado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Norma Técnica de estabilizadores químicos); pero también se recogerá información pertinente a través de la revisión bibliográfica de otras investigaciones relacionadas con la cal en la estabilización de carreteras no pavimentadas.

3.3.3 Laboratorios y Procedimientos

En el laboratorio de Mecánicas de Suelos y Ensayos de Materiales de Construcción de la UCP, las muestras representativas de arcilla, cal y la mezcla adicionando cal serán sometidas a los ensayos (estándares y especiales) siguientes:

Tabla N° 19. *Ensayos (estándares y especiales) a realizar en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de Construcción de la UCP.*

Características	Ensayo	Normas
Físicas	Análisis Granulométrico por Tamizado	(MTC E 107-ASTM D 422)
	Humedad Natural	(MTC E 108-ASTM D2216)
	Límites de Atterberg - Límite Líquido	(MTC E 110-ASTM D4318)
	Límite Plástico	(MTC E 111-ASTM D4318)
	Índice de Plasticidad	(MTC E 111-ASTM D4318)
	Clasificación de Suelos método SUCS	(ASTM D2487)

	Clasificación de Suelos método AASHTO	(ASTM D3282)
Mecánicas	Próctor Modificado	(MTC E 115-ASTMD1557)
	California Bearing Ratio	(MTC E 132–2000; ASTM D1883)
Químicas	Ensayo de PH	
	Ensayo de Materia Orgánica	

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

Los ensayos de laboratorio se realizarán en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la Universidad Científica del Perú – UCP, de acuerdo a Normas ASTM; AASHTO y MTC, según corresponda. Los resultados de estos ensayos se presentarán en el Anexo correspondiente del Informe Final de la Tesis. Los análisis químicos de materia orgánica en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana “UNAP”

3.3.4 Descripción de Ensayos a realizar: Para el Suelo Arcilloso con adición de Cal al 0 %.

Tabla N° 20. *Determinación del contenido de humedad (W %): para suelo arcilloso con adición de cal al 0 %.*

1	Determinación del contenido de humedad (W %): Norma ASTM D 2216-92; Norma MTC E 108-199; NTP 339-127.	
Material	Muestra alterada extraída de suelo de la vía en estudio.	
Equipos	Los necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP	
Procedimiento	Según protocolos de ensayos del Laboratorio UCP	

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

Tabla N° 21. *Análisis Granulométrico mediante tamizado por lavado: para suelo arcilloso con adición de cal al 0 %.*

2	Análisis Granulométrico mediante tamizado por lavado: Norma ASTM D 421.	
Material	Muestra seca aproximadamente 200 gr. (material arcilloso).	
Equipos	Los necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP	

Procedimiento	Según protocolos de ensayos del Laboratorio UCP
----------------------	---

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

Tabla N° 22. *Límite Líquido 0 % de cal: para suelo arcilloso.*

3	Límite Líquido 0 % de cal: Norma ASTM D 4318; AASHTO T89; MTC E110-199; NTP 339-130.
Material	Muestra seca que pasa tamiz N° 40.
Equipos	Los necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP
Procedimiento	Según protocolos de ensayos del Laboratorio UCP

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

Tabla N° 23. *Límite Plástico 0 % de cal: para suelo arcilloso.*

4	Límite Plástico 0 % de cal: Norma ASTM D 4318; AASHTO T90; MTC E111-199.
Material	Muestra seca una porción.
Equipos	Los necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP
Procedimiento	Según protocolos de ensayos del Laboratorio UCP

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

Tabla N° 24. *Compactación Proctor Modificado 0 % de cal: para suelo arcilloso.*

5	Compactación Proctor Modificado 0 % de cal: Norma ASTM D 1557; AASHTO T180; MTC E115-199.
Material	<ul style="list-style-type: none"> • Muestra alterada seca. • Papel filtro
Equipos	Los necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP
Procedimiento	Según protocolos de ensayos del Laboratorio UCP

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

Tabla N° 25. *Ensayo CBR en laboratorio 0 % de cal: para suelo arcilloso.*

6	Ensayo CBR en laboratorio 0 % de cal: Norma ASTM D 1883; ASTM D 4429-93; AASHTO T190.
Material	<ul style="list-style-type: none"> • Muestra alterada seca. • Papel filtro
Equipos	Equipo CBR (3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión; 3 discos espaciadores; 3 placas de

	<p>expansion; sobrecarga cada una de 4.5 kg. de peso y 3 tripodes).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pisón Proctor modificado. • Balanza con aproximación de 1 gr • Estufa con control de temperatura. • Espátula. • Probeta de 1000 ml. • Recipiente de 6 kg. de capacidad. • Taras identificadas.
Procedimiento	<p>Consta de 3 fases: ensayo de compactación CBR, ensayo de hinchamiento y ensayo carga- penetración. Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.</p>

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

3.4 Materiales a utilizar

Tabla N° 26. *Materiales a utilizar para realizar el proyecto.*

Material	<p>Suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Expetroleros Cal hidratada Agua potable</p>
-----------------	---

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

3.4.1 Equipos a utilizar

Tabla N° 27. *Equipos a utilizar para realizar el proyecto.*

Equipos	Descripción	
Tamices	<p>Para análisis granulométrico mediante tamizado por lavado (ASTM 0421).</p>	

Balanzas electrónicas digitales.	Estufa con control de temperatura. Taras de todos los tamaños.	Moldes de Proctor modificado. Martillo de 10 lb. Moldes para ensayo CBR. Equipo para ensayo CBR.
---	--	---

Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2018).

3.4.2 Suelo arcilloso

En el proyecto de investigación se realizarán ensayos de laboratorio con suelos procedentes de la carretera de penetración Ex Petroleros (6.5 km), que se encuentra ubicada en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto, con progresiva 0+000 en el Km 41 de la carretera Iquitos- Nauta; está jerarquizada como ruta vecinal y se encuentra registrada en el Sistema Nacional de Carreteras con el Código de rutas LO – 524: Trayectoria: Emp. LO – 103 – (Exp petroleros) – Pta. Carretera; y, es de competencia Municipal. Está asentada en terreno arcilloso con un ancho promedio de superficie de rodadura de 8.00m; la que, como consecuencia de las constantes precipitaciones pluviales y tránsito vehicular y peatonal, así como el tiempo transcurrido de haberse efectuado trabajos de mantenimiento y mejoramiento, ahora no es transitable por vehículos. A la fecha, la carretera presenta deterioro debido al acelerado crecimiento de la vegetación (malezas y arbustos), cunetas cubiertas parcial o totalmente con tierra, algunos debido al derrumbe de los taludes y erosión superficial de la vía, alcantarillas obstruidas con material orgánico y relleno de suelo, requiriéndose su limpieza; alcantarillas y puentes en completo estado de deterioro los cuales también requieren un inmediato mantenimiento.

Esta carretera tiene las siguientes características técnicas:

Tabla N° 28. *Características técnicas de la carretera de penetración Ex Petroleros (6.5 km), ubicada en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto.*

Velocidad directriz	30 Km. /h.
Ancho promedio de plataforma	8.00 m.
Superficie de rodadura	Encalaminada.
Bermas laterales	Con maleza y arbustos
Pendiente promedio	3 %
Alcantarillas	Obstruidas
Longitud	6.50 km

Fuente: Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones de Loreto. (2018).

En esta carretera, los materiales que constituyen el material predominante de la subrasante a estabilizar, son arcillas de alta plasticidad, que se encuentran saturadas, debido a la falta de mantenimiento o inexistencia de cunetas, dotación de pendientes longitudinal y transversal e inexistencia de obras de arte, como alcantarillas y puentes. En este sector y su entorno, no existen fuentes de material grueso, a excepción de la arena cuarzosa blanca fina que existen en canteras explotables hasta el km 26 de la carretera Iquitos – Nauta.

Se obtuvieron muestras de dos calicatas, ubicadas en el km 3 de la carretera, separadas una de otra por 200 metros aproximadamente.

Los suelos de la calicata 1 muestra un color rosáceo, mientras que en la calicata 2 muestran color más anaranjado.

Para extraer se procedió a eliminar 15 cm de material superficial, para luego cavar aproximadamente 90 cm, y tomar las muestras representativas a nivel de subrasante.

Figura N° 6 y Figura N° 7, se muestra el área de extracción de las muestras de suelos arcillosos utilizados para los ensayos de la investigación, los cuales se encuentran dentro de la provincia de Maynas (Ver Figura N° 9), departamento de Loreto (Ver).

Figura N° 6. Km 41.5 de Carretera Iquitos-Nauta, Carretera ExPetroteros, zona de extracción de las muestras de arcillas. Fuente: Google Maps. (2019).

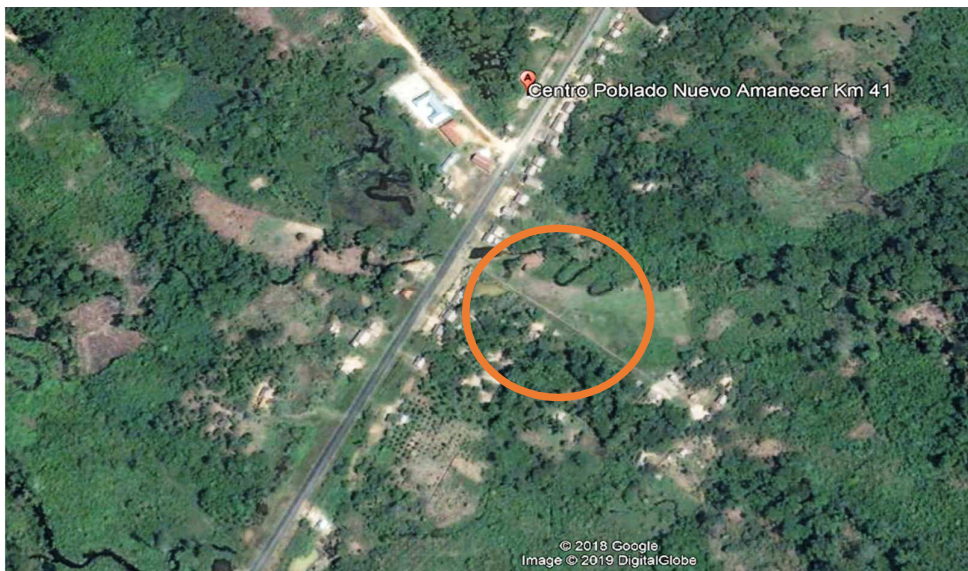


Figura N° 7. Zona de extracción de las muestras de arcillas. Fuente: Google Maps. (2019).



Figura N° 8. Zona de extracción de las muestras de arcillas. Fuente: Google Maps. (2019).

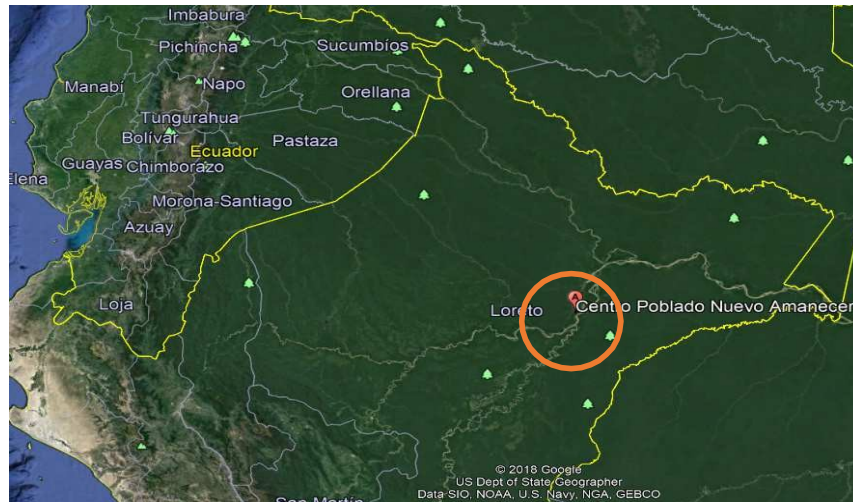


Figura N° 9. Maynas dentro del Mapa político de la Región Loreto. Fuente: Gobierno Regional de Loreto- GOREL.



Figura N° 10. Loreto dentro del Mapa político del Perú. Fuente: Gobierno Regional de Loreto- GOREL.



continuación, se presenta en las,

Foto N° 2 y **Foto N° 3**, el lugar donde se extrajo los suelos, donde se puede apreciar la geografía y topografía del área, la vegetación existente y el clima del lugar; en lugares con estas características es muy frecuente encontrar suelos cohesivos.

Foto N° 1. Zona de extracción de las muestras de suelo arcilloso, carretera ExPetroleros. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).



Foto N° 2. Exploración geotécnica en la zona de estudio. Carretera ExPetroeros. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).



Foto N° 3. Exploración geotécnica en la zona de estudio. Carretera ExPetroeros. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).



3.4.4 Cal Apagada

La Cal que se utilizó para la estabilización cumple con los requisitos establecidos en las Especificaciones Técnicas Generales para construcción de Carreteras del MTC (vigente), la Especificación AASHTO M216 o ASTM C-977.

Para fines de este estudio se utilizó cal apagada, producto que fue adquirido en la ciudad de Iquitos. Las características de este producto, en la presentación para su venta es:

Nombre comercial	:	Cal Hidratada
Nombre técnico	:	Hidróxido de Cal
Estado físico	:	Sólido
Apariencia	:	Polvo Blanco fino
Fórmula	:	Ca (OH) ₂
Pureza	:	38.5%
Presentación	:	Sacos de polipropileno de 40 kg.
Vencimiento	:	No tiene fecha de vencimiento.

El agua que se usó para la investigación fue agua potable de la red pública correspondiente al Laboratorio de suelos de la Universidad Científica del Perú, cumpliendo los límites permisibles indicados en la norma técnica. Sin embargo, en la construcción debe usarse agua limpia, que no contenga materia orgánica y estar libre de sales, aceites, ácidos y álcalis perjudiciales.

3.4.5 Mezcla de materiales

Con fines de estimar la dosificación de cal, se determinó utilizar porcentajes de 2, 4, 6 y 8% en relación con el peso del suelo seco.

3.4.5.1 Mezcla de suelo arcilloso y Cal

El suelo arcilloso recolectado fue almacenado en 24 sacos, los cuales a su vez fueron cerrados en bolsas plásticas grandes para evitar pérdida del contenido de humedad, una vez en laboratorio se procedió a tomar una muestra de cada calicata y se determinó su contenido de humedad natural;

Posteriormente se tuvo que secar toda la muestra y pulverizar, de acuerdo a las normas de ensayos de materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, hasta lograr que todo el material pueda pasar el tamiz N° 40.

Las mezclas de suelo y cal se midieron en peso respectivamente de acuerdo a las proporciones indicadas en la Tabla 1. Proporción de las combinaciones y símbolos de cada material.

Tabla N° 29. *Proporción de las combinaciones y símbolos de cada material.*

COMBINACIÓN	Simbología
--------------------	-------------------

	Porcentaje de suelo arcilloso	Porcentaje de Cal	
Suelo Arcilloso	100	0	S100
Combinación 1	98	2	S98-C2
Combinación 2	96	4	S96-C4
Combinación 3	94	6	S94-C6
Combinación 4	92	8	S92-C8

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019)

Con el fin de determinar la dosis de Cal más apropiada para estabilizar el suelo arcilloso, se realizaron ensayos de laboratorio en el suelo natural, y en cada una de las combinaciones. Los ensayos de laboratorio fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de suelos de la UCP. La determinación del PH se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAP.

Las muestras de suelo natural y sus combinaciones fueron sometidas a ensayos para conocer sus propiedades físico, química y mecánica. Teniendo en cuenta el reglamento del MTC, diseño para carreteras, se determinó el CBR tanto en el suelo natural como en las combinaciones.

3.4.6 Ensayos para el suelo arcilloso con adición de al 2 %, 4%, 6% y 8% de cal hidratada

Los procedimientos serán los mismos indicados a realizar en el acápite **Descripción de Ensayos a realizar: Para el Suelo Arcilloso con adición de Cal al 0 %**, con la diferencia que las muestras serán alteradas con la adición de cal hidratada en sus diversos tratamientos. Asimismo, se determinará el pH del suelo natural para determinar el contenido óptimo de cal a usarse (contrastación).

La mezcla de los diferentes porcentajes de cal se realizará manualmente y los porcentajes de cal estarán referidos en porcentaje del peso de la muestra seca.

Los cálculos de los ensayos se presentarán en la sección de anexos del Informe Final de Tesis, para los diferentes tratamientos.

3.5 Métodos de análisis de datos

Se utilizarán los métodos: deductivo e inductivo.

3.5.1 Estadística a utilizar

Para el procesamiento de datos se utilizará la Estadística Descriptiva y para el tratamiento de la información se aplicará el Análisis de Varianza.

La contrastación de la Hipótesis se efectuará aplicando la Teoría de los números índices.

3.5.1.1 Números Índices

El número índice es un indicador que se emplea para comparar un “hecho fenómeno o variable”, en relación con su cambio ya sea en el tiempo o en el espacio, respecto de su punto de referencia llamado “base del índice”. Por ejemplo, el cambio de costo de vida de un año dado con otros.

3.5.1.1.1 Tipos de Índices:

Hay diversos tipos de números de índices, Nos interesa los números índices relacionados con las siguientes actividades económicas y que son las siguientes:

- Índice de Precios.
- Índice de Cantidades.
- Índice de Valores.

Cuando estos números índices se aplican a un solo artículo se dice que son “simples” y si se aplican varios artículos se dice que son “compuestos”.

3.5.1.1.2 Cálculo de números índices simples, fórmulas de aplicación

- Índice de Precios.

$$I_n = \frac{P_n}{P_o} \times 100$$

- Índice de Cantidad.

$$I_q = \frac{q_n}{q_o} \times 100$$

- Índice de Valores.

$$I_v = \frac{P_n \times q_n}{P_o \times q_o} \times 100$$

Donde:

P_n = Precio de un artículo en el año dado.

P_o = Precio de un artículo en el año base.

q_n = Cantidad de un solo artículo (eroducido, consunido o vendido) en el año dado.

q_o = Cantidad de un solo artículo en el año base.

3.5.1.1.3 Formas de calcular los números índices o relativos simplificados

Un número índice también toma el nombre de “relativo simple” que se calcula aplicando diversos métodos, cuando se refieren a información de más de dos años (series de tiempo).

Estos procedimientos son:

- Relativos de base fija.
- Relativos de eslabones.
- Relativos de cadena.

3.5.1.1.4 Cálculo de los números índices simples o relativos simples de base fija.

Estos relativos se aplican cuando en una serie de tiempo se muestran los cambios de los precios por cada año incluido en la serie. Para su cálculo previamente a la base seleccionada se hace corresponder el 100%, luego se procede como en los casos anteriores.

La base a seleccionarse puede ser el precio de un año o el promedio aritmético de los precios de varios años.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

A continuación, se detalla y analiza los resultados obtenidos de los ensayos en las muestras de suelo arcilloso, en estado natural, así como en sus combinaciones con cal; provenientes de la Carretera ExPetroleros.

4.1 Ensayos Físicos

4.1.1 Análisis Granulométrico

Se verifica que a medida que aumenta la dosis de cal, el suelo tiende a volverse granular, esto tiene consistencia con diversas investigaciones, entre las que se tomaron en cuenta para desarrollar este proyecto.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 30. Granulometría, muestras de suelos arcilloso y combinaciones, calicata 1.

N° MALLA	Abertura mm.	% PASA				
		S100	S98-C2	S96-C4	S94-C6	S92-C8
2 1/2"	63.500	100	100	100	100	100
2"	50.800	100	100	100	100	100
1 1/2"	38.100	100	100	100	100	100
1"	25.400	100	100	100	100	100
3/4"	19.050	100	100	100	100	100
1/2"	12.700	100	100	100	100	100
3/8"	9.525	100	100	100	100	100
1/4"	6.350	100	100	100	100	100
N°4	4.760	100	100	100	100	100
N°10	2.000	99.81	99.60	99.61	99.14	99.82
N°20	0.840	99.53	99.22	98.89	98.33	98.63
N°40	0.420	99.33	98.74	98.22	97.61	97.54
N°50	0.297	99.22	98.41	97.87	97.20	97.07
N°100	0.149	98.65	97.10	96.38	95.72	95.27
N°200	0.074	97.22	95.48	94.40	93.86	93.07

Fuente: Elaboración propia de Elaboración propia de los Autores. (2019).

Figura N° 11. Curva de distribución granulométrica, muestra de suelo calicata 1. *Fuente:* Elaboración propia de los Autores. (2019).

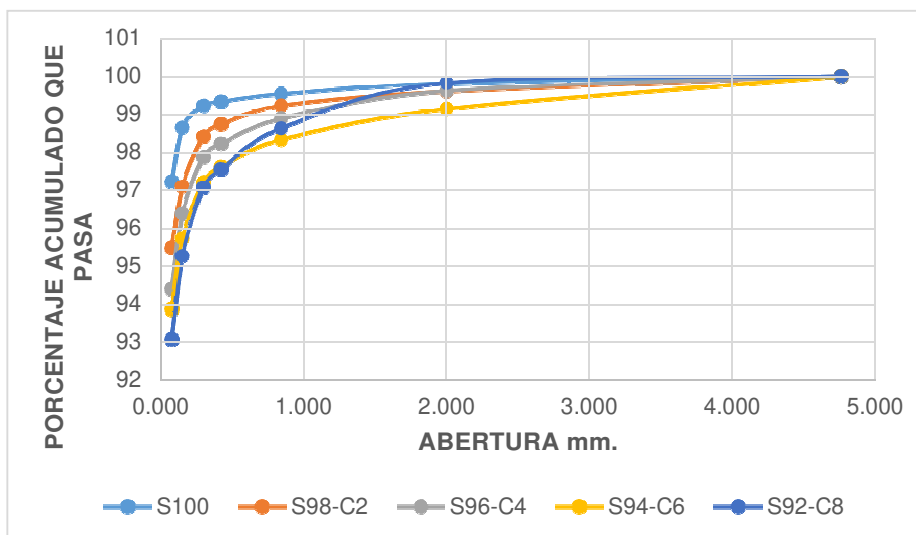
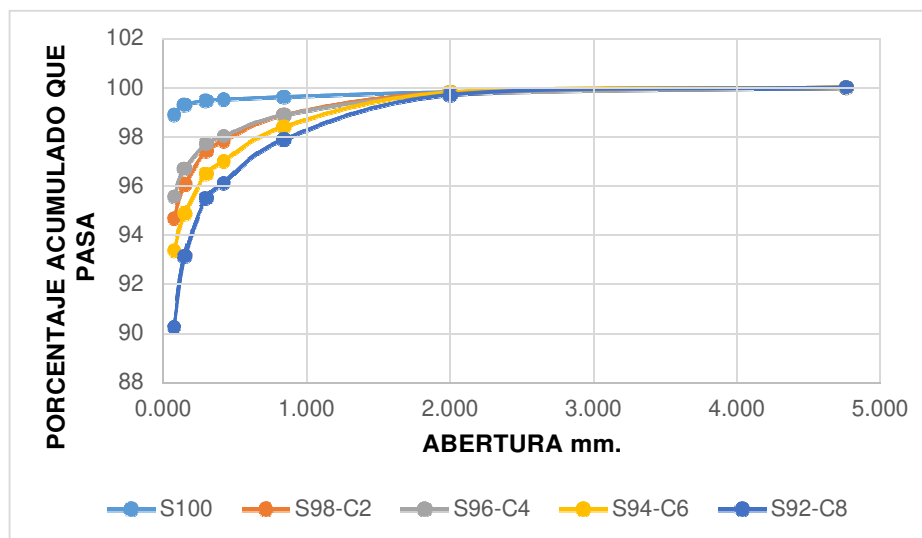


Tabla N° 31. Granulometría, muestras de suelos arcilloso y combinaciones, calicata 2.

N°	Abertura	% PASA					
		MALLA	mm.	S100	S98-C2	S96-C4	S94-C6
2 1/2"	63.500		100	100	100	100	100
2"	50.800		100	100	100	100	100
1 1/2"	38.100		100	100	100	100	100
1"	25.400		100	100	100	100	100
3/4"	19.050		100	100	100	100	100
1/2"	12.700		100	100	100	100	100
3/8"	9.525		100	100	100	100	100
1/4"	6.350		100	100	100	100	100
N°4	4.760		100	100	100	100	100
N°10	2.000		99.81	99.79	99.71	99.80	99.69
N°20	0.840		99.61	98.88	98.87	98.40	97.88
N°40	0.420		99.51	97.82	98.01	97.00	96.11
N°50	0.297		99.46	97.41	97.70	96.49	95.49
N°100	0.149		99.29	96.06	96.69	94.86	93.14
N°200	0.074		98.88	94.68	95.55	93.36	90.25

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019).

Figura N° 12. Curva de distribución granulométrica, muestra de suelo calicata 2.
Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).



4.1.2 Límites de Atterberg

A continuación, se puede observar una tabla comparativa de los límites de Atterberg, del suelo natural y combinaciones, de las muestras de suelos en las calicatas 1 y 2; se observa que poseen un alto índice de plasticidad en su estado natural, y a medida que aumenta la dosis de Cal tenemos: un aumento en el límite plástico y una reducción en el índice de plasticidad.

Tabla N° 32. Límites de Atterberg, calicata 1.

MUESTRAS	LIMITES DEATTERBERG		
	Límite Líquido %	Límite Plástico %	Índice de Plasticidad
S100	65.98	26.86	39.12
S98-C2	71.73	25.75	45.97
S96-C4	79.69	31.43	48.25
S94-C6	67.86	31.89	35.97
S92-C8	68.89	45.96	22.93

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019)

Tabla N° 33. Límites de Atterberg, calicata 2

MUESTRAS	LIMITES DE ATTERBERG		
	Límite Líquido %	Límite Plástico %	Índice de Plasticidad

	Límite Líquido %	Límite Plástico %	Índice de Plasticidad
S100	53	26.89	26.11
S98-C2	50.86	28.92	21.94
S96-C4	54.64	28.15	26.49
S94-C6	55.29	32.11	23.17
S92-C8	55.26	38.09	17.17

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019)

4.1.3 Clasificación de suelos

Se utilizaron dos sistemas de clasificación: SUCS y AASHTO:

SUCS:

- CH: Arcilla inorgánica de alta plasticidad, arcillas francas.
- MH: Limo inorgánico, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.

AASHTO:

- A-7-6: Suelo arcilloso deficiente para un terreno a nivel de subrasante.
- A-7-5: Suelo arcilloso deficiente para un terreno a nivel de subrasante.

Tabla N° 34. Clasificación de suelos C-1

MUESTRAS	Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO	
	Grupo	Descripción	Grupo	Descripción
S100	CH	Arcilla Inorgánica	A-7-6	Suelo Arcilloso
S98-C2	CH	Arcilla Inorgánica	A-7-6	Suelo Arcilloso
S96-C4	CH	Arcilla Inorgánica	A-7-5	Suelo Arcilloso
S94-C6	CH	Arcilla Inorgánica	A-7-5	Suelo Arcilloso
S92-C8	MH	Limo inorgánico	A-7-5	Suelo Arcilloso

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019)

Tabla N° 35. Clasificación de suelos C-2

MUESTRAS	Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO	
	Grupo	Descripción	Grupo	Descripción
S100	CH	Arcilla Inorgánica	A-7-6	Suelo Arcilloso
S98-C2	MH	Limo inorgánico	A-7-6	Suelo Arcilloso
S96-C4	CH	Arcilla Inorgánica	A-7-6	Suelo Arcilloso
S94-C6	MH	Limo inorgánico	A-7-5	Suelo Arcilloso
S92-C8	MH	Limo inorgánico	A-7-5	Suelo Arcilloso

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019)

4.2 Ensayos Químicos

4.2.1 Determinación del pH

La determinación del pH del suelo natural y sus combinaciones con cal, se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Amazonía Peruana, mediante el método electrométrico, utilizando un pHmetro marca Starter versión 3100.

De acuerdo a los resultados se observa que el suelo en condiciones naturales tiene un pH más ácido, y al ser combinado con diferentes porcentajes de Cal, este pH aumenta volviendo más básico, hasta llegar a 12.4.

Los ensayos de PH nos sirven para estimar la proporción suelo-cal, requerida para estabilizar el suelo (ASTM D6276). La determinación de este valor se suele realizar conforme al conocido como test de “Eades y Grim”, que establece el umbral de un pH básico de 12,4 a 25°C para su determinación. Este valor es el establecido por la National Lime Association para el diseño de este tipo de mezclas (Little et al. 2001).

Tabla N° 36. *Determinación del PH, combinaciones de suelo arcilloso y cal, calicata 1.*

MUESTRAS DE SUELO	CAL %	PH
S100	0	4.58
S98-C2	2	10.32
S96-C4	4	11.82
S94-C6	6	12.17
S92-C2	8	12.42

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019)

Figura N° 13. Variación del pH con respecto al porcentaje de cal, calicata 1. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).

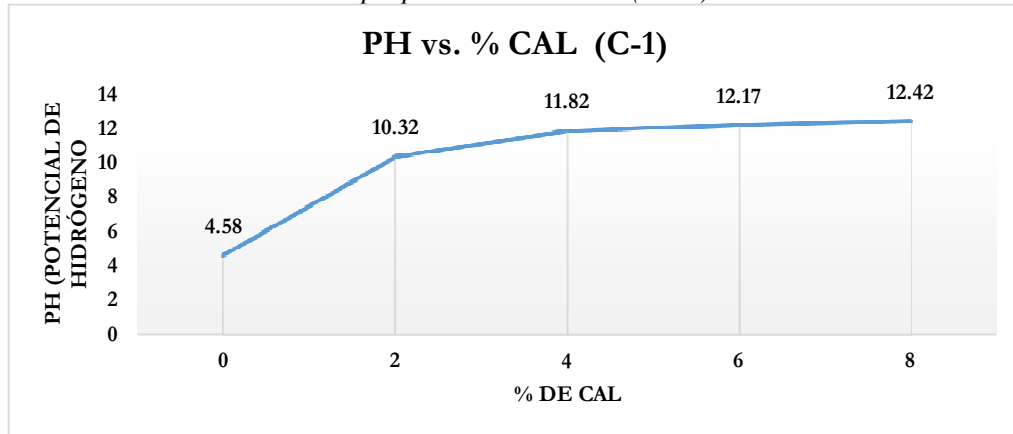
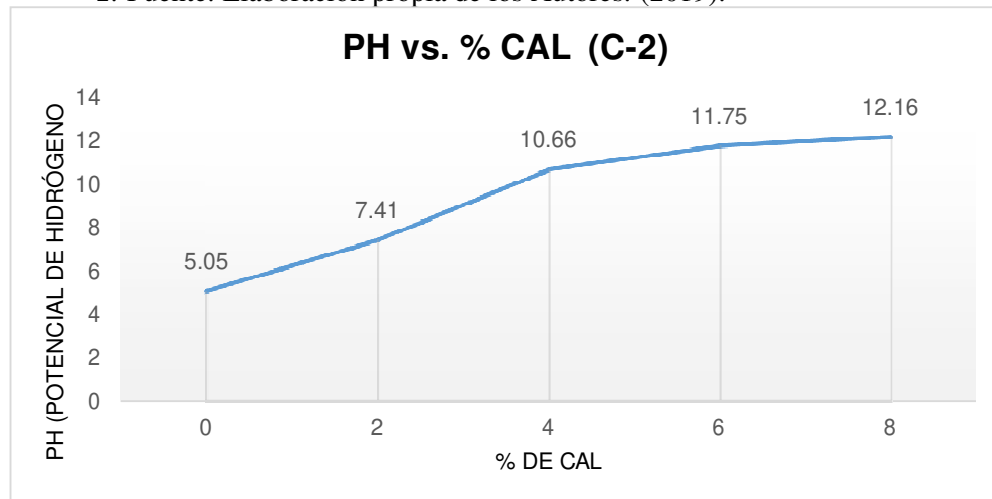


Tabla N° 37. Determinación del PH, combinaciones de suelo arcilloso y cal, calicata 2.

MUESTRAS DE SUELO	CAL %	PH
S100	0	5.05
S98-C2	2	7.41
S96-C4	4	10.66
S94-C6	6	11.75
S92-C2	8	12.16

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019)

Figura N° 14. Variación del pH con respecto al porcentaje de cal, calicata 2. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).



4.2.2 Ensayo Análisis de la Materia Orgánica

Estos ensayos se realizaron en la Facultad de ingeniería química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, se hizo mediante el método por ignición, el cuál determina la materia orgánica en su totalidad y nos brinda resultados más confiables.

El análisis de materia orgánica en las muestras de suelo natural, dio los siguientes resultados:

Tabla N° 38. *Resultados de Materia Orgánica de los suelos en su estado natural.*

MUESTRAS	Materia Orgánica %
Calicata 1	4.03
Calicata 2	3.8

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019)

4.3 Ensayos Mecánicos

4.3.1 Ensayo de Proctor Modificado

En las siguientes tablas, se presentan los valores obtenidos en los ensayos de Proctor modificado; Los valores de máxima densidad seca, y el óptimo contenido de humedad del suelo natural, así como sus combinaciones con cal. La máxima densidad seca disminuye a medida que aumenta la dosificación de Cal y el óptimo contenido de humedad tiene una tendencia a aumentar.

Tabla N° 39. *Valores del Proctor Modificado en Calicata N° 01 (C-1)*

MUESTRAS	PROCTOR MODIFICADO	
	Optimo contenido de humedad % (OCH)	de Máxima Densidad Seca gr/cm2
S100	14.86	1.745
S98-C2	14.23	1.775
S96-C4	14.68	1.719
S94-C6	14.99	1.682
S92-C8	15.17	1.685

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019)

Figura N° 15. Variación del MDS con respecto al contenido de Cal, para las combinaciones de suelo arcilloso y Cal, en Calicata N° 01. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).

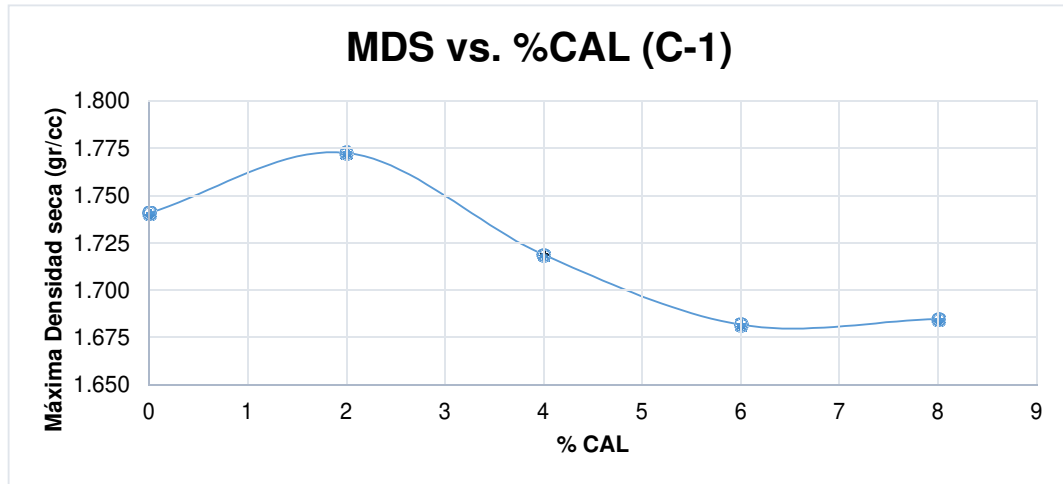


Figura N° 16. Variación de los Óptimos Contenidos de Humedad con respecto al contenido de Cal, para las combinaciones de suelos, en la Calicata N° 01. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).

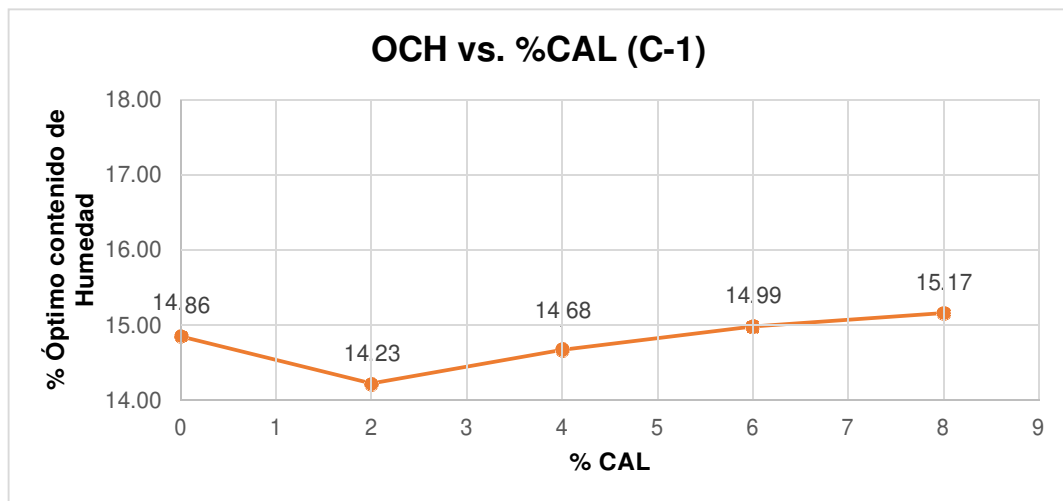


Tabla N° 40. Valores del Proctor Modificado en Calicata N° 02 (C-2)

PROCTOR MODIFICADO		
MUESTRAS	Optimo contenido de humedad % (OCH)	Máxima Densidad Seca gr/cm ³
S100	15.04	1.791
S98-C2	17.22	1.710
S96-C4	17.61	1.712
S94-C6	17.72	1.691
S92-C8	17.44	1.640

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019)

Figura N° 17. Variación de los Óptimos Contenidos de Humedad con respecto al contenido de Cal, para las combinaciones de suelos, en la Calicata N° 02. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).

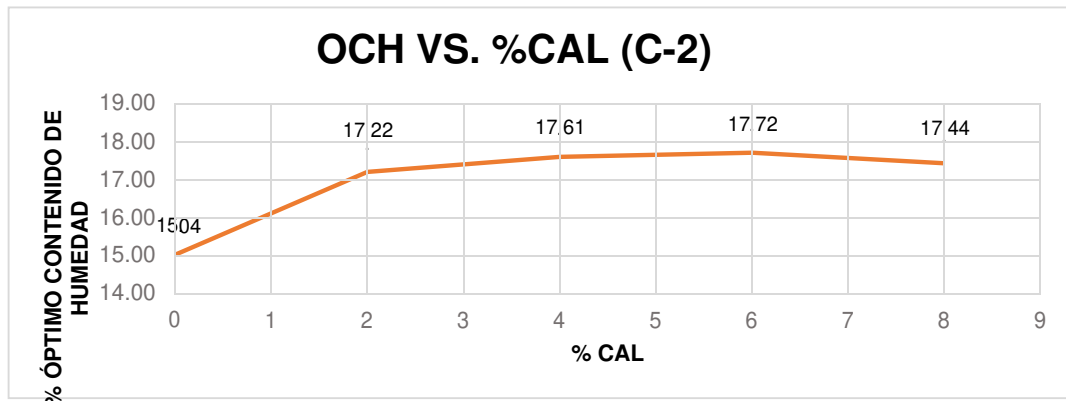
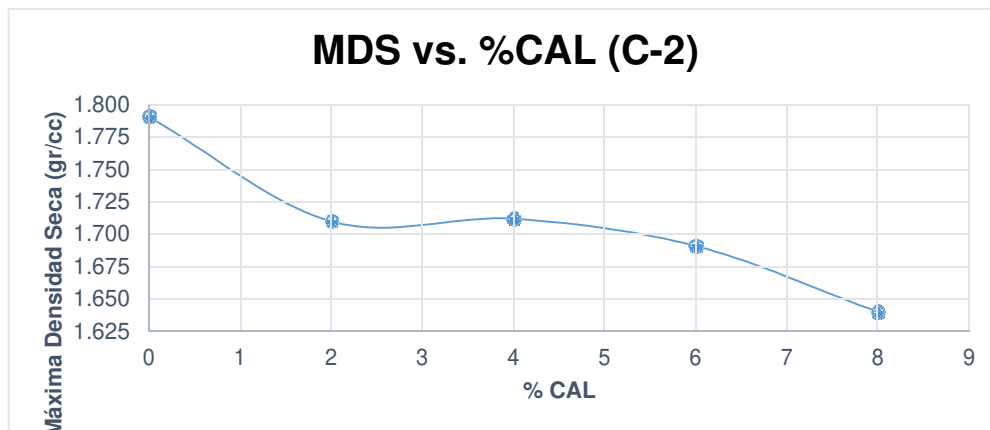


Figura N° 18. Variación del MDS con respecto al contenido de Cal, para las combinaciones de suelo arcilloso y Cal, en Calicata N° 02. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).



Además, podemos ver los gráficos de las curvas de compactación, para los suelos extraídos de ambas calicatas, su comportamiento es similar y varía con respecto a su dosificación de cal.

Figura N° 19. Curvas de Compactación para combinaciones de suelo arcilloso con Cal, Calicata N°01. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).

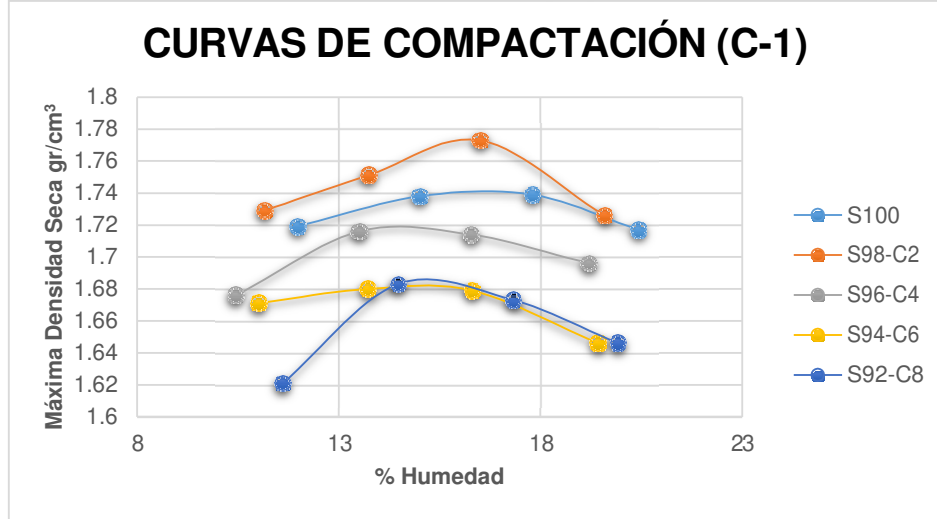
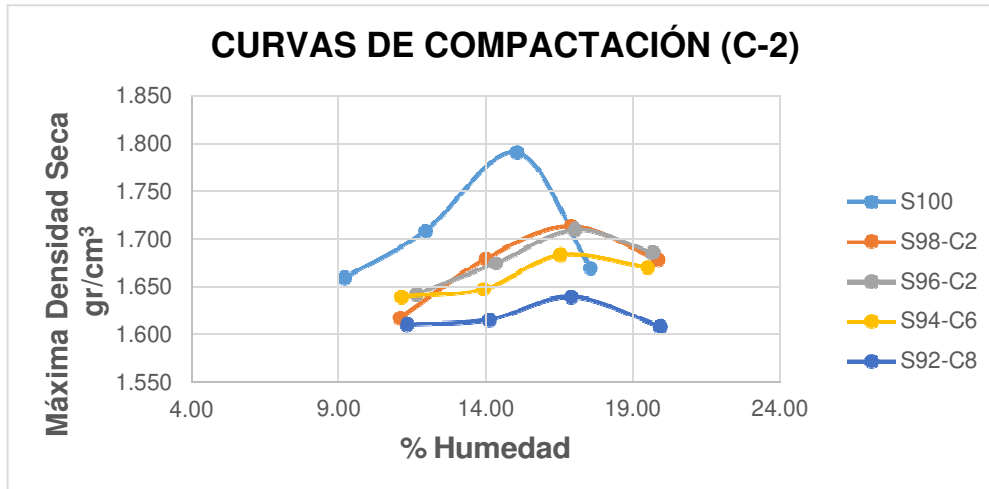


Figura N° 20. Curvas de Compactación para combinaciones de suelo arcilloso con Cal, Calicata N°02. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).



4.3.2 Ensayo De CBR

El ensayo de CBR, nos permite medir la capacidad de carga de los suelos con los que vamos a construir una carretera, también nos permite estimar el hinchamiento del suelo,

De los resultados obtenidos observamos que mientras mayor es la adición de cal en el suelo estabilizado, aumenta su CBR.

En la siguiente tabla se resume los valores encontrados en laboratorio, de CBR al 95%.

Tabla N° 41. Resultados de ensayos de CBR, de las combinaciones de suelo arcilloso y cal, calicata 1.

MUESTRAS C-1	CBR (%)
S100	1.70
S98-C2	2.63
S96-C4	5.62
S94-C6	7.08
S92-C8	9.35

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019).

Figura N° 21. Variación del CBR con respecto al contenido de Cal, Calicata N° 01. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).

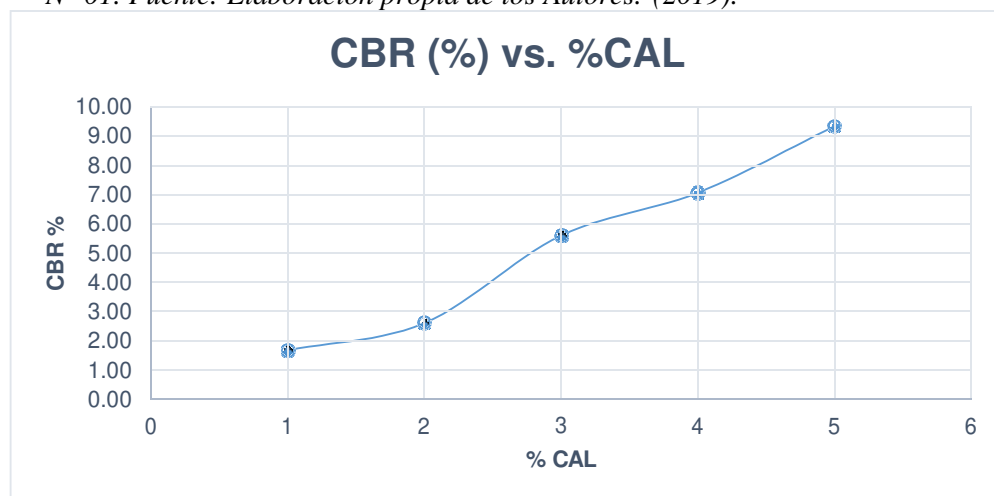


Tabla N° 42. Resultados de ensayos de CBR, de las combinaciones de suelo arcilloso y cal, calicata 2.

MUESTRAS C-2	CBR (%)
S100	3.65
S98-C2	3.36
S96-C4	6.97
S94-C6	8.32
S92-C8	11.20

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores. (2019)

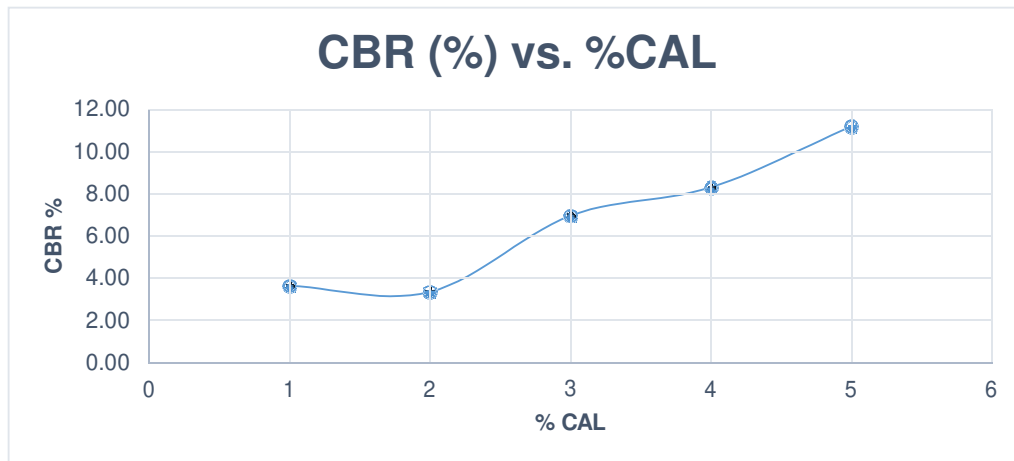


Figura N° 22. Variación del CBR con respecto al contenido de Cal, Calicata N° 02. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).

A continuación, los resultados del hinchamiento promedio en los suelos de ambas calicatas.

En el suelo de la calicata 1, se ha producido una disminución de la expansión del material desde 17.23% valor que corresponde al suelo natural, hasta 10.04 % del suelo con 8% de cal añadido.

En la calicata 2, disminuye de un 8.15% a un 5.9%, durante los 4 días de inmersión.

Tabla N° 43. Valores de Hinchamiento promedio, de las combinaciones de suelo arcilloso y cal, Calicata N° 01.

MUESTRAS C-1	HINCHAMIENTO PROMEDIO %
S100	17.23
S98-C2	16.86
S96-C4	13.57
S94-C6	12.56
S92-C8	10.04

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores.
(2019)

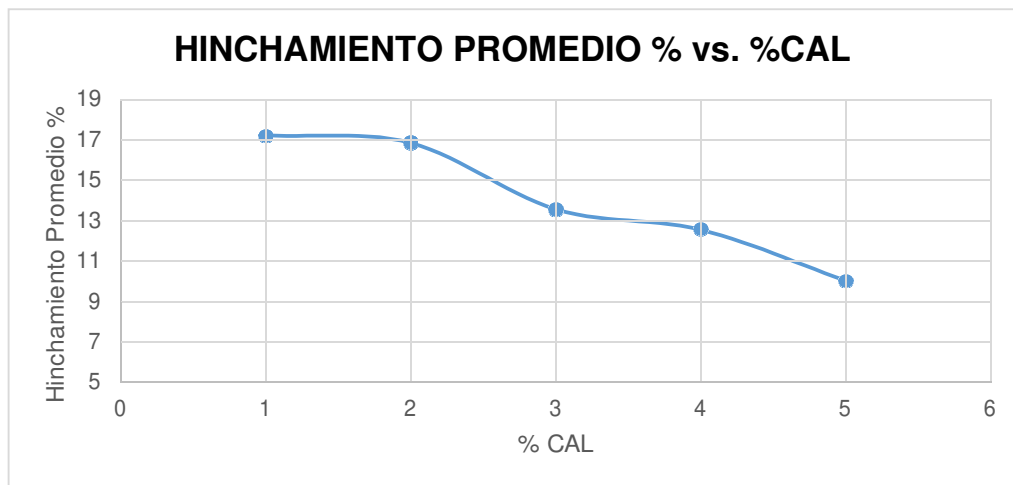


Figura N° 23. Variación del Hinchamiento promedio con respecto al contenido de Cal, Calicata N° 01. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).

Tabla N° 44. Valores de Hinchamiento promedio, de las combinaciones de suelo arcilloso y cal, Calicata N° 02.

MUESTRAS C-2	HINCHAMIENTO PROMEDIO %
S100	8.15
S98-C2	7.69
S96-C4	5.9
S94-C6	5.92
S92-C8	5.9

Fuente: Elaboración Propia de Elaboración propia de los Autores.
(2019)

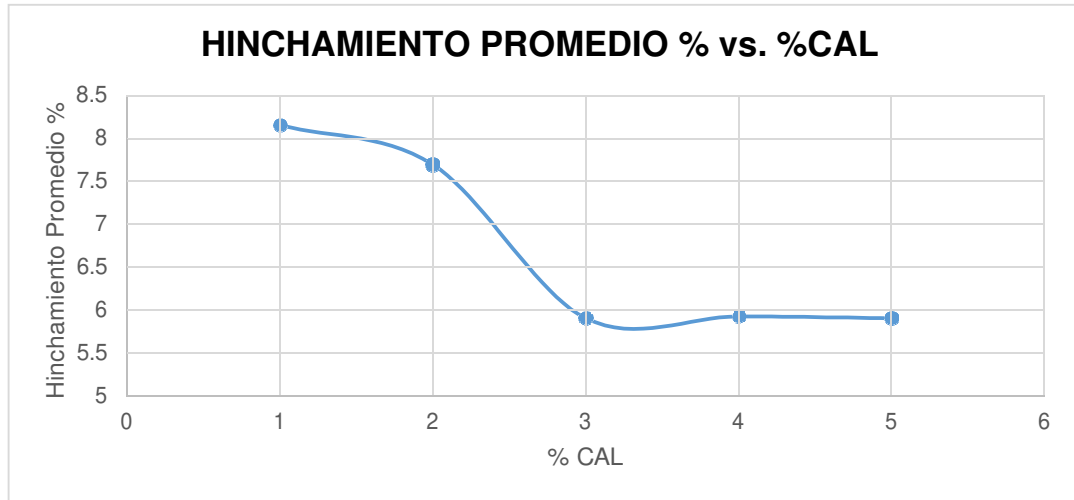


Figura N° 24. Variación del Hinchamiento promedio con respecto al contenido de Cal, calicata 2. Fuente: Elaboración propia de los Autores. (2019).

4.4 Prueba de Hipótesis

Hipótesis: Con la adición de cal (2%, 4%, 6% Y 8%), en el suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Ex Petroleros se mejorarán sus propiedades físicas y mecánicas (límites de Atterberg, la densidad seca máxima y el valor relativo de soporte) entre un 25% a 40%.

RESULTADOS EN LA CALICATA C-1

C-1 con adición 2% cal

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
SUELO NATURAL	65.98	26.86	39.12	1.745	14.86	1.7	4.58	17.23
ADIC 2 % de cal	71.73	25.75	45.97	1.775	14.23	2.63	10.32	16.86
INCREM	5.75	-1.11	6.85	0.03	-0.63	0.93	5.74	-0.37
% INCREM	9	-4	18	2	-4	55	125	-2
CUMPLE 25-40%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO

C-1 con adición 4% cal

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
SUELO NATURAL	65.98	26.86	39.12	1.745	14.86	1.7	4.58	17.23
ADIC 4 % de cal	79.69	31.43	48.25	1.719	14.68	5.62	11.82	13.57
INCREM	13.71	4.57	9.13	-0.026	-0.18	3.92	7.24	-3.66
% INCREM	21	17	23	-1	-1	231	158	-21
CUMPLE 25-40%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO

C-1 con adición 6% cal

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
SUELO NATURAL	65.98	26.86	39.12	1.745	14.86	1.7	4.58	17.23
ADIC 6 % de cal	67.86	31.89	35.97	1.682	14.99	7.08	12.17	12.56
INCREM	1.88	5.03	-3.15	-0.063	0.13	5.38	7.59	-4.67
% INCREM	3	19	-8	-4	1	316	166	-27
MEJORA 25-40%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

C-1 con adición 8% cal

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
SUELO NATURAL	65.98	26.86	39.12	1.745	14.86	1.7	4.58	17.23
ADIC 8 % de cal	68.89	45.96	22.93	1.685	15.17	9.35	12.42	10.04
INCREM	2.91	19.1	-16.19	-0.06	0.31	7.65	7.84	-7.19
% INCREM	4	71	-41	-3	2	450	171	-42
MEJORA 25-40%	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI

Resumen de incrementos porcentuales, Calicata 1.

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
ADIC 2 % de cal	9	-4	18	2	-4	55	125	-2
ADIC 4 % de cal	21	17	23	-1	-1	231	158	-21
ADIC 6 % de cal	3	19	-8	-4	1	316	166	-27
ADIC 8 % de cal	4	71	-41	-3	2	450	171	-42

A continuación, se muestran los resultados de cumplimiento de Hipótesis para las diferentes combinaciones de suelo – cal, en sus Propiedades Físico, Mecánicas y Químicas para la Calicata C-1.

Resumen de cumplimiento de la Hipótesis, Calicata 1.

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
ADIC 2 % de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO
ADIC 4 % de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO
ADIC 6 % de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI
ADIC 8 % de cal	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI

RESULTADOS EN LA CALICATA C-2

C-2 con adición 2% cal

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
SUELO NATURAL	53	26.89	26.11	1.791	15.04	3.65	5.05	8.15
ADIC 2 % de cal	50.86	28.92	21.94	1.710	17.22	3.36	7.41	7.69
INCREM	-2.14	2.03	-4.17	-0.081	2.18	-0.29	2.36	-0.46
% INCREM	-4	8	-16	-5	14	-8	47	-6
CUMPLE 25-40%	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO

C-2 con adición 4% cal

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
SUELO NATURAL	53	26.89	26.11	1.791	15.04	3.65	5.05	8.15
ADIC 4 % de cal	54.64	28.15	26.49	1.712	17.61	6.97	10.66	5.9
INCREM	1.64	1.26	0.38	-0.079	2.57	3.32	5.61	-2.25
% INCREM	3	5	1	-4	17	91	111	-28
CUMPLE 25-40%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

C-2 con adición 6% cal

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
SUELO NATURAL	53	26.89	26.11	1.791	15.04	3.65	5.05	8.15
ADIC 6 % de cal	55.29	32.11	23.17	1.691	17.72	8.32	11.75	5.92
INCREM	2.29	5.22	-2.94	-0.1	2.68	4.67	6.7	-2.23
% INCREM	4	19	-11	-6	18	128	133	-27
MEJORA 25-40%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

C-2 con adición 8% cal

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
SUELO NATURAL	53	26.89	26.11	1.791	15.04	3.65	5.05	8.15
ADIC 8 % de cal	55.26	38.09	17.17	1.640	17.44	11.2	12.16	5.9
INCREM	2.26	11.2	-8.94	-0.151	2.4	7.55	7.11	-2.25
% INCREM	4	42	-34	-8	16	207	141	-28
MEJORA 25-40%	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI

Resumen de incrementos porcentuales, Calicata 2.

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
ADIC 2 % de cal	-4	8	-16	-5	14	-8	47	-6
ADIC 4 % de cal	3	5	1	-4	17	91	111	-28
ADIC 6 % de cal	4	19	-11	-6	18	128	133	-27
ADIC 8 % de cal	4	42	-34	-8	16	207	141	-28

A continuación, se muestran los resultados de cumplimiento de Hipótesis para las diferentes combinaciones de suelo – cal, en sus Propiedades Físico, Mecánicas y Químicas para la Calicata C-2.

Resumen de cumplimiento de la Hipótesis, Calicata 2.

ENSAYO	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Máx. Dens. Seca	Opt. Cont. Hum.	CBR 95 %	pH	Hinch. Promedio
ADIC 2 % de cal	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
ADIC 4 % de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI
ADIC 6 % de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI
ADIC 8 % de cal	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 DISCUSIÓN

En concordancia con Jara Anyaypoma (2014), esta investigación, donde la cal se usó para estabilizar suelo de la subrasante de una carretera de bajo tránsito sin pavimentar, se presentan resultados particulares inherentes al tipo de suelo arcilloso predominante en la selva baja peruana, donde aún se tiene poco conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas como para llegar a resultados satisfactorios aceptados por la comunidad geotécnica.

En el caso de la presente tesis las muestras tomadas en estado natural arrojaron un CBR menor a lo establecido en la Norma del MTC, por lo cual se procedió a iniciar un estudio para estabilización, tomando como alternativa la estabilización química con cal. De ello se obtuvo mejoras en varias de sus propiedades. De acuerdo a lo citado en el MC-05-14: Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, “se considerarán como materiales aptos para las capas de sub rasante suelos con CBR mayor o igual a 6%. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la Estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde el Ingeniero Responsable analizará diversas alternativas de estabilización o de solución.

En el MC-05-14, Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, se indica en el cuadro Guía Complementaria Referencial, que para estabilizar los suelos con cal, estos deben tener menos del 3% de materia orgánica en peso, sin embargo en nuestras muestras se obtuvo alrededor de 4% de Materia orgánica(determinado mediante método por Ignición), y se logró mejorar las propiedades de CBR, Índice de Plasticidad, Máxima Densidad Seca, así como el % de Hinchamiento, lo cual nos demuestra

que aun pasando ese límite referencial, la estabilización con cal sigue siendo factible; sin embargo, estudios de otras investigaciones concluyen que en suelos con alta presencia de materia orgánica es muy poco efectiva la estabilización con cal, y en consecuencia, no se presenta mejora de sus propiedades mecánicas, entre éstas la de su capacidad portante.

Así, Rico Del Castillo (1996), señala Existen varios métodos de estabilización que se han revelado útiles para mejorar la resistencia de muchos suelos. Empero será preciso decir que todos ellos parecen perder mucho de su poder en el momento en que se tienen importantes contenidos de materia orgánica, circunstancia desafortunada, dado que, como es bien sabido muchos de los más graves problemas de falta de resistencia ocurren precisamente en suelos orgánicos.

(ref. 1) da una idea muy precisa de la influencia del contenido de materia orgánica en los efectos de estabilización en suelos análogos en otros conceptos.

Típos de suelo	Prof.	Contenido de materia orgánica.	Resistencia a la compresión simple a los 7 días (especímenes compactados al 95% AASHO estándar).		
	m	%	kg/cm ²		
-	-	-	sin estabilizar	Con 10% de cemento	con 10% de cal
Tierra vegetal	0.45	2.65	3.80	15.50	1.90
Tierra vegetal	1.60	0.22	3.80	36.00	47.00
Arcilla orgánica	0.10	13.70	1.05	1.83	2.25

Arcilla orgánica	0.60	2.50	6.30	20.00	1.83
arcilla orgánica	0.10	11.70	3.15	7.00	5.60
arcilla orgánica	0.45	2.00	5.00	20.00	16.20
arcilla orgánica	0.10	10.30	3.90	4.20	4.90
arcilla orgánica	0.80	2.40	5.00	41.00	26.80
Tierra superficial	0.10	3.10	3.90	30.00	11.20
Tierra superficial	0.45	1.10	5.00	42.00	22.50

Fuente: Rico Del Castillo. (1996).

Además, Bauza Castelló (2015), señala en su proyecto de investigación doctoral, donde hace una recopilación de conocimientos de investigaciones, señala que se ha visto que la materia orgánica es un factor que podría retardar la reacción puzolánica.

Asimismo, se debe tener un control durante la compactación ya que, si bien incrementa la resistencia de los suelos, el empleo de mayores intensidades no siempre conduce a valores más altos de la resistencia, muy especialmente si se considera la necesidad de mantener dicho parámetro en valores razonables durante períodos de tiempo largos. Así, si un material arcilloso se compacta en exceso se puede llegar a obtener una reorientación de la estructura existente, dando lugar a otra laminar muy estratificada en caras paralelas a la de la compactación- Estas estructuras suelen ser mucho más sensibles a los efectos de atracción de agua y por tanto a los posibles hinchamientos y efectos perjudiciales posteriores.

Según el MC 01-13, de acuerdo Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” 263 (EG – 2013) Revisada y Corregida a junio 2013 a la norma ASTM D 6276; la aplicación de la cal puede variar entre 2 y 8% en peso de los materiales. Las dosis de cal con las que ensayamos estuvieron dentro de este rango, obteniéndose buenos resultados a partir del 4% de cal, empero la dosificación idónea a utilizar en la estabilización de nuestras muestras analizadas de acuerdo al método de Eades y Grimm corresponde a 8%, ya que es donde el pH llega al umbral de la Cal (12.4).

En los estudios realizados en la presente tesis; el análisis granulométrico y el índice de plasticidad del suelo correspondiente a la capa de subrasante de esta carretera , determinaron que las muestras son suelos finos con alta plasticidad, tal como se observan en la Tabla N° 30, Tabla N° 31, Tabla N° 32 y Tabla N° 33, encontrándose un contenido de partículas de tamaño inferior a 75mm del 97.22% en la muestra C-1, y 98.88% en la muestra C-2, y un índice de plasticidad de 39.12 y 26.11 en las muestras C-1 y C-2, respectivamente; estos resultados tienen concordancia con lo indicado en la tesis de Bauza Castelló, D. (2015); donde hace mención el criterio de Little et al. (2001) y de la National Lime Association que establecen un contenido mínimo de partículas de tamaño inferior a 75 mm del 25% y un índice de plasticidad mínimo de 10.

En la presente investigación el suelo natural extraído del nivel de la subrasante correspondió inicialmente a una arcilla A-7-6, a la que adicionándole cal en una dosificación en peso de 8% con relación al peso seco del suelo se alcanzó el mejor valor de CBR, cumpliendo con lo estipulado en el reglamento MC-05-14 Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, donde se indica los valores permisibles de CBR para Subrasante; estos resultados son respaldados por las conclusiones de la tesis de Vásquez Concha M. D.(2010); quién señaló que la cal Hidratada (Hidróxido de Calcio) se comporta de mejor manera con suelos

arcillosos. Además, afirmó que los suelos de la selva peruana, específicamente en Loreto, son finos (arenas muy finas, arcillas y limos), altamente plásticos y saturados; También cabe recalcar que Fernández Loayza (1991), Lambe, T. W. y Whitman, R. (1995), Pérez (2012), afirman que “No existe el Estabilizador que se aplique universalmente a cualquier tipo de suelos y mejore todas sus propiedades”. Y en el análisis de los resultados de la presente investigación se observó mejoras importantes en las propiedades del: CBR (Ver Tabla N° 41 y Tabla N° 42), Índice de Plasticidad (Ver Tabla N° 32 y Tabla N° 33) y el pH del suelo (Ver Tabla N° 36 y Tabla N° 37). También algunas propiedades experimentaron ligera mejoría como: el Límite líquido (Ver Tabla N° 32 y Tabla N° 33) y el óptimo contenido de humedad (Ver Tabla N° 39 y Tabla N° 40).

5.2 CONCLUSIONES

Con el estudio realizado, se confirma la hipótesis que, con la adición de cal (2%, 4%, 6%, y 8%) se mejoran las propiedades físicas, mecánicas y químicas (límites de Atterberg, la densidad seca máxima y el valor relativo de soporte, pH) entre un 25% a 40%. (ver Anexo 5).

Los suelos de la carretera Ex Petroleros (6.5 km), ubicada en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto, son arcillas expansivas, de alta plasticidad, con una capacidad de soporte (CBR) Muy pobre, con un contenido de materia orgánica por encima del 3%.

El pH para suelos en condiciones naturales, tiene un pH más ácido, y al ser combinado con diferentes porcentajes de Cal, este pH aumenta, volviéndose más básico hasta llegar a 12.4(umbral de la cal) (Tabla N° 36 y 37).

Los ensayos de PH nos sirven para estimar la proporción suelo-cal, requerida para estabilizar el suelo (ASTM D6276). En nuestro caso particular, el óptimo contenido de Hidróxido de cal se determinó en 8%, siguiendo el método de Eades y Grim, y cumpliendo con los valores mínimos permisibles (MC-05-14).

Los ensayos de Análisis de la Materia Orgánica, dieron como resultado: 4.03% para la calicata 1 y 3.8% para la Calicata 2. Lo que significa que aparentemente, este suelo no podría ser estabilizado con cal. En el MC-05-14, Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, se indica en el cuadro Guía Complementaria Referencial que, para estabilizar los suelos con cal, deben tener menos del 3% de materia orgánica en peso, sin embargo, nuestras muestras tuvieron alrededor de 4% de Materia orgánica (determinado mediante método por Ignición) y se obtuvieron

mejoras significativas en el CBR, Índice de Plasticidad, Máxima Densidad Seca, así como como en el control de la expansión, lo cual nos demuestra que aun pasando ese límite referencial, la estabilización con cal sigue siendo una solución eficaz.

En la evaluación de las propiedades físicas para calicata 1 (Ver Tabla N° 22) y calicata 2 (Ver Tabla N° 23); se observa que poseen un alto índice de plasticidad en su estado natural, y a medida que se aumenta la dosis de Cal; aumenta el límite plástico y se reduce el índice de plasticidad (Ver Tabla N° 21).

En la clasificación de los suelos, mediante SUCS, se obtuvo en las muestras iniciales suelos CH (Arcilla inorgánica de alta plasticidad, arcillas francas) para posteriormente convertirse en MH (Limo inorgánico, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos) a medida que se incrementaba la adición de Cal.

En AASHTO, las muestras analizadas dieron como resultado inicialmente un A-7-6 (Suelo arcilloso deficiente para un terreno a nivel de subrasante) para posteriormente cambiar a A-7-5 (Suelo arcilloso deficiente para un terreno a nivel de subrasante) con las adiciones de Cal.

Las propiedades mecánicas con el Ensayo de Proctor Modificado, se observó que la máxima densidad seca disminuye a medida que aumenta la dosificación de Cal y el óptimo contenido de humedad tiene una tendencia a aumentar (Ver Tabla N° 27 y 28). Del ensayo de CBR, se concluyó que en el suelo de la calicata 1, se ha producido una disminución de la expansión del material desde 17.23% valor que corresponde al suelo natural, hasta 10.04 % del suelo con 8% de cal añadido. En la calicata 2, disminuye de un 8.15% a un 5.9%, esto durante los 4 días de inmersión en agua.

El efecto de la cal como estabilizante, demuestra que el índice de plasticidad disminuye conforme se aumenta el porcentaje de cal, mejorando su trabajabilidad. Para la calicata 1, se tiene un índice de plasticidad en suelo natural de 39.12% y para las dosificaciones de 2%, 4%, 6% y 8% se tiene 45.97%, 48.25%, 35.97% y 22.93 respectivamente. Valores que indican que la cal es el material estabilizante por excelencia para este tipo de suelo, según guía (Manual de carreteras, Sección suelos geología, geotecnia y pavimentos-RD N° 10-2014-MTC/14).

En los resultados de la investigación se tiene que para la calicata 1, con adición de 6% de cal ya cumple con el mínimo de CBR establecido por el MTC- (Manual de carreteras, Sección suelos geología, geotecnia y pavimentos-RD N° 10-2014-MTC/14) y para la calicata 2, a partir de la combinación de 4% de cal, cumple con el mínimo de CBR exigido por el MTC.

De acuerdo al método de Eades y Grim (ASTM D – 6276), el nivel óptimo de Cal para estabilizar estos suelos corresponde a 8% de cal.

5.3 RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar la investigación, utilizando adiciones de cal mayores a 8%, y así poder observar las reacciones en la capacidad de soporte del suelo.
- Se recomienda realizar el Análisis de materia orgánica en los suelos combinados con Cal.
- Se debe tomar en cuenta la calidad del agua al momento de realizar los ensayos, ya que el agua utilizado en laboratorio es muy distinta al que se utiliza en obra.
- Se recomienda ampliar la investigación, haciendo una comparación, entre combinaciones de suelo-cemento y suelo-cal, y de ello una evaluación de costo-beneficio para la zona.
- Se recomienda la posibilidad de cubrir el estudio de la evolución durante el secado de las muestras a nivel microestructural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Bauzá Castelló, Juan Diego.** "Estabilización de suelos con cal". Madrid, España. : s.n., 2003. pág. 37.
2. **Nuñez, Rojas D.;** "*Elección y Dosificación del Conglomerante en estabilización de Suelos*". Instituto Tecnológico de Sonora. Hermosillo, Sonora : Instituto Tecnológico de Sonora, 2011. pág. 61, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil.
3. **Calcinor Química Natural.** Mejora y Estabilización de Suelos con Cal. Guipozcoa, España : s.n., 2010.
4. **Huezo Maldonado, H. M. y Orellana Martinez, A. C.** "*Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en El Salvador*". Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador. El Salvador : s.n., 2009. pág. 246, Para optar el título de Ingeniería Civil.
5. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** "*Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de bajo volumen de tránsito*". Lima : MTC, 2008. Aprobado por la Resolución Ministerial N° 303-2008-MTC/02.
6. **Gutierrez Montes, C.** "*Estabilización Química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de calcio*". Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Ricardo Palma. Lima : s.n., 2010. pág. 161, Tesis para optar por el título de Ingeniería Civil.
7. **National Lime Association.** "Manual de Estabilización del Suelo Tratado con Cal". 2004. Vol. Boletín 326, pág. 42.
8. **Vásquez Concha, M.D.** "*Pavimentos No Tradicionales para carreteras de Selva Baja con bajo volumen de tránsito, aplicación: Carretera Contamana – Aguas Calientes, Loreto*". Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería . Lima : s.n., 2010. pág. 271, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil.

9. **Beltrán Parra , Mario Alberto y Copado Beltrán , José Aloix.** *"Estabilización de un suelo arcilloso con cal hidratada, para ser utilizada como capa subrasante de pavimentos en la Colonia San Juan Capistrano de ciudad Obregón"*. Instituto Tecnológico de Sonora. Sonora, México. : s.n.,2011. pág. 93, Tesis.
10. **Ruano Lopez, D.;** *"Estabilización de Suelos Cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva"*. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala : Universidad San Carlos de Guatemala, 2012. pág. 158, Trabajo de investigación para optar Título de Ingeniero Civil.
11. **Martinez Santos, J.** *"Evaluación del mejoramiento de suelos arcillosos empleando materiales cementantes"*. Región Xalapa, Universidad Veracruzana. Veracruz : Universidad Veracruzana, 2012. pág. 122, Tesis para optar por el grado de Ingeniero Civil.
12. **Perez, Collantes R.;** *"Estabilización de Suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o Sub base de pavimentos"*. Universidad Nacional de ingeniería. Lima : Universidad Nacional de ingeniería, 2012. pág. 89, Tesis para optar el grado de Maestro de Ciencias con mención en Ingeniería Geotécnica.
13. **Jara Anyaypoma, R.** *"Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso"*. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca : s.n., 2014. pág. 110, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil.
14. **Palli, Apaza E.;** *"Guía Básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román"*. Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Universidad Nacional del Altiplano. Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2015. pág. 184, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil.
15. **Juarez Badillo, E. y Rico Rodriguez, A.** *"Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I"*. México : Limusa, 2005. pág. 629.
16. **Crespo Villalaz , Carlos .** *Mecánica de Suelos y Cimentaciones. .* Sexta Edición : Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores., 2007.
17. **Muelas, Rodriguez A.;** *"Manual de mecánica del suelo y Cimentaciones: Mecánica de Suelos y Cimentaciones"*. 2001. pág. 119.

18. **Carrillo Gil, Arnaldo.** Características de los Suelos Tropicales del Perú. Caracas, Venezuela : s.n., 1978. Vol. IV, 4, págs. .207-216.
19. **Carrillo Gill, A, y otros.** "Alternativas de estabilización de suelos tropicales húmedos para pavimentos". Lima, Perú. : s.n., 1993.
20. **Das, Braja M.** *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* México D.F. Thomson Learning : s.n., 2001. pág. 587.
21. **Lambe, T. W. y Whitman, R.** "*Mecánica de Suelos*". s.l. : Limusa S.A., 1995. pág. 582.
22. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** "*Manual de Ensayos de Materiales E 118*". Lima : MTC, 2016. pág. 143.
23. **Fernández Loaiza, C.** *Mejoramiento y estabilización de suelos.* México : Editorial Limusa., 1991.
24. **Bauzá Castelló , Juan Diego .** "*El tratamiento de los suelos arcillosos con cal. Comportamiento mecánico y evolución a largo plazo ante cambios de humedad*". Departamento de Mecánica de Medios Continuos, Teoría de Estructuras e Ingeniería del Terreno., Universidad de Sevilla. España : s.n., 2015. pág. 337, Tesis Doctoral.
25. **Marquez, Santiago;.** "*Estabilización de Suelos*". Comodoro Rivadavia : Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, 2005.
26. **Montejo Fonseca, A.** "*Ingeniería de Pavimentos*". 3. Bogota : Universidad Católica de Colombia, 2006.
27. **Gárnica A. Paul et al.** "*Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio para su uso en las vías terrestres*". Ciudad de México. México : s.n., 2002.
28. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** "Caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado". *MTC E 1109. Estabilización química de suelos.* Lima : MTC, 2004.
29. "*Stabilization of clay with inorganic by – products*". **Kukko, H.** 2000, Journal of materials in Civil Engineering 2000.
30. **IECA, Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones;.** "*Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*". Madrid : s.n., 2003. pág. 205.

31. **Association, National Lime.** "*Manual de estabilización de Suelos tratado con cal. Estabilización y Modificación con Cal.*". Ciudad de México : s.n., 2004. Boletín 326, p 42..
32. **Rico Del Castillo;** "*Ingeniería de los suelos en las vías terrestres*". Ciudad de México : s.n., 1996. pág. 494. Vol. 2.
33. **Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del MTC.** "Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial". [aut. libro] MTC. Lima : s.n., 2008.
34. **Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.** *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG - 2018.* Lima : MTC, 2018.
35. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** "*Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos*". Lima : s.n., 2013. pág. 143.
36. **Rozas, P.; Sanchez, R.** "Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual". Santiago de Chile : s.n., 2004. CEPAL, serie Recursos naturales. Publicación de Naciones Unidas.
37. **Carrillo Gil, A.** *Diseño geotécnico en los suelos de la selva.* Lima, Perú. : s.n., 2016. págs. 1-16.
38. **Díaz J y Mejía , J.** *Estabilización de Suelos mediante el uso de un aditivo químico a base de compuestos inorgánicos*". Escuela de Ingeniería Civil., Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia : Facultad de Ingenierías Físicomecánicas., 2004. pág. 362, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil.
39. **Sierra Bravo, Restituto.** "*Tesis Doctorales y Trabajos de Investigación Científica*". Magallanes : Editorial Paraninfo S.A., 1995. ISBN: 84-238-2052-7.
40. "*Estabilización de suelos con cemento Portland y cal hidratada en pavimentos de la región amazónica del Perú*". **CONINFRA - Congreso de Infraestructura de Transporte.** Sao Paulo, Brasil. : ANDIT (Asociación Nacional de Infraestructura de Transporte), 2009. (Tercer Congreso de Infraestructura de Transportes). pág. 27.

41. *"Mecánica de materiales para pavimentos"*. **Gárnica A. Paul et al.** Publicación técnica N° 197., SCT. Sanfandila, Querétano. México : s.n., 2002, Instituto Mexicano del Transporte.
42. **Martínez Navarro, Georgina Guadalupe.** *"Correlación de las fallas en pavimentos con respecto a la estabilización de suelos en las capas de base y sub base"*. Veracruz : Universidad Veracruzana - Xalapa, 2011. pág. 64, PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL.
43. **"Caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado"**. [aut. libro] **MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.** *Estabilización química de suelos.* Lima : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2004.
44. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *"Manual Técnico de Mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada"*. Lima : MTC, 2006.
45. **c, Ministerio de Transportes y.** *"Normas conceptuales, de cantidad y de ejecución"*.
46. **Comunicaciones, Ministerio de Transportes y.** *"Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos"*. Lima : MTC, 2013. pág. 346.
47. —. *"Manual de Ensayos de Materiales E 118"*. Lima : MTC, 2016. pág. 143.
48. **Motta, L.M.G.** *"Método de Dimensionamiento de pavimentos Fléxiveis; criterio de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas"*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 1991. Tese(Doutorado em Engenharia civil).
49. **Rico, A. y Castillo, H.** *"La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas"*. Ciudad de México : Limusa, 2005. pág. 645. Vol. 2.
50. **Sampedro Rodriguez, A.** *"Tratamiento de Suelos con cal"*. Madrid : Ancada, 1997.
51. **Taipe Gutierrez, W. y Pillaca Yancce, B.** *"Propuesta técnica y económica del uso de aditivo sika 21 y T- Pro-500 para el mejoramiento de las propiedades físicas – mecánicas de la superficie de rodadura en las*

carreteras no pavimentadas". Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica : s.n., 2014. pág. 156.

52. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. "Normas conceptuales, de cantidad y de ejecución". *Manual para la conservación de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima : MTC, 2008, Vol. I.

53. Carrillo Gill, A; Carrillo E. ; Cárdenas J.; Flores J. "Alternativas de estabilización de suelos tropicales húmedos para pavimentos". Lima, Perú. : s.n., 1993.

ANEXOS

ANEXO N° 1. MATRIZ DE COSISTENCIA

ANEXO N° 2. REGISTRO DE ENSAYOS EN LABORATORIO

ANEXO N° 3. REGISTROS DE ENSAYOS QUÍMICOS

ANEXO N° 4. PANEL FOTOGRÀFICO

ANEXO N° 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANEXO N° 6. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

ANEXO N° 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.

<u>Problema General</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Hipótesis</u>	<u>Variables</u>	<u>Indicadores (x,y)</u>	<u>Índices</u>
<p>¿Cuál es el efecto de la cal como estabilizante, en las propiedades químicas, físicas y mecánicas, del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, Loreto?</p> <p style="text-align: center;"><u>Problemas específicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el diagnóstico de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los suelos arcillosos en estado natural de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, Loreto? • ¿Cuáles son las propiedades 	<p>Evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la modificación de una subrasante de suelo arcilloso, como efecto de la adición en diferentes proporciones de cal como material estabilizante, de la carretera Ex Petroleros, Loreto</p> <p style="text-align: center;"><u>Objetivos específicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas más importantes de los suelos en estado natural, de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, 	<p>Con la adición de cal (2%, 4%, 6% y 8%), en el suelo arcilloso de la subrasante de la vía de penetración de ExPetroleros se mejoran sus propiedades físicas, mecánicas y químicas entre un 25% a 40%.</p> <p style="text-align: center;"><u>Hipótesis Específicas</u></p> <p>Con la adición de cal (2%, 4%, 6% y 8%), en el suelo arcilloso de la subrasante de la vía de</p>	<p><u>Variable Independiente:</u></p> <p>Suelos arcilloso extraídos de la Subrasante de la carretera Expetroleros.</p> <p><u>Variable Dependiente:</u></p> <p>Comportamiento de la propiedades Físicas, mecánicas y químicas.</p>	<p>X0: Suelo Natural X1: Suelo 2% de Cal X2: Suelo 4% de Cal X3: Suelo 6% de Cal X4: Suelo 8% de Cal</p> <p>-Contenido de humedad. -Granulometría. - Límites de Atterberg. -Próctor.</p>	<p>Valores numéricos con su unidad de medida para todos los indicadores.</p>

físicas y mecánicas de los suelos arcillosos en estado natural, que se necesitan mejorar, en la subrasante de la carretera Ex Petroleros, Loreto?

- ¿Cómo influye la cal aplicada en diferentes proporciones, en la estabilización de los suelos arcillosos para la mejoría de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos de la subrasante en vías no pavimentadas de bajo tránsito?
- ¿Cuál es el diseño de la estabilización adicionando cal al suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, distrito de San Juan Bautista?

Loreto.

- Definir las propiedades físicas, mecánicas y químicas de las muestras recolectadas y estabilizadas con cal, de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, Loreto.
- Evaluar el efecto de la cal como estabilizante, en las propiedades físicas, mecánicas y químicas, del suelo de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, distrito de San Juan Bautista.
- Determinar el óptimo contenido de cal para estabilizar los suelos de la subrasante de la carretera Ex Petroleros, Loreto.

penetración de ExPetroleros se mejorará sus propiedades físicas, entre un 25% a 40%

Con la adición de cal (2%, 4%, 6% y 8%), en el suelo arcilloso de la subrasante de la vía de penetración de ExPetroleros se mejorará sus propiedades mecánicas entre un 25% a 40%.

Con la adición de cal (2%, 4%, 6% y 8%), en el suelo arcilloso de la subrasante de la vía de penetración de ExPetroleros se mejorará sus propiedades químicas entre un 25% a 40%..

-California Bearing Ratio (CBR)

- Potencial de Hidrógeno.

ANEXO N° 2. REGISTRO DE ENSAYOS EN LABORATORIO

A. SUELO ARCILLOSO

CALICATA N° 1

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D - 422

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

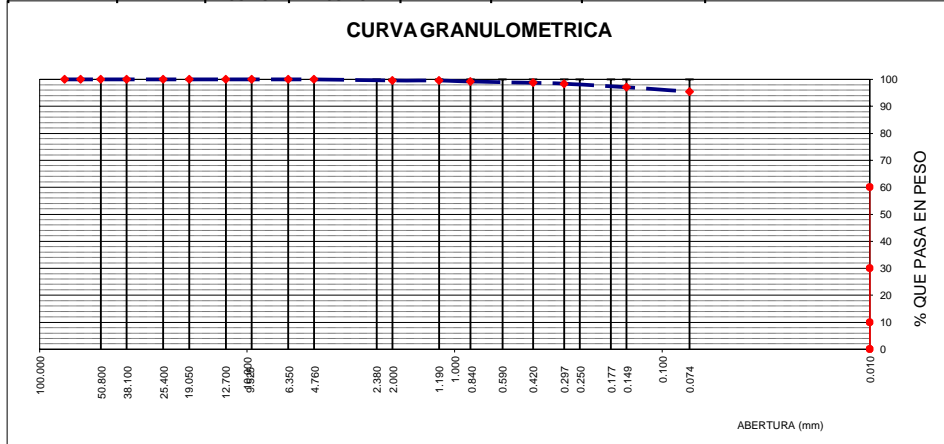
TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S98-C2 C-1

Datos de campo:

Muestra : S98-C2 C-1 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros - km. 3
 Fecha de ensayo : 11/03/2019
 Peso de muestra seca : 100.00
 Peso de muestra lavada : 4.52

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 71.73
2"	50.600						L. Plástico : 25.75
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 45.97
1"	25.400						Clas. SUCS : CH
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-7-6 (20)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.40	0.40	0.40	99.60		
Nº20	0.840	0.38	0.38	0.78	99.22		
Nº40	0.420	0.48	0.48	1.26	98.74		
Nº50	0.297	0.33	0.33	1.59	98.41		
Nº100	0.149	1.31	1.31	2.90	97.10		
Nº200	0.074	1.62	1.62	4.52	95.48		
Pasa Nº200		95.48	95.48				



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color rosada, trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-6 (20).
 El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 95.48 %



PROYECTO "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA S98-C2 C-1

LIMITES DE CONSISTENCIA

Datos de Campo

Muestra S98-C2 C-1 (Arcilla)
 Ubicación Carretera Ex Petroleros - km. 3
 Fecha de ensayo 13/03/2019

Resultados	
Límite Líquido	71.73
Límite Plástico	25.75
Ind. Plástico	45.97
Clas. SUCS	CH
Clas. AASHTO	A-7-6 (20)

Límite Líquido

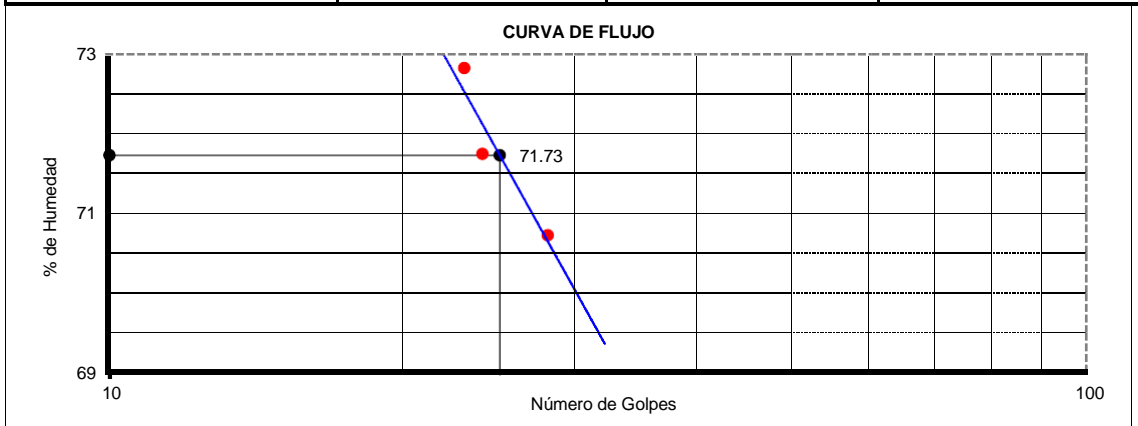
ASTM D 4318 - T 89

ENSAYO Nº	1	2	3
Nº de Golpes	23	24	28
R + Suelo Hum.	59.50	43.29	56.31
R + Suelo Seco	58.00	40.98	53.29
Peso de la Tara	55.94	37.76	49.02
Peso de agua	1.50	2.31	3.02
Peso de S. Seco	2.06	3.22	4.27
% de Humedad	72.82	71.74	70.73

Límite Plástico

ASTM D 4318 - T 90

ENSAYO Nº	1	2	3
R + Suelo Hum.	51.25	48.07	53.42
R + Suelo Seco	51.10	47.97	53.32
Peso de la Tara	50.50	47.59	52.95
Peso de agua	0.15	0.10	0.10
Peso de S. Seco	0.60	0.38	0.37
% de Humedad	25.00	26.32	25.95



- ESPECIFICACIONES** : Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para limite liquido y limite plástico ASTM D 4318 - T 90.
- OBSERVACIONES** : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color rosada, trasladada al laboratorio.
- RESULTADOS** : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-6 (20).
 En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 71.73, LP = 25.75 e IP = 45.97

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO : “Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin García

MUESTRA : S98-C2 C-1

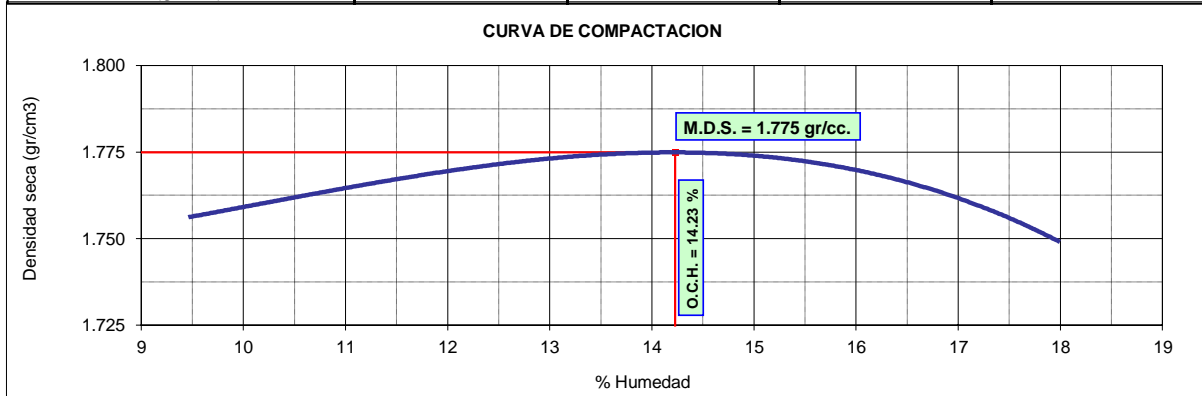
Datos de campo:		Resultados	
Muestra	: S98-C2 C-1 (Arcilla)	M. D. S.	1.775 gr/cm ³
Ubicación	: Carretera Ex Petroleros - km. 3	O. C. H.	14.23 %
Fecha de ensayo	: 18/03/2019	Clas. SUCS	CH
		Clas. AASHTO	A-7-6 (20)

1.- Compactación

Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5966	6030	6080	6099
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159
Volumen del molde (cm)	940	940	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1807	1871	1921	1940
Densidad húmeda (gr/cm)	1.922	1.990	2.044	2.064

2.- Humedad (%)

Nº Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	125.1	108.72	141.39	143.57	153.73	150.04	145.38	122.86
Recipiente + suelo seco (gr.)	118.35	103.04	131.01	133.23	139.04	136.6	131.02	110.1
Peso de recipiente (gr.)	48.4	41.79	47.81	49.12	42.9	48.23	51.55	38.92
Peso de agua (gr.)	6.75	5.68	10.38	10.34	14.69	13.44	14.36	12.76
Peso de suelo seco (gr.)	69.95	61.25	83.20	84.11	96.14	88.37	79.47	71.18
Humedad (%)	9.65	9.27	12.48	12.29	15.28	15.21	18.07	17.93
Promedio Humedad (%)	9.46		12.38		15.24		18.00	
Densidad Seca (gr/cm)	1.756		1.771		1.773		1.749	



ESPECIFICACIONES : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.775 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 14.23 %.



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin García

MUESTRA : S98-C2 C-1

Datos de campo:

Muestra	: S98-C2 C-1 (Arcilla)	M. D. S.	:	1.775	gr/cm ³
Ubicación	: Carretera Ex Petroleros - km. 3	O. C. H.	:	14.23	%
Fecha de ensayo	: 25/03/2019	Clas. SUCS	:	CH	
		Clas. AASHTO	:	A-7-6 (20)	

Molde	Nº	11	21	26			
Capas	Nº	5	5	5			
Golpes por capa	Nº	12	25	56			
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12090	12827	12468	13184	13367	13820
Peso del molde	Gr.	8493	8493	8638	8638	9060	9060
Volúmen del suelo	c.c.	2128	2128	2120	2120	2120	2120
Peso del suelo húmedo	Gr.	3597	4334	3830	4546	4307	4760
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.691	2.037	1.806	2.144	2.031	2.245

HUMEDAD

Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	118.00	112.91	117.86	121.46	92.06	107.22
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	107.05	90.89	108.60	101.50	85.28	89.25
Peso de la Recipiente	Gr.	38.72	47.80	51.55	37.72	44.80	39.33
Peso del agua	Gr.	10.95	22.02	9.26	19.96	6.78	17.97
Peso del suelo seco	Gr.	68.33	43.09	57.05	63.78	40.48	49.92
Humedad	%	16.03	51.10	16.23	31.30	16.75	36.00
Densidad seca	Gr/c.c.	1.457	1.348	1.554	1.633	1.740	1.651

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión	Dial	Expansión	Dial	Expansión
		días	(pulg.)	%	(pulg.)	%	(pulg.)	%
27 de Enero de 2019	12:00	0	0.005	0.00	0.005	0.00	0.003	0.00
28 de Enero de 2019	05:20	1	0.529	11.48	0.751	16.35	0.591	12.89
29 de Enero de 2019	06:00	2	0.638	2.39	0.777	0.57	0.815	4.91
30 de Enero de 2019	04:20	3	0.64	0.04	0.785	0.18	0.869	1.18
31 de Enero de 2019	03:30	4	0.651	0.24	0.789	0.09	0.881	0.26

PENETRACION

Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²
0.025	0.63	8.0	0.41	11.3	0.58	10.1	0.51
0.050	1.27	13.8	0.70	19.3	0.98	20.8	1.06
0.075	1.90	18.3	0.93	25.9	1.32	30.7	1.56
0.100	2.54	22.0	1.12	32.2	1.64	37.7	1.92
0.150	3.81	28.1	1.43	38.3	1.95	45.5	2.32
0.200	5.08	33.3	1.70	43.7	2.23	51.9	2.64
0.250	6.35	37.5	1.91	48.0	2.45	54.7	2.79
0.300	7.62	41.5	2.11	51.2	2.61	57.3	2.92
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K =		19.64 cm²	

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin García

MUESTRA : S98-C2 C-1

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)

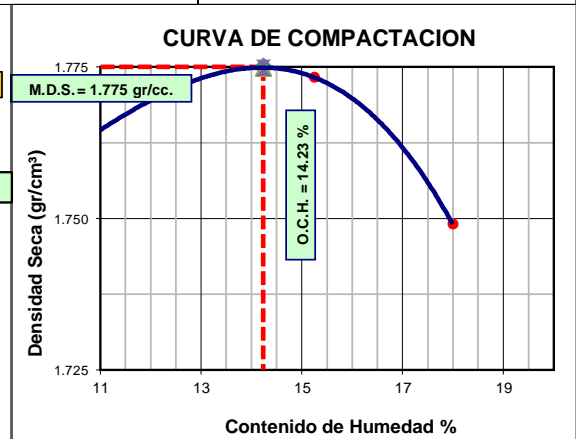
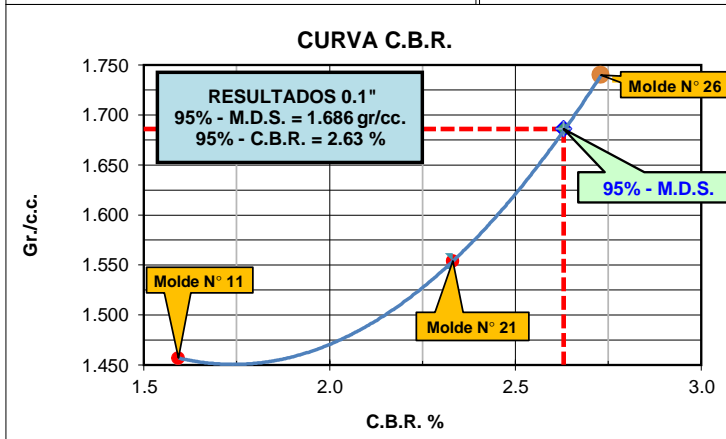
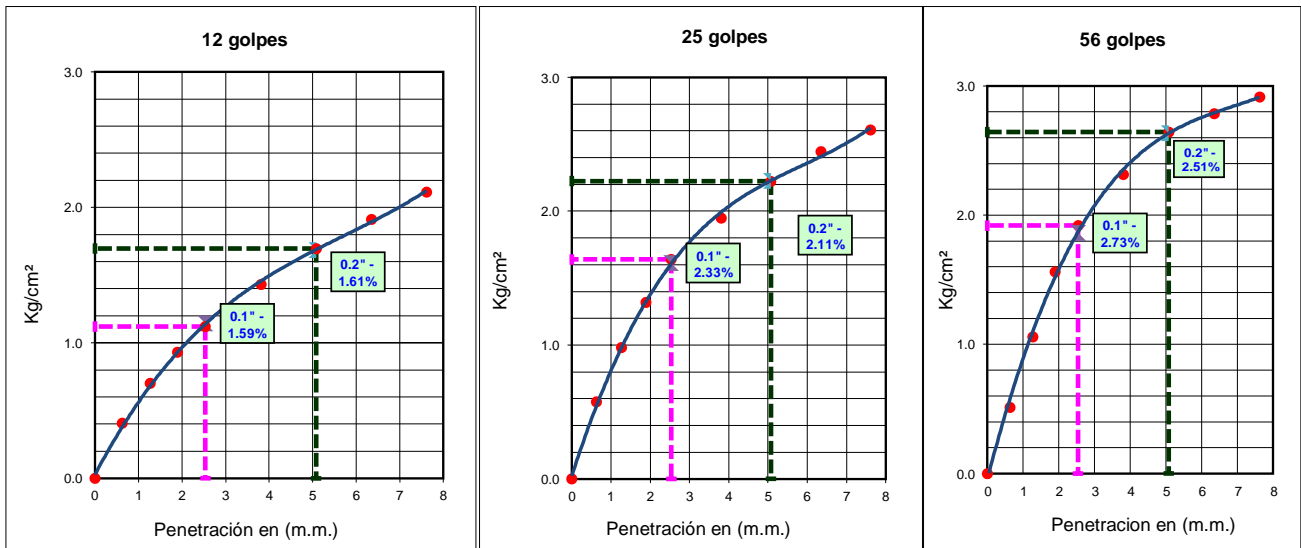
Datos de campo:

Muestra : S98-C2 C-1 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros - km. 3
 Fecha de ensayo : 25/03/2019

Datos de Proctor

M.D.S. : 1.775 gr/cm³
 WO% : 14.23 %

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Condición de la Muestra		4 días de saturación
Sobrecarga		10.00 lbs.
Hincharamiento promedio		16.86%
C.B.R.	100% MDS	95% MDS
0.1"	2.73	2.63
0.2"		



OBSERVACIONES: La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D - 422

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

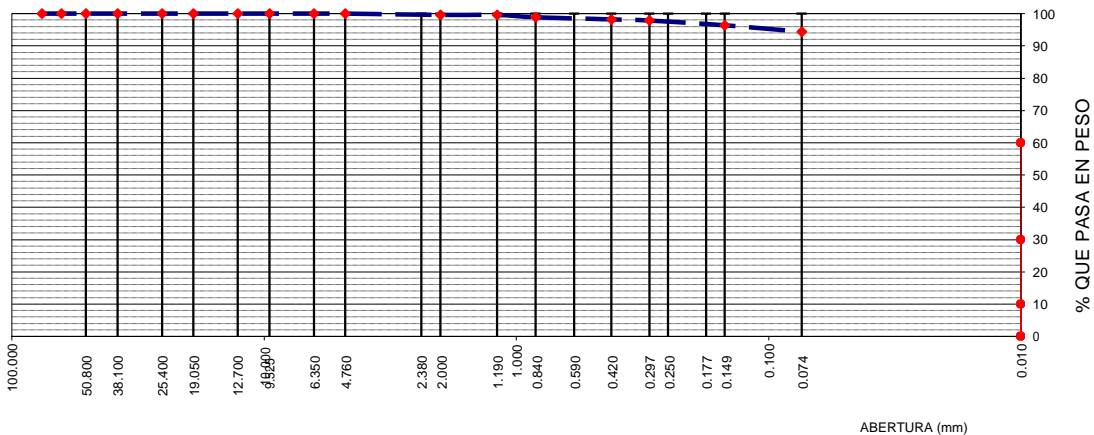
MUESTRA : S96-C4 C-1

Datos de campo:

Muestra : S96-C4 C-1 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros - km 3
 Fecha de ensayo : 11/03/2019
 Peso de muestra seca : 100.00
 Peso de muestra lavada : 5.60

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 79.69
2"	50.600						L. Plástico : 31.43
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 48.25
1"	25.400						Clas. SUCS : CH
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-7-5 (20)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.39	0.39	0.39	99.61		
Nº20	0.840	0.72	0.72	1.11	98.89		
Nº40	0.420	0.67	0.67	1.78	98.22		
Nº50	0.297	0.35	0.35	2.13	97.87		
Nº100	0.149	1.49	1.49	3.62	96.38		
Nº200	0.074	1.98	1.98	5.60	94.40		
Pasa Nº200		94.40	94.40				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color rosada, trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-5 (20). El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 94.4 %



PROYECTO	“Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.
UBICACIÓN	San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto
TESISTAS	Jaime Luis Vásquez Zamora Christian Wilson Marin Garcia
MUESTRA	S96-C4 C-1

LIMITES DE CONSISTENCIA

Datos de Campo

Muestra: S96-C4 C-1 (Arcilla)
 Ubicación: Carretera Ex Petroleros - km 3
 Fecha de ensayo: 13/03/2019

Resultados	
Límite Líquido	79.69
Límite Plástico	31.43
Ind. Plástico	48.25
Clas. SUCS	CH
Clas. AASHTO	A-7-5 (20)

Límite Líquido

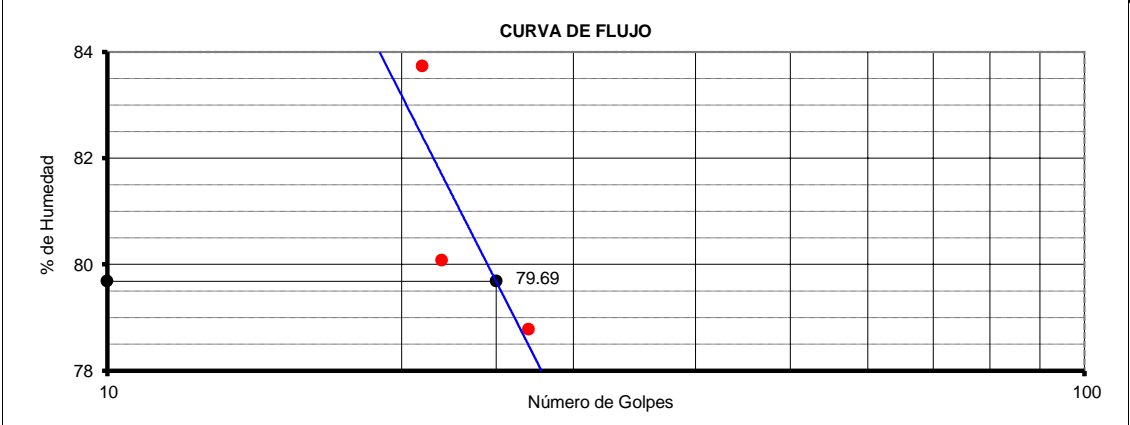
ASTM D 4318 - T 89

ENSAYO N°	1	2	3
Nº de Golpes	21	22	27
R + Suelo Hum.	45.10	45.30	43.44
R + Suelo Seco	43.04	43.29	41.51
Peso de la Tara	40.58	40.78	39.06
Peso de agua	2.06	2.01	1.93
Peso de S. Seco	2.46	2.51	2.45
% de Humedad	83.74	80.08	78.78

Límite Plástico

ASTM D 4318 - T 90

ENSAYO N°	1	2	3
R + Suelo Hum.	52.17	50.87	39.66
R + Suelo Seco	52.10	50.74	39.50
Peso de la Tara	51.88	50.33	38.98
Peso de agua	0.07	0.13	0.16
Peso de S. Seco	0.22	0.41	0.52
% de Humedad	31.82	31.71	30.77



- ESPECIFICACIONES** : Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para limite liquido y limite plástico ASTM D 4318 - T 90.
- OBSERVACIONES** : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color rosada, trasladada al laboratorio.
- RESULTADOS** : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-5 (20).
 En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 79.69, LP = 31.43 e IP = 48.25

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S96-C4 C-1

Datos de campo:

Muestra : S96-C4 C-1 (Arcilla)
Ubicación : Carretera Ex Petroleros - km 3
Fecha de ensayo : 18/03/2019

Resultados	
M. D. S.	1.719 gr/cm ³
O. C. H.	14.68 %
Clas. SUCS	CH
Clas. AASHTO	A-7-5 (20)

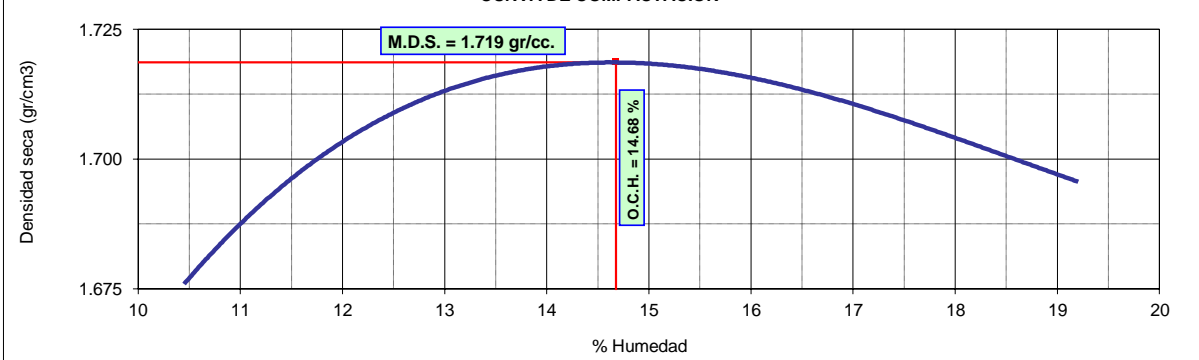
1.- Compactación

Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5899	5990	6033	6059
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159
Volumen del molde (cm)	940	940	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1740	1831	1874	1900
Densidad humeda (gr/cm)	1.851	1.948	1.994	2.021

2.- Humedad (%)

N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	141.55	155.13	159.62	159.54	148.27	156.15	142.35	149.09
Recipiente + suelo seco (gr.)	131.98	145.35	146.2	145.24	134.03	139.63	125.75	132.98
Peso de recipiente (gr.)	39.6	52.55	47.58	38.56	46.84	37.89	39.33	49.08
Peso de agua (gr.)	9.57	9.78	13.42	14.30	14.24	16.52	16.60	16.11
Peso de suelo seco (gr.)	92.38	92.80	98.62	106.68	87.19	101.74	86.42	83.90
Humedad (%)	10.36	10.54	13.61	13.40	16.33	16.24	19.21	19.20
Promedio Humedad (%)	10.45		13.51		16.28		19.20	
Densidad Seca (gr/cm)	1.676		1.716		1.714		1.696	

CURVA DE COMPACTACION



ESPECIFICACIONES : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.719 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 14.68 %.



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S96-C4 C-1

Datos de campo:

Muestra : S96-C4 C-1 (Arcilla) **M. D. S.** : 1.719 gr/cm3
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros - km 3 **O. C. H.** : 14.68 %
 Fecha de ensayo : 25/03/2019 **Clas. SUCS** : CH
Clas. AASHTO : A-7-5 (20)

Molde	Nº	9		22		23	
Capas	Nº	5		5		5	
Golpes por capa	Nº	12		25		56	
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12166	12904	12500	13223	12727	13300
Peso del molde	Gr.	8512	8512	8623	8623	8652	8652
Volúmen del suelo	c.c.	2120	2120	2118	2118	2127	2127
Peso del suelo húmedo	Gr.	3654	4392	3877	4600	4075	4648
Densidad húmeda	Gr/c.c	1.724	2.072	1.831	2.172	1.916	2.185

HUMEDAD

Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	90.62	127.28	129.66	121.61	89.45	114.88
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	84.24	106.73	117.85	101.12	83.58	99.37
Peso de la Recipiente	Gr.	40.70	45.53	37.22	38.93	44.23	51.88
Peso del agua	Gr.	6.38	20.55	11.81	20.49	5.87	15.51
Peso del suelo seco	Gr.	43.54	61.20	80.63	62.19	39.35	47.49
Humedad	%	14.65	33.58	14.65	32.95	14.92	32.66
Densidad seca	Gr/c.c.	1.504	1.551	1.597	1.634	1.667	1.647

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
27 de Enero de 2019	12:00	0	0.004	0.00	0.005	0.00	0.003	0.00
28 de Enero de 2019	12:00	1	0.559	12.16	0.618	13.43	0.668	14.57
29 de Enero de 2019	12:00	2	0.56	0.02	0.621	0.07	0.685	0.37
30 de Enero de 2019	12:00	3	0.56	0.00	0.623	0.04	0.687	0.04
31 de Enero de 2019	12:00	4	0.56	0.00	0.623	0.00	0.687	0.00

PENETRACION

Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025	0.63	18.0	0.92	26.5	1.35	21.8	1.11
0.050	1.27	32.2	1.64	41.9	2.13	44.3	2.26
0.075	1.90	45.2	2.30	56.8	2.89	66.3	3.38
0.100	2.54	60.6	3.09	72.9	3.71	82.2	4.19
0.150	3.81	90.9	4.63	101.1	5.15	106.3	5.41
0.200	5.08	118.3	6.02	130.2	6.63	129.8	6.61
0.250	6.35	143.8	7.32	155.4	7.91	147.1	7.49
0.300	7.62	170.7	8.69	177.3	9.03	173.2	8.82
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm2			

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
 (ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S96-C4 C-1

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
 (ASTM D-1883)

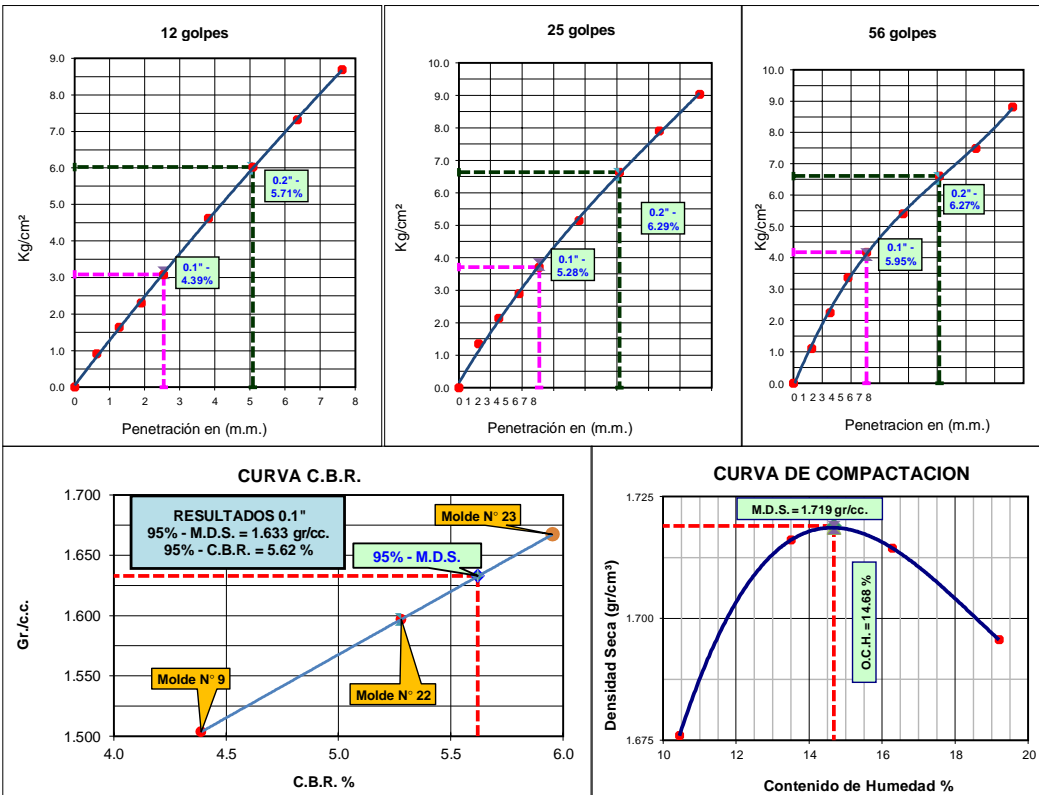
Datos de campo:

Muestra : S96-C4 C-1 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros - km 3
 Fecha de ensayo : 25/03/2019

Datos de Proctor

M.D.S. : 1.719 gr/cm3
 WO% : 14.68 %

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Condición de la Muestra		4 días de saturación
Sobrecarga		10.00 lbs.
Hincharamiento promedio		13.57%
C.B.R.	100% MDS	95% MDS
0.1"	5.95	5.62
0.2"		



OBSERVACIONES: La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D - 422

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

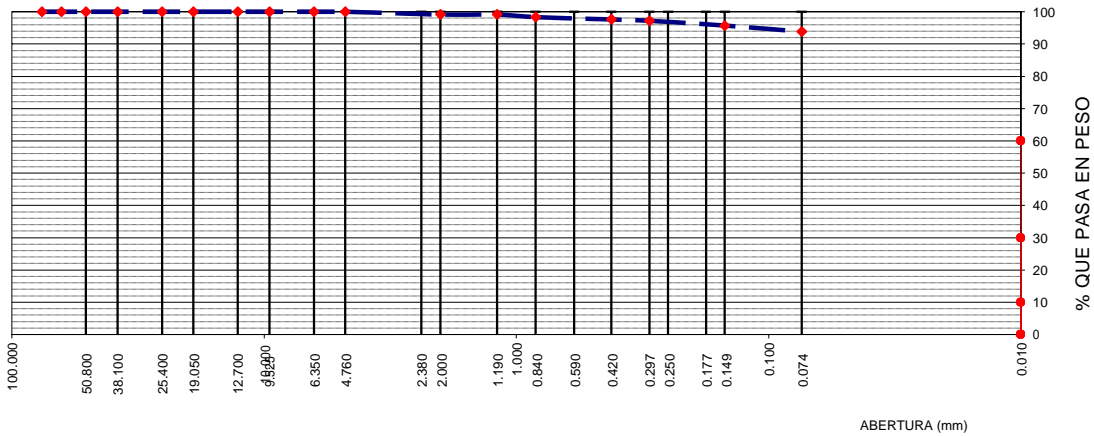
MUESTRA : S94-C6 C-1

Datos de campo:

Muestra : S94-C6 C-1 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex petroleros km. 3
 Fecha de ensayo : 11/03/2019
 Peso de muestra seca : 100.00
 Peso de muestra lavada : 6.14

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 67.86
2"	50.600						L. Plástico : 31.89
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 35.97
1"	25.400						Clas. SUCS : CH
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-7-5 (20)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.86	0.86	0.86	99.14		
Nº20	0.840	0.81	0.81	1.67	98.33		
Nº40	0.420	0.72	0.72	2.39	97.61		
Nº50	0.297	0.41	0.41	2.80	97.20		
Nº100	0.149	1.48	1.48	4.28	95.72		
Nº200	0.074	1.86	1.86	6.14	93.86		
Pasa Nº200		93.86	93.86				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color rosada, trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-5 (20). El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 93.86 %



PROYECTO	“Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.
UBICACIÓN	San Juan Bautista - provincia de Maynas - Departamento de Loreto
TESISTAS	Jaime Luis Vásquez Zamora Christian Wilson Marin Garcia
MUESTRA	S94-C6 C-1

LIMITES DE CONSISTENCIA

Datos de Campo

Muestra	S94-C6 C-1 (Arcilla)
Ubicación	Carretera Ex petroleros km. 3
Fecha de ensayo	13/03/2019

Resultados	
Límite Líquido	67.86
Límite Plástico	31.89
Ind. Plástico	35.97
Clas. SUCS	CH
Clas. AASHTO	A-7-5 (20)

Límite Líquido

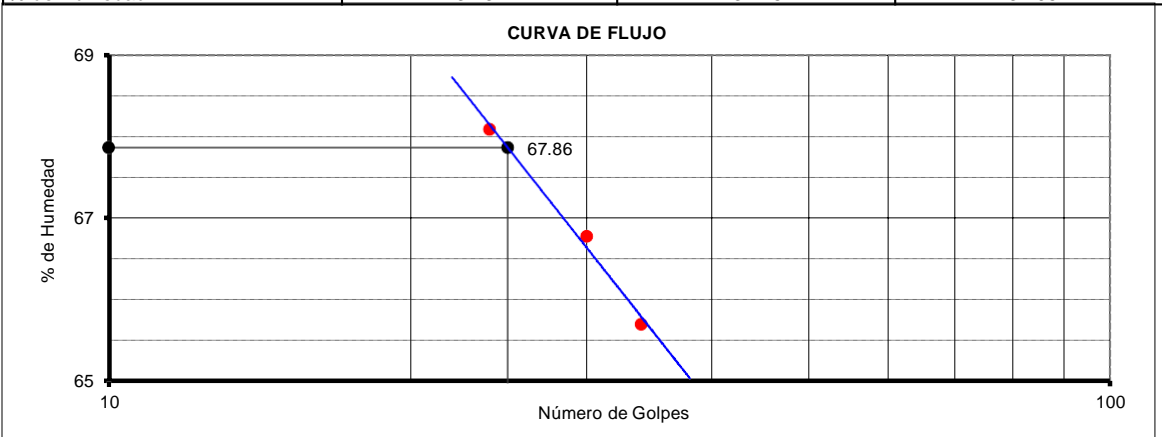
ASTM D 4318 - T 89

ENSAYO Nº	1	2	3
Nº de Golpes	24	30	34
R + Suelo Hum.	46.86	49.97	43.59
R + Suelo Seco	44.62	47.90	41.33
Peso de la Tara	41.33	44.80	37.89
Peso de agua	2.24	2.07	2.26
Peso de S. Seco	3.29	3.10	3.44
% de Humedad	68.09	66.77	65.70

Límite Plástico

ASTM D 4318 - T 90

ENSAYO Nº	1	2	3
R + Suelo Hum.	45.50	38.52	48.83
R + Suelo Seco	45.34	38.42	48.70
Peso de la Tara	44.83	38.11	48.31
Peso de agua	0.16	0.10	0.13
Peso de S. Seco	0.51	0.31	0.39
% de Humedad	31.37	32.26	32.05



- ESPECIFICACIONES** : Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para limite liquido y limite plástico ASTM D 4318 - T 90.
- OBSERVACIONES** : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color rosada, trasladada al laboratorio.
- RESULTADOS** : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-5 (20).
 En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 67.86, LP = 31.89 e IP = 35.97

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S94-C6 C-1

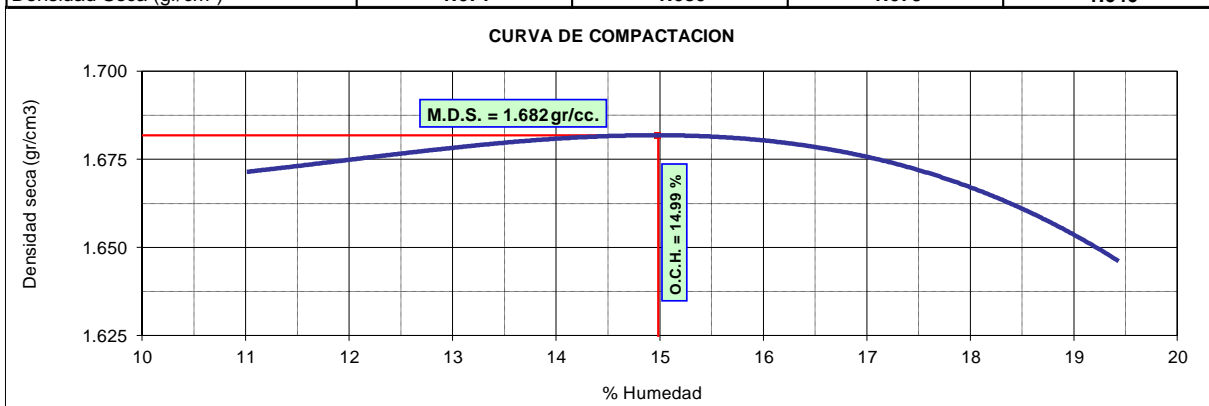
Datos de campo:		Resultados	
		Muestra	S94-C6 C-1 (Arcilla)
Ubicación	Carretera Ex petroleros km. 3	O. C. H.	14.99 %
Fecha de ensayo	18/03/2019	Clas. SUCS	CH
		Clas. AASHTO	A-7-5 (20)

1.- Compactación

Prueba Nº	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5909	5961	5995	6007
Peso molde (gr.)	4163	4163	4159	4159
Volumen del molde (cm ³)	941	941	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1746	1798	1836	1848
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.855	1.911	1.953	1.966

2.- Humedad (%)

Nº Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	148.53	131.17	129.36	147.68	118.76	132.4	121.24	119.57
Recipiente + suelo seco (gr.)	138.73	121.99	118.33	136.54	107.4	120.54	109.4	106.82
Peso de recipiente (gr.)	50.08	38.28	37.73	55.53	38.68	46.83	49.03	40.6
Peso de agua (gr.)	9.80	9.18	11.03	11.14	11.36	11.86	11.84	12.75
Peso de suelo seco (gr.)	88.65	83.71	80.60	81.01	68.72	73.71	60.37	66.22
Humedad (%)	11.05	10.97	13.68	13.75	16.53	16.09	19.61	19.25
Promedio Humedad (%)	11.01		13.72		16.31		19.43	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.671		1.680		1.679		1.646	



ESPECIFICACIONES : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.682 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 14.99 %.



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S94-C6 C-1

Datos de campo:

Muestra : S94-C6 C-1 (Arcilla) **M. D. S.** : 1.682 gr/cm3
 Ubicación : Carretera Ex petroleros km. 3 **O. C. H.** : 14.99 %
 Fecha de ensayo : 25/03/2019 **Clas. SUCS** : CH
Clas. AASHTO : A-7-5 (20)

Molde	Nº	1	6	27			
Capas	Nº	5	5	5			
Golpes por capa	Nº	12	25	56			
Condición de muestra		Hum. Óptima	Saturado	Hum. Óptima	Saturado	Hum. Óptima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12087	12867	12402	13146	12578	13264
Peso del molde	Gr.	8537	8537	8613	8613	8645	8645
Volúmen del suelo	c.c.	2123	2123	2121	2121	2118	2118
Peso del suelo húmedo	Gr.	3550	4330	3789	4533	3933	4619
Densidad húmeda	Gr/c.c	1.672	2.039	1.786	2.137	1.857	2.181

HUMEDAD

Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	115.57	125.46	105.78	141.15	112.09	131.03
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	105.70	104.15	97.22	120.12	103.83	109.49
Peso de la Recipiente	Gr.	37.69	37.78	39.09	53.19	47.02	47.87
Peso del agua	Gr.	9.87	21.31	8.56	21.03	8.26	21.54
Peso del suelo seco	Gr.	68.01	66.37	58.13	66.93	56.81	61.62
Humedad	%	14.51	32.11	14.73	31.42	14.54	34.96
Densidad seca	Gr/c.c.	1.460	1.544	1.557	1.626	1.622	1.616

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
27 de Enero de 2019	12:00	0	0.003	0.00	0.004	0.00	0.007	0.00
28 de Enero de 2019	12:00	1	0.548	11.94	0.349	7.56	0.621	13.46
29 de Enero de 2019	12:00	2	0.55	0.04	0.542	4.23	0.625	0.09
30 de Enero de 2019	12:00	3	0.55	0.00	0.55	0.18	0.625	0.00
31 de Enero de 2019	12:00	4	0.55	0.00	0.558	0.18	0.625	0.00

PENETRACION

Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025	0.63	24.9	1.27	15.3	0.78	26.9	1.37
0.050	1.27	45.6	2.32	35.7	1.82	52.7	2.68
0.075	1.90	64.5	3.28	69.1	3.52	81.1	4.13
0.100	2.54	84.8	4.32	92.5	4.71	102.9	5.24
0.150	3.81	123.6	6.29	153.2	7.80	160.2	8.16
0.200	5.08	158.1	8.05	203.8	10.38	200.5	10.21
0.250	6.35	189.2	9.64	239.5	12.19	238.3	12.13
0.300	7.62	219.7	11.18	265.7	13.53	254.0	12.93
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K =		19.64 cm2	

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S94-C6 C-1

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

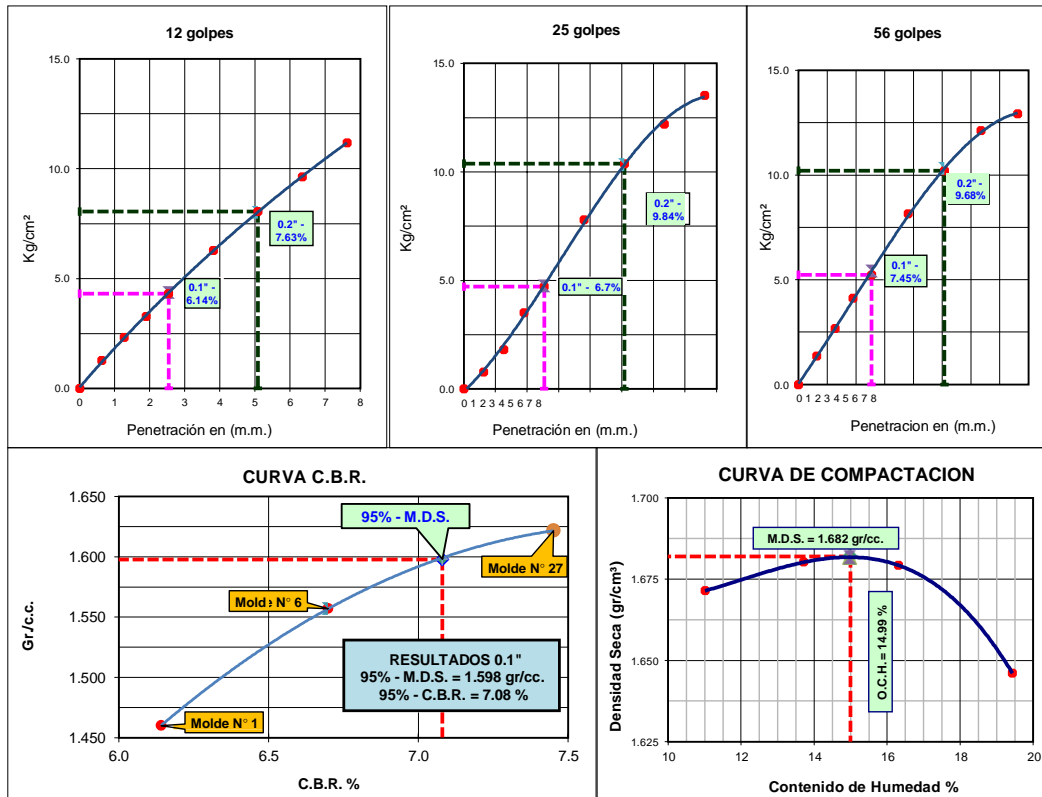
Datos de campo:

Muestra : S94-C6 C-1 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex petroleros km. 3
 Fecha de ensayo : 25/03/2019

Datos de Proctor

M.D.S. : 1.682 gr/cm³
 WO% : 14.99 %

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Condición de la Muestra	4 días de saturación	
Sobrecarga	10.00 lbs.	
Hinchamiento promedio	12.56%	
C.B.R.	100% MDS	95% MDS
0.1"	7.45	7.08
0.2"		



OBSERVACIONES:

La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D - 422

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

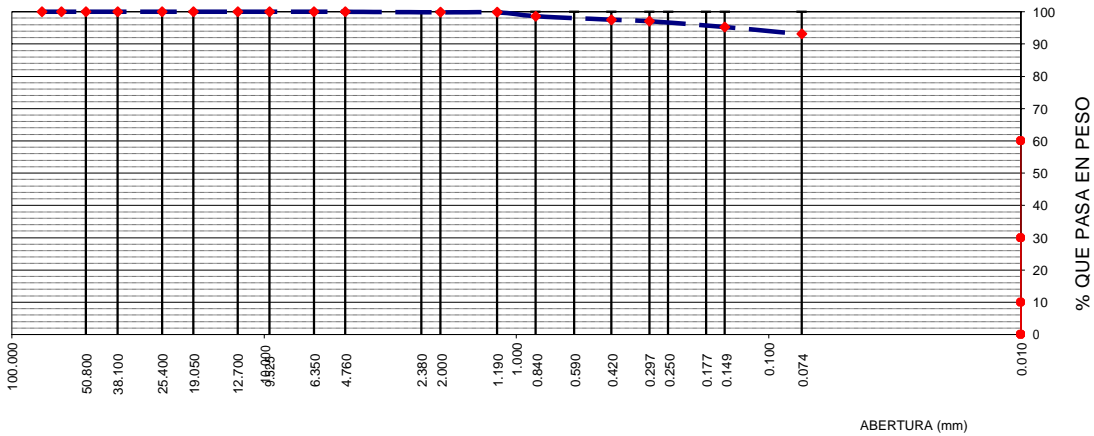
MUESTRA : S92-C8 C-1

Datos de campo:

Muestra : S92-C8 C-1 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Expetroleros km 3
 Fecha de ensayo : 11/03/2019
 Peso de muestra seca : 100.00
 Peso de muestra lavada : 6.93

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 68.89
2"	50.600						L. Plástico : 45.96
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 22.93
1"	25.400						Clas. SUCS : MH
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-7-5 (17)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.18	0.18	0.18	99.82		
Nº20	0.840	1.19	1.19	1.37	98.63		
Nº40	0.420	1.09	1.09	2.46	97.54		
Nº50	0.297	0.47	0.47	2.93	97.07		
Nº100	0.149	1.80	1.80	4.73	95.27		
Nº200	0.074	2.20	2.20	6.93	93.07		
Pasa Nº200		93.07	93.07				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color rosada, trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : Arcilla Limosa, húmeda, porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (MH) A-7-5 (17).
 El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 93.07 %



PROYECTO "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA S92-C8 C-1

LIMITES DE CONSISTENCIA

Datos de Campo

Muestra S92-C8 C-1 (Arcilla)
 Ubicación Carretera Expetroleros km 3
 Fecha de ensayo 13/03/2019

Resultados	
Límite Líquido	68.89
Límite Plástico	45.96
Ind. Plástico	22.93
Clas. SUCS	MH
Clas. AASHTO	A-7-5 (17)

Límite Líquido

ASTM D 4318 - T 89

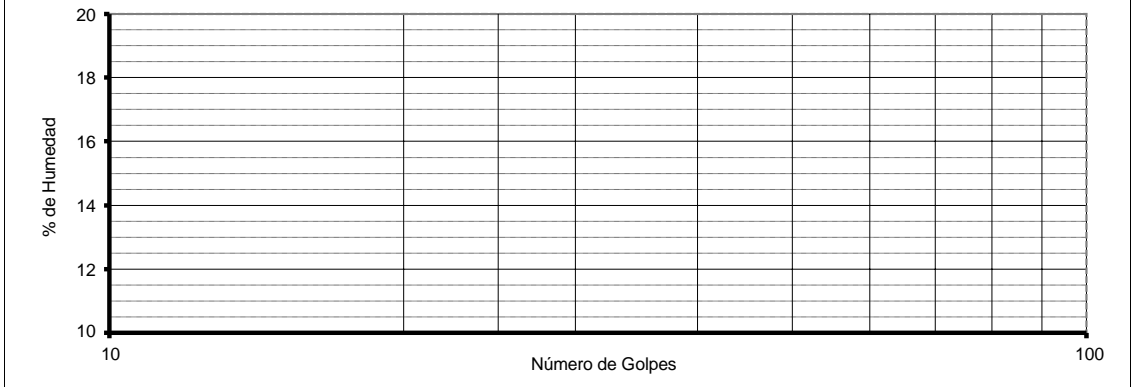
ENSAYO Nº	1	2	3
Nº de Golpes	18	20	28
R + Suelo Hum.	53.41	58.88	54.04
R + Suelo Seco	51.64	56.27	52.02
Peso de la Tara	49.09	52.54	49.07
Peso de agua	1.77	2.61	2.02
Peso de S. Seco	2.55	3.73	2.95
% de Humedad	69.41	69.97	68.47

Límite Plástico

ASTM D 4318 - T 90

ENSAYO Nº	1	2	3
R + Suelo Hum.	39.80	47.75	49.25
R + Suelo Seco	39.65	47.60	49.04
Peso de la Tara	39.33	47.27	48.59
Peso de agua	0.15	0.15	0.20
Peso de S. Seco	0.32	0.33	0.45
% de Humedad	46.87	45.45	45.56

CURVA DE FLUJO



- ESPECIFICACIONES** : Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para limite liquido y limite plástico ASTM D 4318 - T 90.
- OBSERVACIONES** : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color rosada, trasladada al laboratorio.
- RESULTADOS** : Arcilla Limosa, húmeda, porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (MH) A-7-5 (17).
 En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 68.89, LP = 45.96 e IP = 22.93

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S92-C8 C-1

Datos de campo:

Muestra : S92-C8 C-1 (Arcilla)
Ubicación : Carretera Expetroleros km 3
Fecha de ensayo : 18/03/2019

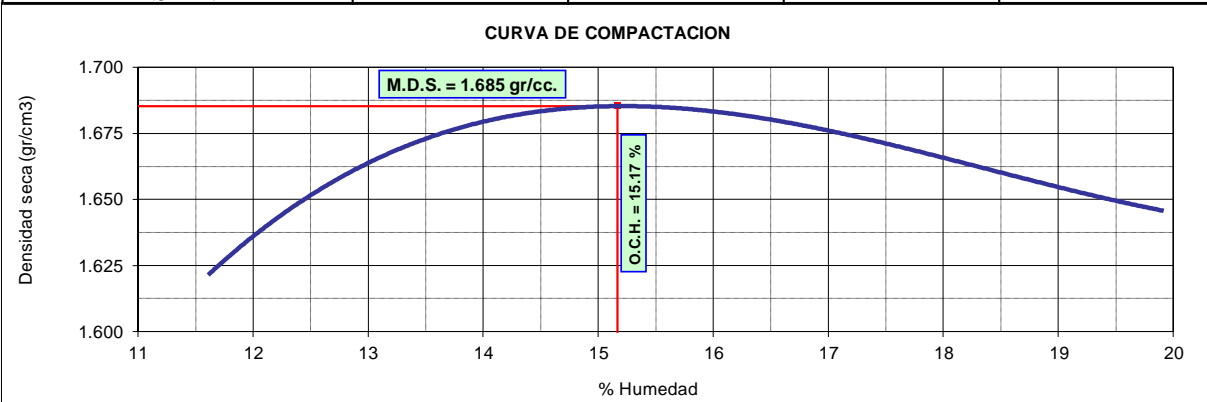
Resultados	
M. D. S.	1.685 gr/cm ³
O. C. H.	15.17 %
Clas. SUCS	MH
Clas. AASHTO	A-7-5 (17)

1.- Compactación

Prueba Nº	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5860	5970	6004	6014
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159
Volumen del molde (cm ³)	940	940	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1701	1811	1845	1855
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.810	1.927	1.963	1.973

2.- Humedad (%)

Nº Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	116.89	98.96	117.92	114.98	122.34	107.07	108.57	105.11
Recipiente + suelo seco (gr.)	109.7	92.73	108	106.67	111.38	98.34	99.68	95.56
Peso de recipiente (gr.)	47.88	38.96	39.6	49.07	48.24	47.87	55.03	47.62
Peso de agua (gr.)	7.19	6.23	9.92	8.31	10.96	8.73	8.89	9.55
Peso de suelo seco (gr.)	61.82	53.77	68.40	57.60	63.14	50.47	44.65	47.94
Humedad (%)	11.63	11.59	14.50	14.43	17.36	17.30	19.91	19.92
Promedio Humedad (%)	11.61		14.47		17.33		19.92	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.621		1.683		1.673		1.646	



ESPECIFICACIONES : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.685 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 15.17 %.



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S92-C8 C-1

Datos de campo:

Muestra : S92-C8 C-1 (Arcilla) **M. D. S.** : 1.685 gr/cm3
 Ubicación : Carretera Expetroleros km 3 **O. C. H.** : 15.17 %
 Fecha de ensayo : 25/03/2019 **Clas. SUCS** : MH
Clas. AASHTO : A-7-5 (17)

Molde	Nº	15	11	7			
Capas	Nº	5	5	5			
Golpes por capa	Nº	12	25	56			
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12157	12805	12287	12851	12806	13286
Peso del molde	Gr.	8601	8601	8493	8493	8792	8792
Volúmen del suelo	c.c.	2147	2147	2142	2142	2136	2136
Peso del suelo húmedo	Gr.	3556	4204	3794	4358	4014	4494
Densidad húmeda	Gr/c.c	1.656	1.958	1.771	2.034	1.879	2.104

HUMEDAD

Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	117.72	121.50	124.11	130.39	110.71	129.13
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	107.30	100.76	115.04	113.13	102.55	112.38
Peso de la Recipiente	Gr.	38.03	44.80	55.02	47.60	48.51	47.94
Peso del agua	Gr.	10.42	20.74	9.07	17.26	8.16	16.75
Peso del suelo seco	Gr.	69.27	55.96	60.02	65.53	54.04	64.44
Humedad	%	15.04	37.06	15.11	26.34	15.10	25.99
Densidad seca	Gr/c.c.	1.440	1.429	1.539	1.610	1.633	1.670

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
27 de Enero de 2019	12:00	0	0.005	0.00	0.006	0.00	0.004	0.00
28 de Enero de 2019	12:00	1	0.429	9.29	0.458	9.91	0.502	10.91
29 de Enero de 2019	12:00	2	0.429	0.00	0.458	0.00	0.502	0.00
30 de Enero de 2019	12:00	3	0.429	0.00	0.458	0.00	0.502	0.00
31 de Enero de 2019	12:00	4	0.429	0.00	0.458	0.00	0.502	0.00

PENETRACION

Penetración Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025	0.63	15.8	0.80	19.7	1.00	33.8	1.72
0.050	1.27	38.4	1.96	44.4	2.26	65.9	3.36
0.075	1.90	62.3	3.17	75.2	3.83	105.6	5.38
0.100	2.54	85.9	4.37	110.2	5.61	140.7	7.16
0.150	3.81	134.3	6.84	181.0	9.22	237.1	12.07
0.200	5.08	190.6	9.70	255.2	12.99	345.0	17.57
0.250	6.35	239.9	12.22	336.0	17.11	440.8	22.45
0.300	7.62	292.1	14.87	424.0	21.59	517.0	26.32
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm2			

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S92-C8 C-1

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

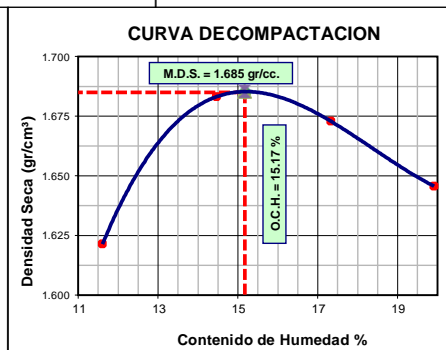
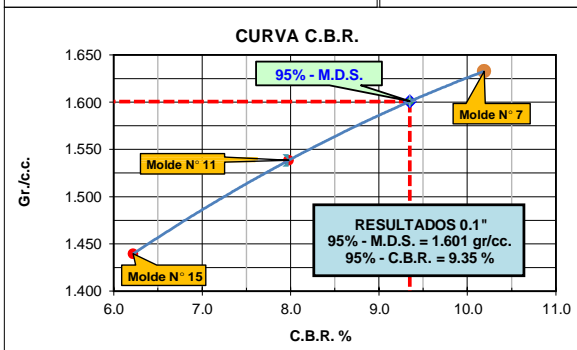
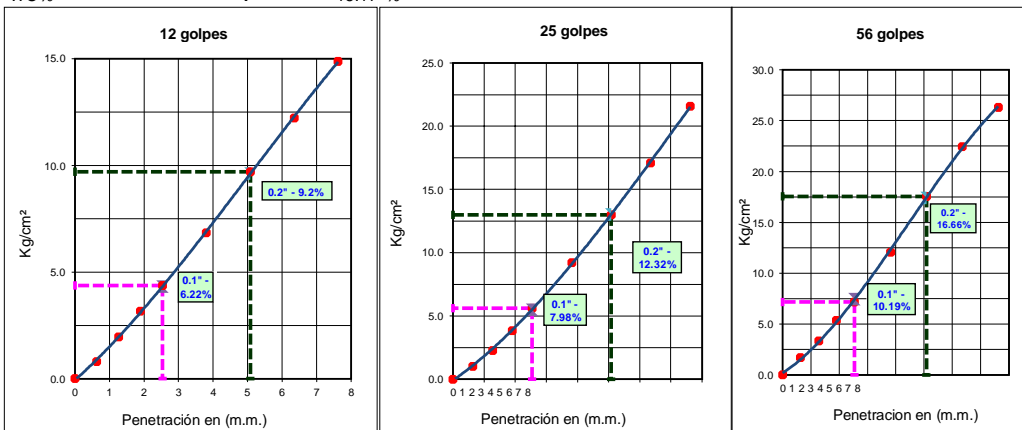
Datos de campo:

Muestra : S92-C8 C-1 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Expetroleros km 3
 Fecha de ensayo : 25/03/2019

Datos de Proctor

M.D.S. : 1.685 gr/cm³
 WO% : 15.17 %

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Condición de la Muestra	4 días de saturación	
Sobrecarga	10.00 lbs.	
Hinchamiento promedio	10.04%	
C.B.R.	100% MDS	95% MDS
0.1"	10.19	9.35
0.2"		



OBSERVACIONES:

La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D - 422

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : Distrito de San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

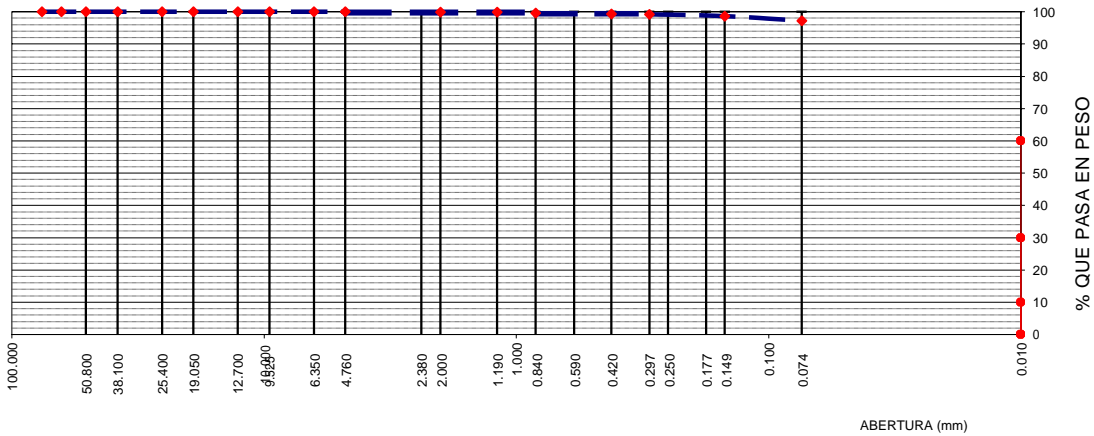
MUESTRA : S100 C-1

Datos de campo:

Muestra : S100 C-1 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Expetroleros km 3
 Fecha de ensayo : 11/03/2019
 Peso de muestra seca : 103.37
 Peso de muestra lavada : 2.87

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 65.98
2"	50.600						L. Plástico : 26.86
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 39.12
1"	25.400						Clas. SUCS : CH
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-7-6 (20)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.20	0.19	0.19	99.81		
Nº20	0.840	0.29	0.28	0.47	99.53		
Nº40	0.420	0.20	0.19	0.67	99.33		
Nº50	0.297	0.12	0.12	0.78	99.22		
Nº100	0.149	0.59	0.57	1.35	98.65		
Nº200	0.074	1.47	1.42	2.78	97.22		
Pasa Nº200		100.50	97.22				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color rosado, trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-6 (20). El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 97.22 %



PROYECTO	“Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.
UBICACIÓN	Distrito de San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto
TESISTAS	Jaime Luis Vásquez Zamora Christian Wilson Marin Garcia
MUESTRA	S100 C-1

LIMITES DE CONSISTENCIA

Datos de Campo

Muestra	S100 C-1 (Arcilla)
Ubicación	Carretera Expetroleros km 3
Fecha de ensayo	13/03/2019

Resultados	
Límite Líquido	65.98
Límite Plástico	26.86
Ind. Plástico	39.12
Clas. SUCS	CH
Clas. AASHTO	A-7-6 (20)

Límite Líquido

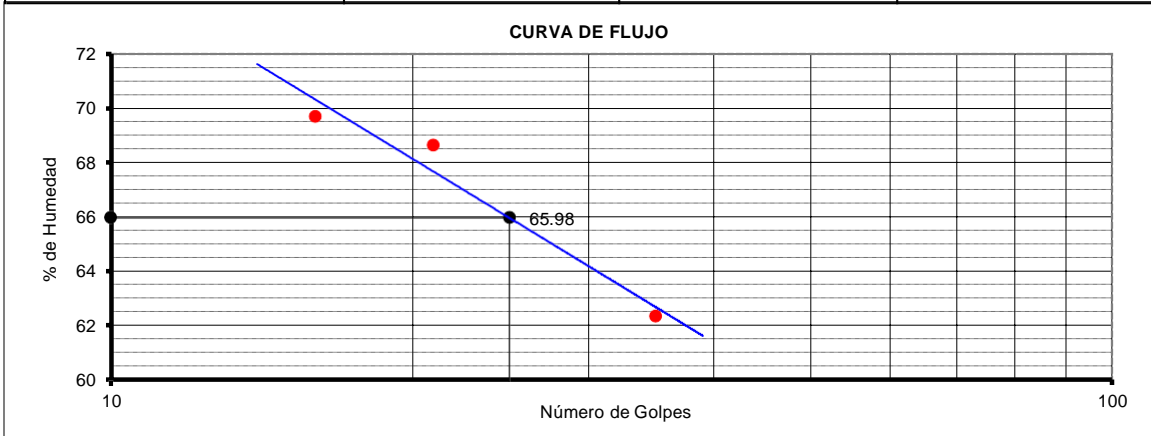
ASTM D 4318 - T 89

ENSAYO Nº	1	2	3
Nº de Golpes	16	21	35
R + Suelo Hum.	46.40	53.86	63.20
R + Suelo Seco	43.25	50.62	59.87
Peso de la Tara	38.73	45.90	54.53
Peso de agua	3.15	3.24	3.33
Peso de S. Seco	4.52	4.72	5.34
% de Humedad	69.69	68.64	62.36

Límite Plástico

ASTM D 4318 - T 90

ENSAYO Nº	1	2	3
R + Suelo Hum.	41.36	38.69	52.08
R + Suelo Seco	41.03	38.40	51.85
Peso de la Tara	39.81	37.33	50.98
Peso de agua	0.33	0.29	0.23
Peso de S. Seco	1.22	1.07	0.87
% de Humedad	27.05	27.10	26.44



- ESPECIFICACIONES** : Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para limite liquido y limite plástico ASTM D 4318 - T 90.
- OBSERVACIONES** : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color rosado, trasladada al laboratorio.
- RESULTADOS** : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-6 (20).
En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 65.98, LP = 26.86 e IP = 39.12

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : Distrito de San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S100 C-1

Datos de campo:

Nº de exploración : Calicata Nº 01
Muestra : S100 C-1 (Arcilla)
Ubicación : Carretera Expetroleros km 3
Fecha de ensayo : 18/03/2019

Resultados

M. D. S.	1.745	gr/cm ³
O. C. H.	14.86	%
Clas. SUCS	CH	
Clas. AASHTO	A-7-6	(20)

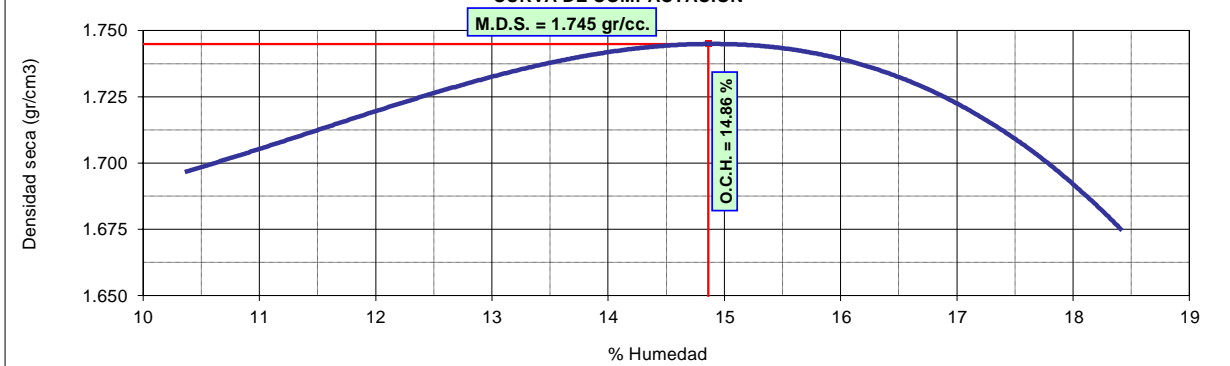
1.- Compactación

Prueba Nº	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5919	6008	6055	6023
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159
Volumen del molde (cm ³)	940	940	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1760	1849	1896	1864
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.872	1.967	2.017	1.983

2.- Humedad (%)

Nº Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	140.01	105.27	108.42	129.95	121.38	116.81	111.1	127.77
Recipiente + suelo seco (gr.)	131.58	99.15	100.45	119.6	112.14	106.09	101.26	115.3
Peso de recipiente (gr.)	53.2	37.71	40.9	41.44	54.2	38.58	47.19	48.41
Peso de agua (gr.)	8.43	6.12	7.97	10.35	9.24	10.72	9.84	12.47
Peso de suelo seco (gr.)	78.38	61.44	59.55	78.16	57.94	67.51	54.07	66.89
Humedad (%)	10.76	9.96	13.38	13.24	15.95	15.88	18.20	18.64
Promedio Humedad (%)	10.36		13.31		15.91		18.42	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.697		1.736		1.740		1.675	

CURVA DE COMPACTACION



ESPECIFICACIONES : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.745 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 14.86 %.



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : Distrito de San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS: : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S100 C-1

Datos de campo:

Muestra	: S100 C-1 (Arcilla)	M. D. S.	:	1.745	gr/cm ³
Ubicación	: Carretera Expetroleros km 3	O. C. H.	:	14.86	%
Fecha de ensayo	: 25/03/2019	Clas. SUCS	:	CH	
		Clas. AASHTO	:	A-7-6 (20)	

	Nº	21		24		26	
		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado
Molde	Nº	21		24		26	
Capas	Nº	5		5		5	
Golpes por capa	Nº	12		25		56	
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12287	13074	12541	13295	13294	13959
Peso del molde	Gr.	8638	8638	8645	8645	9060	9060
Volúmen del suelo	c.c.	2135	2135	2137	2137	2135	2135
Peso del suelo húmedo	Gr.	3649	4436	3896	4650	4234	4899
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.709	2.078	1.823	2.176	1.983	2.295

HUMEDAD

	Nº	4	5	6	7	8	9
Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	138.80	103.75	130.08	96.08	101.65	118.03
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	126.86	87.47	117.08	83.05	94.63	103.16
Peso de la Recipiente	Gr.	54.19	40.78	37.89	48.96	51.55	45.54
Peso del agua	Gr.	11.94	16.28	13.00	13.03	7.02	14.87
Peso del suelo seco	Gr.	72.67	46.69	79.19	34.09	43.08	57.62
Humedad	%	16.43	34.87	16.42	38.22	16.30	25.81
Densidad seca	Gr/c.c.	1.468	1.541	1.566	1.574	1.705	1.824

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
4 de Febrero de 2019	12:00	0	0.009	0.00	0.008	0.00	0.005	0.00
5 de Febrero de 2019	12:00	1	0.681	14.73	0.510	11.00	0.501	10.87
6 de Febrero de 2019	12:00	2	0.692	0.24	0.660	3.29	0.665	3.59
7 de Febrero de 2019	12:00	3	0.698	0.13	0.828	3.68	0.795	2.85
8 de Febrero de 2019	12:00	4	0.700	0.04	0.835	0.15	0.845	1.10

PENETRACION

Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²
0.025	0.63	6.4	0.33	7.7	0.39	7.7	0.39
0.050	1.27	10.8	0.55	13.5	0.69	14.0	0.71
0.075	1.90	14.9	0.76	18.3	0.93	19.0	0.97
0.100	2.54	18.8	0.96	22.5	1.15	24.0	1.22
0.150	3.81	24.7	1.26	28.3	1.44	29.0	1.48
0.200	5.08	27.9	1.42	31.9	1.62	33.1	1.69
0.250	6.35	31.7	1.61	35.1	1.79	36.3	1.85
0.300	7.62	34.8	1.77	38.1	1.94	38.6	1.97
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K =		19.64 cm²	

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : Distrito de San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS: : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S100 C-1

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

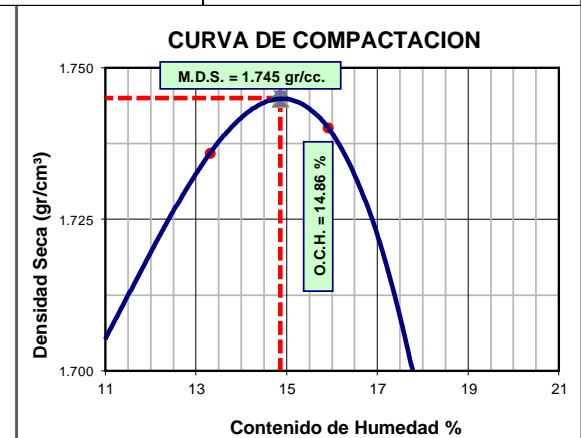
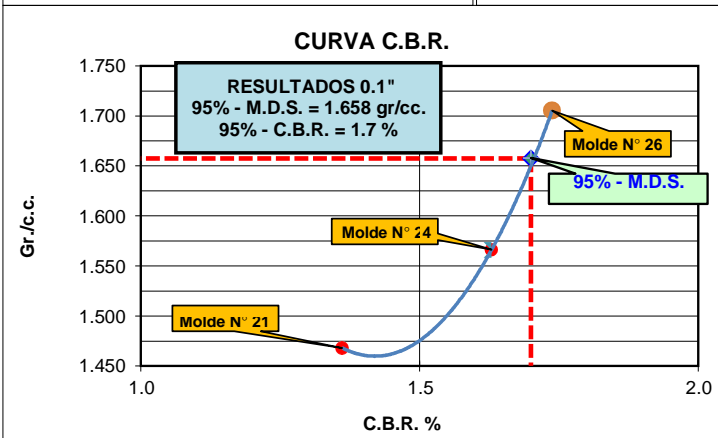
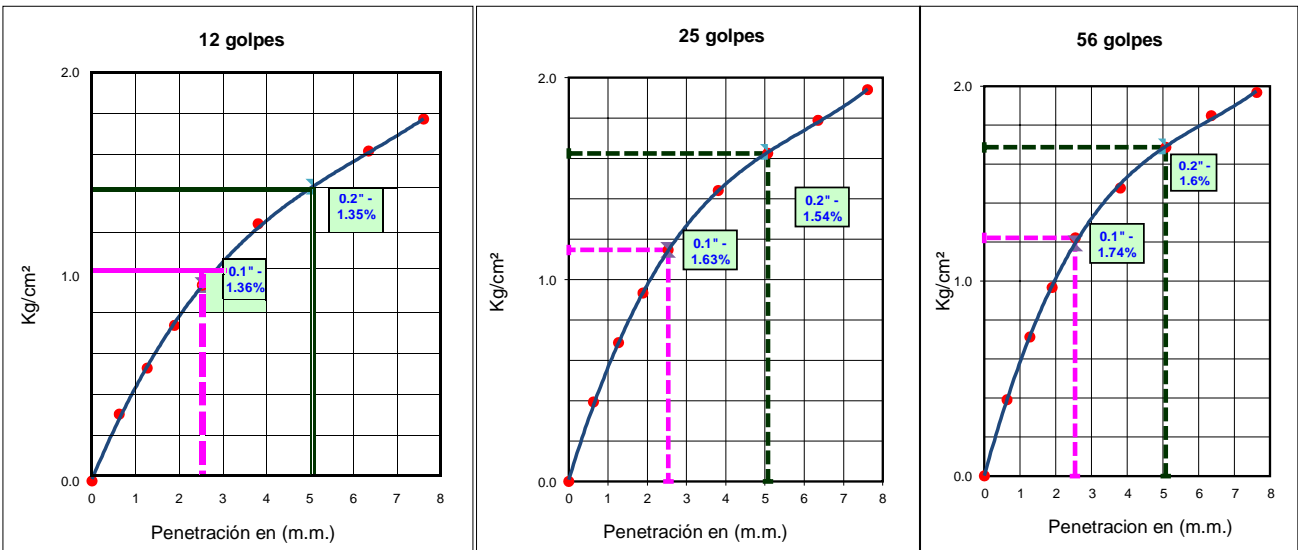
Datos de campo:

Muestra : S100 C-1 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Expetroleros km 3
 Fecha de ensayo : 25/03/2019

Datos de Proctor

M.D.S. : 1.745 gr/cm³
 WO% : 14.86 %

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Condición de la Muestra		4 días de saturación
Sobrecarga		10.00 lbs.
Hinchamiento promedio		17.23%
C.B.R.	100% MDS	95% MDS
0.1"	1.74	1.70
0.2"		



B. SUELO ARCILLOSO
CALICATA Nº 2

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D - 422

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

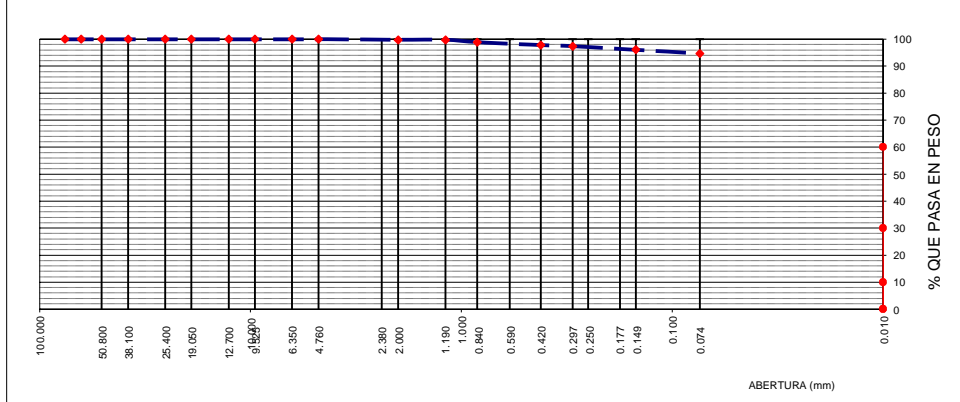
MUESTRA : S98-C2 C-2

Datos de campo:

Muestra : S98-C2 C-2 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex petroleros km. 3
 Fecha de ensayo : 11/03/2019
 Peso de muestra seca : 100.00
 Peso de muestra lavada : 5.32

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 50.86
2"	50.600						L. Plástico : 28.92
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 21.94
1"	25.400						Clas. SUCS : MH
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-7-6 (15)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.21	0.21	0.21	99.79		
Nº20	0.840	0.91	0.91	1.12	98.88		
Nº40	0.420	1.06	1.06	2.18	97.82		
Nº50	0.297	0.41	0.41	2.59	97.41		
Nº100	0.149	1.35	1.35	3.94	96.06		
Nº200	0.074	1.38	1.38	5.32	94.68		
Pasa Nº200		94.68	94.68				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color naranja, trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : Arcilla orgánica, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (MH) A-7-6(15).
 El porcentaje que pasa la malla N° 200 es de 94.68 %



PROYECTO	“Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.
UBICACIÓN	San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto
TESISTAS	Jaime Luis Vásquez Zamora Christian Wilson Marin Garcia
MUESTRA	S98-C2 C-2

LIMITES DE CONSISTENCIA

Datos de Campo

Muestra S98-C2 C-2 (Arcilla)
 Ubicación Carretera Ex petroleros km. 3
 Fecha de ensayo 13/03/2019

Resultados	
Límite Líquido	50.86
Límite Plástico	28.92
Ind. Plástico	21.94
Clas. SUCS	MH
Clas. AASHTO	A-7-6 (15)

Límite Líquido

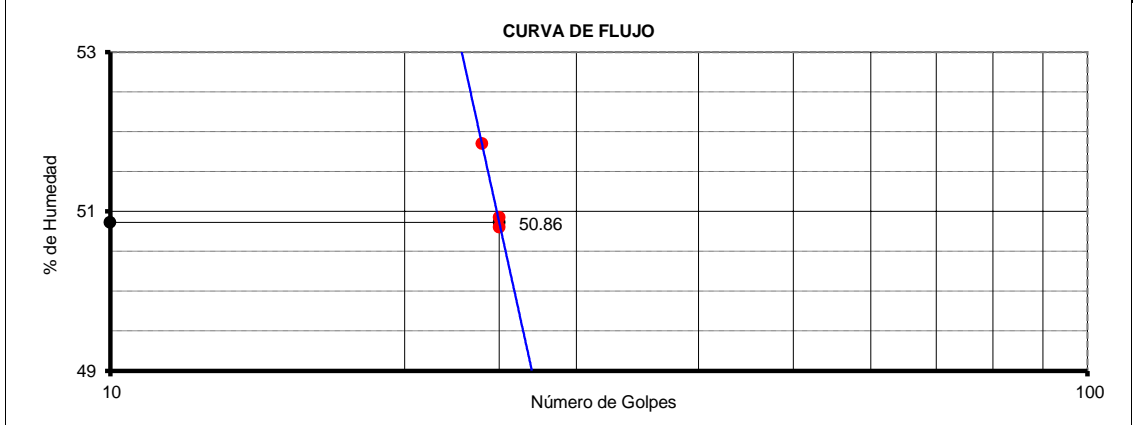
ASTM D 4318 - T 89

ENSAYO N°	1	2	3
Nº de Golpes	24	25	25
R + Suelo Hum.	55.10	54.31	42.04
R + Suelo Seco	53.70	52.66	40.46
Peso de la Tara	51.00	49.42	37.35
Peso de agua	1.40	1.65	1.58
Peso de S. Seco	2.70	3.24	3.11
% de Humedad	51.85	50.93	50.80

Límite Plástico

ASTM D 4318 - T 90

ENSAYO N°	1	2	3
R + Suelo Hum.	55.15	48.61	55.02
R + Suelo Seco	55.04	48.53	54.93
Peso de la Tara	54.68	48.25	54.62
Peso de agua	0.11	0.08	0.09
Peso de S. Seco	0.36	0.28	0.31
% de Humedad	29.17	28.57	29.03



- ESPECIFICACIONES** : Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para limite liquido y limite plástico ASTM D 4318 - T 90.
- OBSERVACIONES** : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color naranja, trasladada al laboratorio.
- RESULTADOS** : Arcilla orgánica, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (MH) A-7-6(15).
 En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 50.86, LP = 28.92 e IP = 21.94

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

FECHA : S98-C2 C-2

Datos de campo:

Muestra : S98-C2 C-2 (Arcilla)
Ubicación : Carretera Ex petroleros km. 3
Fecha de ensayo : 18/03/2019

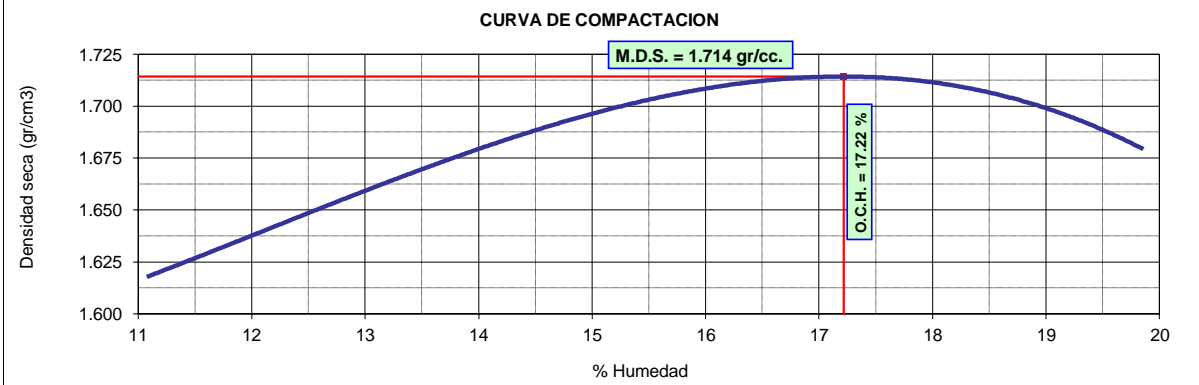
Resultados	
M. D. S.	1.714 gr/cm ³
O. C. H.	17.22 %
Clas. SUCS	MH
Clas. AASHTO	A-7-6 (15)

1.- Compactación

Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5854	5965	6048	6057
Peso molde (gr.)	4163	4163	4163	4163
Volumen del molde (cm)	941	941	941	941
Peso suelo compactado (gr.)	1691	1802	1885	1894
Densidad humeda (gr/cm)	1.797	1.915	2.003	2.013

2.- Humedad (%)

N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	100.16	121.57	124.58	110.46	95.08	113.09	104	115.92
Recipiente + suelo seco (gr.)	94.18	114.18	115.22	101.59	87.19	104.72	93.63	104.65
Peso de recipiente (gr.)	39.81	47.92	48.96	37.77	40.59	55.01	41.45	47.86
Peso de agua (gr.)	5.98	7.39	9.36	8.87	7.89	8.37	10.37	11.27
Peso de suelo seco (gr.)	54.37	66.26	66.26	63.82	46.60	49.71	52.18	56.79
Humedad (%)	11.00	11.15	14.13	13.90	16.93	16.84	19.87	19.85
Promedio Humedad (%)	11.08		14.01		16.88		19.86	
Densidad Seca (gr/cm)	1.618		1.680		1.714		1.679	



ESPECIFICACIONES : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.714 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 17.22 %.



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S98-C2 C-2

Datos de campo:

Muestra : S98-C2 C-2 (Arcilla) **M. D. S.** : 1.714 gr/cm3
 Ubicación : Carretera Ex petroleros km. 3 **O. C. H.** : 17.22 %
 Fecha de ensayo : 25/03/2019 **Clas. SUCS** : MH
Clas. AASHTO : A-7-6 (15)

Molde	Nº	14	24	20			
Capas	Nº	5	5	5			
Golpes por capa	Nº	12	25	56			
Condición de muestra		Hum. Óptima	Saturado	Hum. Óptima	Saturado	Hum. Óptima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12141	12701	12543	13010	12768	13062
Peso del molde	Gr.	8573	8573	8645	8645	8472	8472
Volúmen del suelo	c.c.	2118	2118	2120	2120	2117	2117
Peso del suelo húmedo	Gr.	3568	4128	3898	4365	4296	4590
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.685	1.949	1.838	2.059	2.029	2.168

HUMEDAD

Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	105.14	90.79	81.73	91.93	71.63	104.50
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	95.04	78.19	75.45	80.27	66.70	93.01
Peso de la Recipiente	Gr.	35.87	39.82	39.14	41.52	38.28	50.97
Peso del agua	Gr.	10.10	12.60	6.28	11.66	4.93	11.49
Peso del suelo seco	Gr.	59.17	38.37	36.31	38.75	28.42	42.04
Humedad	%	17.07	32.84	17.30	30.09	17.35	27.33
Densidad seca	Gr/c.c.	1.439	1.467	1.567	1.582	1.729	1.703

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
27 de Enero de 2019	12:00	0	0.008	0.00	0.001	0.00	0.005	0.00
28 de Enero de 2019	12:00	1	0.307	6.55	0.308	6.73	0.378	8.17
29 de Enero de 2019	12:00	2	0.315	0.18	0.314	0.13	0.4	0.48
30 de Enero de 2019	12:00	3	0.321	0.13	0.319	0.11	0.409	0.20
31 de Enero de 2019	12:00	4	0.325	0.09	0.324	0.11	0.418	0.20

PENETRACION

Penetración Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025	0.63	6.0	0.31	11.5	0.59	13.0	0.66
0.050	1.27	9.8	0.50	23.3	1.19	29.7	1.51
0.075	1.90	12.5	0.64	34.1	1.74	42.7	2.17
0.100	2.54	15.9	0.81	42.1	2.14	52.5	2.67
0.150	3.81	22.0	1.12	54.9	2.80	66.1	3.37
0.200	5.08	28.6	1.46	66.3	3.38	77.7	3.96
0.250	6.35	35.0	1.78	77.3	3.94	86.6	4.41
0.300	7.62	42.1	2.15	87.4	4.45	93.8	4.78

ANILLO : **CAPACIDAD** : **SOBRECARGA** : **K = 19.64 cm2**

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)

PROYECTO : “Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S98-C2 C-2

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)

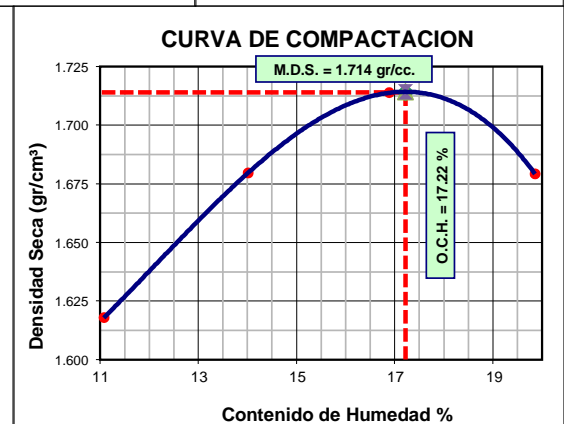
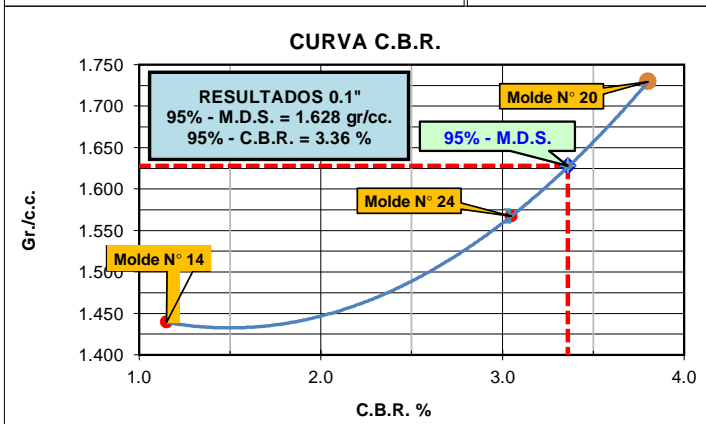
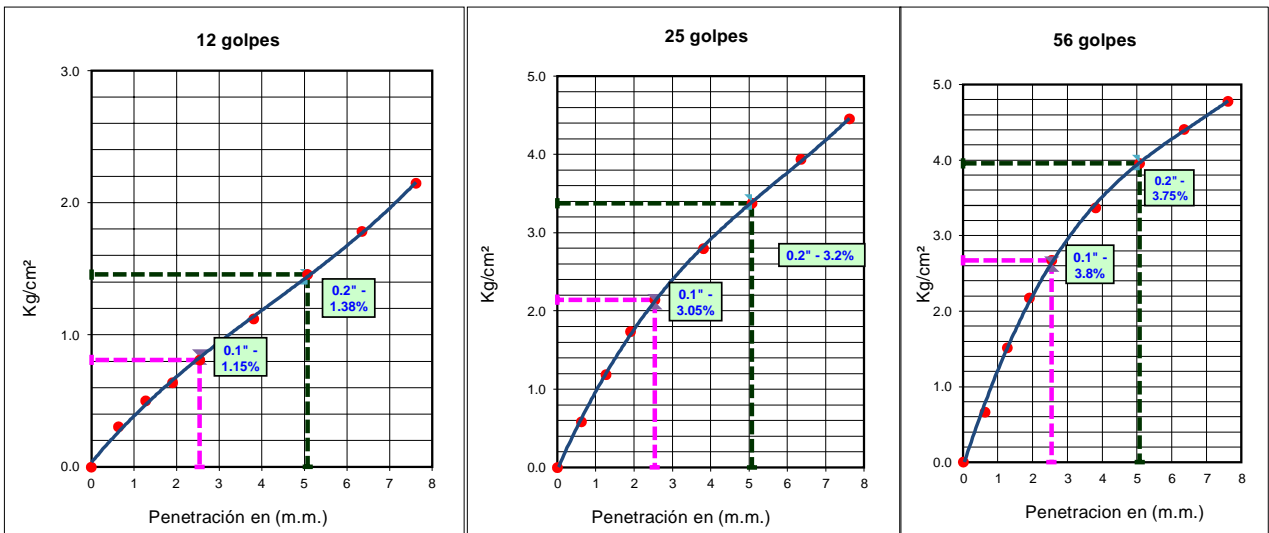
Datos de campo:

Muestra : S98-C2 C-2 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex petroleros km. 3
 Fecha de ensayo : 25/03/2019

Datos de Proctor

M.D.S. : 1.714 gr/cm³
 WO% : 17.22 %

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883			
Condición de la Muestra		4 días de saturación	
Sobrecarga		10.00 lbs.	
Hincharamiento promedio		7.69%	
C.B.R.	100% MDS	95% MDS	
0.1"	3.80	3.36	
0.2"			



OBSERVACIONES: La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D - 422

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

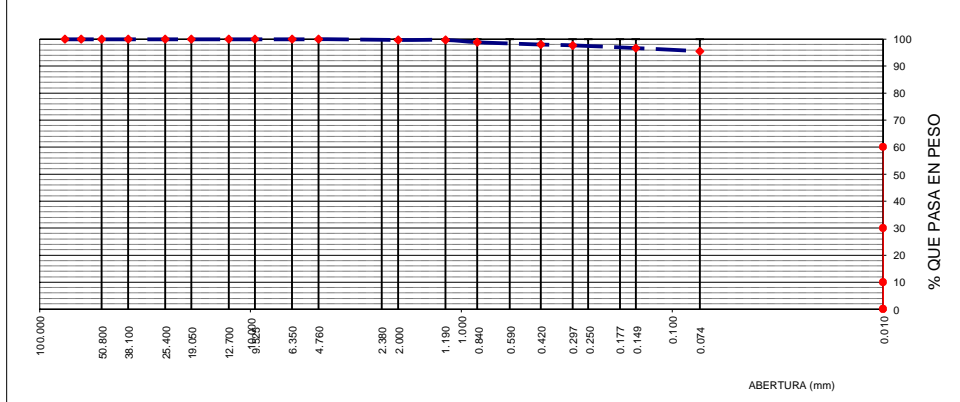
MUESTRA : S96-C4 C-2

Datos de campo:

Muestra : S96-C4 C-2 (arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex petroleros km. 3
 Fecha de ensayo : 11/03/2019
 Peso de muestra seca : 100.00
 Peso de muestra lavada : 4.45

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 54.64
2"	50.600						L. Plástico : 28.15
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 26.49
1"	25.400						Clas. SUCS : CH
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-7-6 (18)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.29	0.29	0.29	99.71		
Nº20	0.840	0.84	0.84	1.13	98.87		
Nº40	0.420	0.86	0.86	1.99	98.01		
Nº50	0.297	0.31	0.31	2.30	97.70		
Nº100	0.149	1.01	1.01	3.31	96.69		
Nº200	0.074	1.14	1.14	4.45	95.55		
Pasa Nº200		95.55	95.55				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color naranja, trasladada al laboratorio por el solicitante.

RESULTADOS : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-6 (18).
 El porcentaje que pasa la malla N° 200 es de 95.55 %

PROYECTO	“Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.
UBICACIÓN	San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto
TESISTAS	Jaime Luis Vásquez Zamora Christian Wilson Marin Garcia
MUESTRA	S96-C4 C-2

LIMITES DE CONSISTENCIA

Datos de Campo

Muestra S96-C4 C-2 (arcilla)
 Ubicación Carretera Ex petroleros km. 3
 Fecha de ensayo 13/03/2019

Resultados	
Límite Líquido	54.64
Límite Plástico	28.15
Ind. Plástico	26.49
Clas. SUCS	CH
Clas. AASHTO	A-7-6 (18)

Límite Líquido

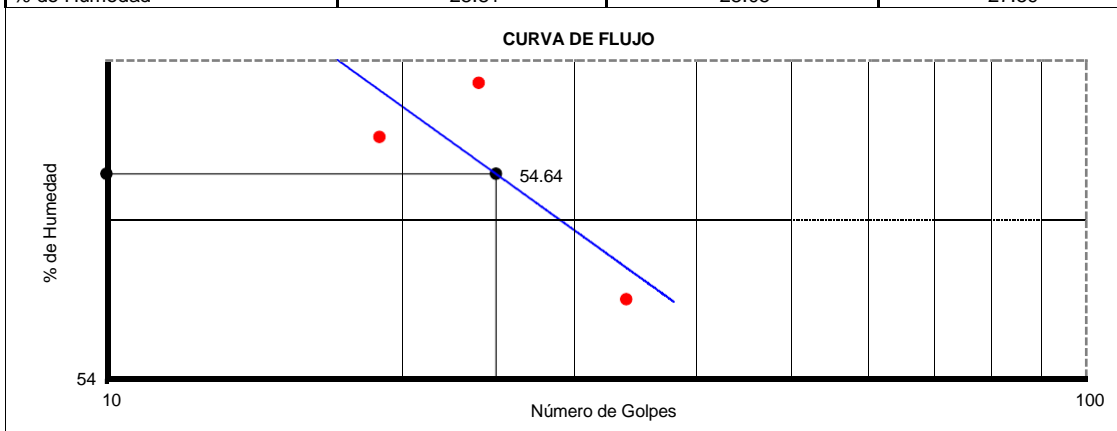
ASTM D 4318 - T 89

ENSAYO N°	1	2	3
Nº de Golpes	19	24	34
R + Suelo Hum.	47.37	44.55	44.54
R + Suelo Seco	45.01	42.71	42.88
Peso de la Tara	40.70	39.36	39.82
Peso de agua	2.36	1.84	1.66
Peso de S. Seco	4.31	3.35	3.06
% de Humedad	54.76	54.93	54.25

Límite Plástico

ASTM D 4318 - T 90

ENSAYO N°	1	2	3
R + Suelo Hum.	44.54	40.44	38.45
R + Suelo Seco	44.37	40.32	38.29
Peso de la Tara	43.78	39.91	37.71
Peso de agua	0.17	0.12	0.16
Peso de S. Seco	0.59	0.41	0.58
% de Humedad	28.81	28.05	27.59



- ESPECIFICACIONES** : Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para limite liquido y limite plástico ASTM D 4318 - T 90.
- OBSERVACIONES** : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color naranja, trasladada al laboratorio por el solicitante.
- RESULTADOS** : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-6 (18).
 En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 54.64, LP = 28.15 e IP = 26.49

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S96-C4 C-2

Datos de campo:

Muestra : S96-C4 C-2 (arcilla)
Ubicación : Carretera Ex petroleros km. 3
Fecha de ensayo : 18/03/2019

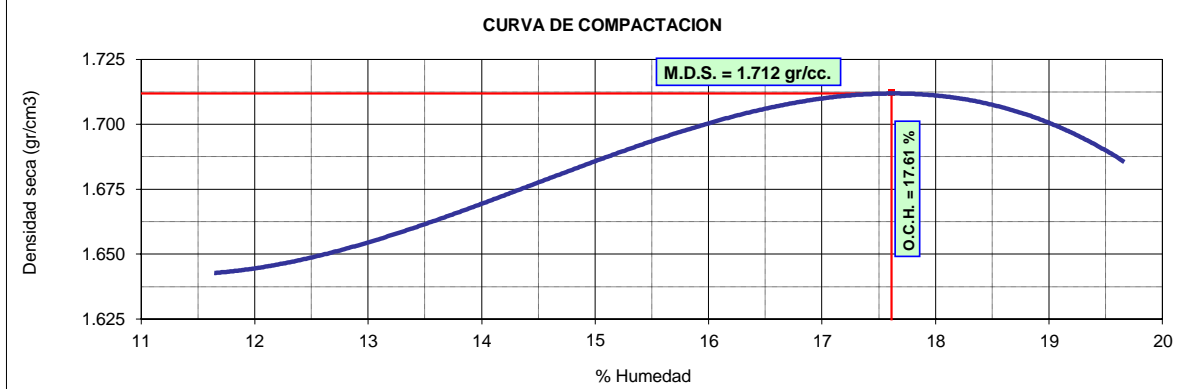
Resultados	
M. D. S.	1.712 gr/cm ³
O. C. H.	17.61 %
Clas. SUCS	CH
Clas. AASHTO	A-7-6 (18)

1.- Compactación

Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5883	5959	6040	6055
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159
Volumen del molde (cm)	940	940	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1724	1800	1881	1896
Densidad humeda (gr/cm)	1.834	1.915	2.001	2.017

2.- Humedad (%)

N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo humedo (gr.)	127.11	128	135.13	127.04	123.6	115.55	109.65	105.58
Recipiente + suelo seco (gr.)	118.54	119.79	124.78	115.62	111.56	104.25	100.3	96.07
Peso de recipiente (gr.)	45.99	48.24	50.5	38.1	40.78	37.87	51.87	48.58
Peso de agua (gr.)	8.57	8.21	10.35	11.42	12.04	11.30	9.35	9.51
Peso de suelo seco (gr.)	72.55	71.55	74.28	77.52	70.78	66.38	48.43	47.49
Humedad (%)	11.81	11.47	13.93	14.73	17.01	17.02	19.31	20.03
Promedio Humedad (%)	11.64		14.33		17.02		19.67	
Densidad Seca (gr/cm)	1.643		1.675		1.710		1.686	



ESPECIFICACIONES : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.712 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 17.61 %.



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S96-C4 C-2

Datos de campo:

Muestra : S96-C4 C-2 (arcilla) **M. D. S.** : 1.712 gr/cm3
 Ubicación : Carretera Ex petroleros km. 3 **O. C. H.** : 17.61 %
 Fecha de ensayo : 28/09/2018 **Clas. SUCS** : CH
Clas. AASHTO : A-7-6 (18)

Molde	Nº	25	19	15			
Capas	Nº	5	5	5			
Golpes por capa	Nº	12	25	56			
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12372	12918	12484	13057	12878	13277
Peso del molde	Gr.	8745	8745	8642	8642	8601	8601
Volúmen del suelo	c.c.	2124	2124	2123	2123	2131	2131
Peso del suelo húmedo	Gr.	3627	4173	3842	4415	4277	4676
Densidad húmeda	Gr/c.c	1.707	1.965	1.810	2.079	2.007	2.195

HUMEDAD

Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	160.62	110.71	111.30	103.59	90.66	101.15
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	144.16	95.16	102.40	90.31	83.41	87.59
Peso de la Recipiente	Gr.	49.57	48.86	49.11	47.33	41.78	38.48
Peso del agua	Gr.	16.46	15.55	8.90	13.28	7.25	13.56
Peso del suelo seco	Gr.	94.59	46.30	53.29	42.98	41.63	49.11
Humedad	%	17.40	33.59	16.70	30.90	17.42	27.61
Densidad seca	Gr/c.c.	1.454	1.471	1.551	1.589	1.710	1.720

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
27 de Enero de 2019	12:00	0	0	0.00	0.006	0.00	0.001	0.00
28 de Enero de 2019	12:00	1	0.239	5.24	0.224	4.78	0.349	7.63
29 de Enero de 2019	12:00	2	0.239	0.00	0.224	0.00	0.351	0.04
30 de Enero de 2019	12:00	3	0.239	0.00	0.225	0.02	0.351	0.00
31 de Enero de 2019	12:00	4	0.239	0.00	0.225	0.00	0.351	0.00

PENETRACION

Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025	0.63	20.5	1.04	15.5	0.79	22.1	1.13
0.050	1.27	35.3	1.80	42.5	2.16	53.2	2.71
0.075	1.90	46.9	2.39	65.5	3.34	80.1	4.08
0.100	2.54	58.4	2.97	86.6	4.41	104.7	5.33
0.150	3.81	76.1	3.87	122.8	6.25	164.1	8.36
0.200	5.08	92.0	4.68	169.1	8.61	204.5	10.41
0.250	6.35	105.6	5.38	220.1	11.21	252.9	12.88
0.300	7.62	119.5	6.09	251.9	12.83	290.6	14.79
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K =		19.64 cm2	

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
 (ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S96-C4 C-2

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
 (ASTM D-1883)

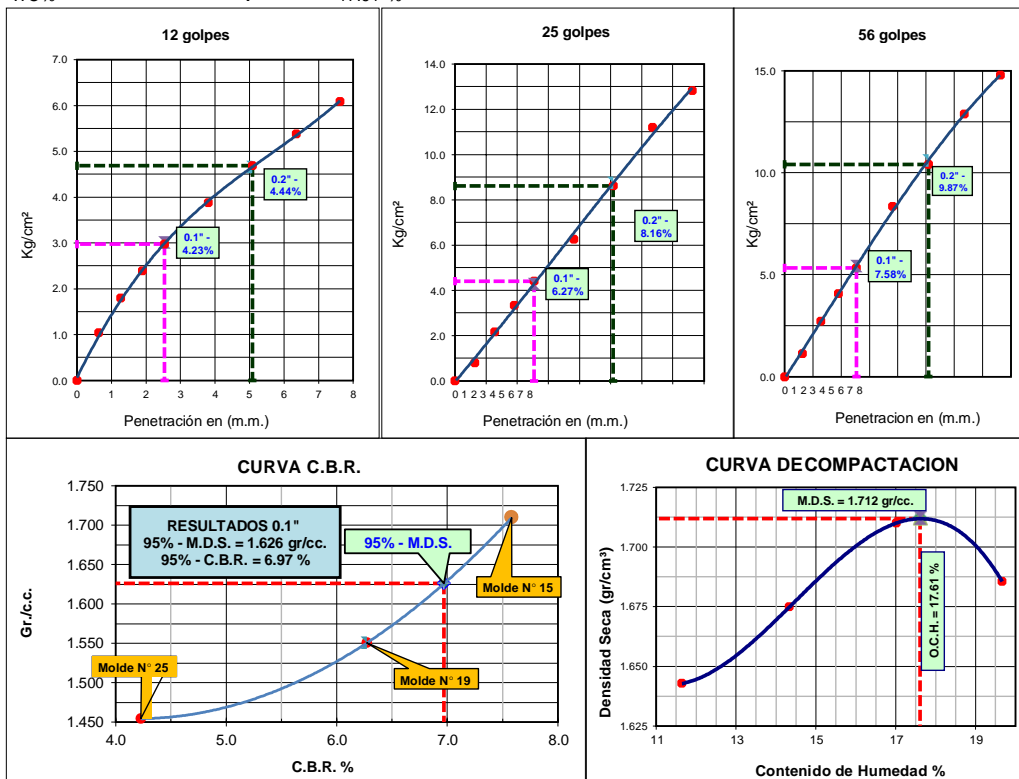
Datos de campo:

Muestra : S96-C4 C-2 (arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex petroleros km. 3
 Fecha de ensayo : 28/09/2018

Datos de Proctor

M.D.S. : 1.712 gr/cm³
 WO% : 17.61 %

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Condición de la Muestra	4 días de saturación	
Sobrecarga	10.00 lbs.	
Hinchamiento promedio	5.90%	
C.B.R.	100% MDS	95% MDS
0.1"	7.58	6.97
0.2"		



OBSERVACIONES: La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D - 422

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

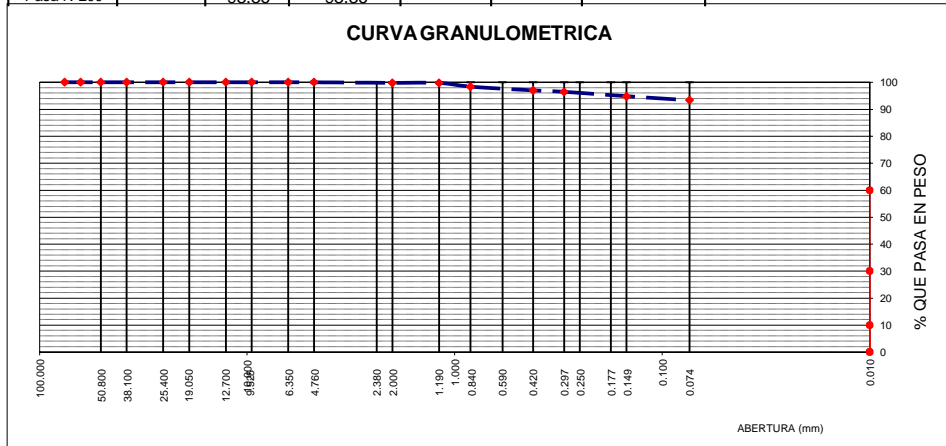
TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S94-C6 C-2

Datos de campo:

Muestra : S94-C6 C-2 (arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros km 3
 Fecha de ensayo : 11/03/2019
 Peso de muestra seca : 100.00
 Peso de muestra lavada : 6.64

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 55.29
2"	50.600						L. Plástico : 32.11
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 23.17
1"	25.400						Clas. SUCS : MH
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-7-5 (16)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.20	0.20	0.20	99.80		
Nº20	0.840	1.40	1.40	1.60	98.40		
Nº40	0.420	1.40	1.40	3.00	97.00		
Nº50	0.297	0.51	0.51	3.51	96.49		
Nº100	0.149	1.63	1.63	5.14	94.86		
Nº200	0.074	1.50	1.50	6.64	93.36		
Pasa Nº200		93.36	93.36				



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color naranja, trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : Arcilla orgánica, húmeda, porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (MH) A-7-5(16).
 El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 93.36 %

PROYECTO	“Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.
UBICACIÓN	San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto
TESISTAS	Jaime Luis Vásquez Zamora Christian Wilson Marin Garcia
MUESTRA	S94-C6 C-2

LIMITES DE CONSISTENCIA

Datos de Campo

Muestra S94-C6 C-2 (arcilla)
 Ubicación Carretera Ex Petroleros km 3
 Fecha de ensayo 13/03/2019

Resultados	
Límite Líquido	55.29
Límite Plástico	32.11
Ind. Plástico	23.17
Clas. SUCS	MH
Clas. AASHTO	A-7-5 (16)

Límite Líquido

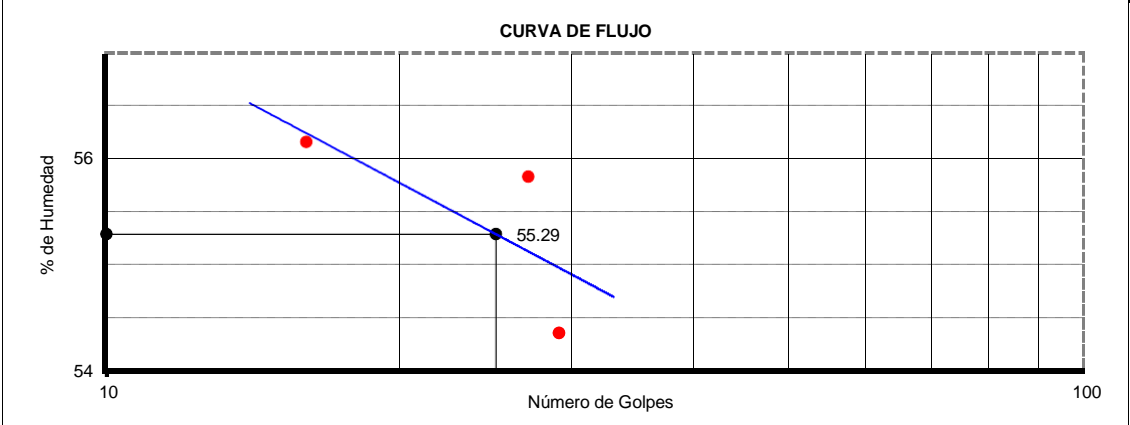
ASTM D 4318 - T 89

ENSAYO N°	1	2	3
N° de Golpes	16	27	29
R + Suelo Hum.	58.51	60.59	42.24
R + Suelo Seco	56.82	58.96	40.93
Peso de la Tara	53.81	56.04	38.52
Peso de agua	1.69	1.63	1.31
Peso de S. Seco	3.01	2.92	2.41
% de Humedad	56.15	55.82	54.36

Límite Plástico

ASTM D 4318 - T 90

ENSAYO N°	1	2	3
R + Suelo Hum.	47.82	48.29	39.24
R + Suelo Seco	47.65	48.06	39.06
Peso de la Tara	47.13	47.33	38.50
Peso de agua	0.17	0.23	0.18
Peso de S. Seco	0.52	0.73	0.56
% de Humedad	32.69	31.51	32.14



- ESPECIFICACIONES** : Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para limite liquido y limite plástico ASTM D 4318 - T 90.
- OBSERVACIONES** : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color naranja, trasladada al laboratorio.
- RESULTADOS** : Arcilla orgánica, húmeda, porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (MH) A-7-5(16).
 En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 55.29, LP = 32.11 e IP = 23.17

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

ENTIDAD : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S94-C6 C-2

Datos de campo:

Muestra : S94-C6 C-2 (arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros km 3
 Fecha de ensayo : 18/03/2019

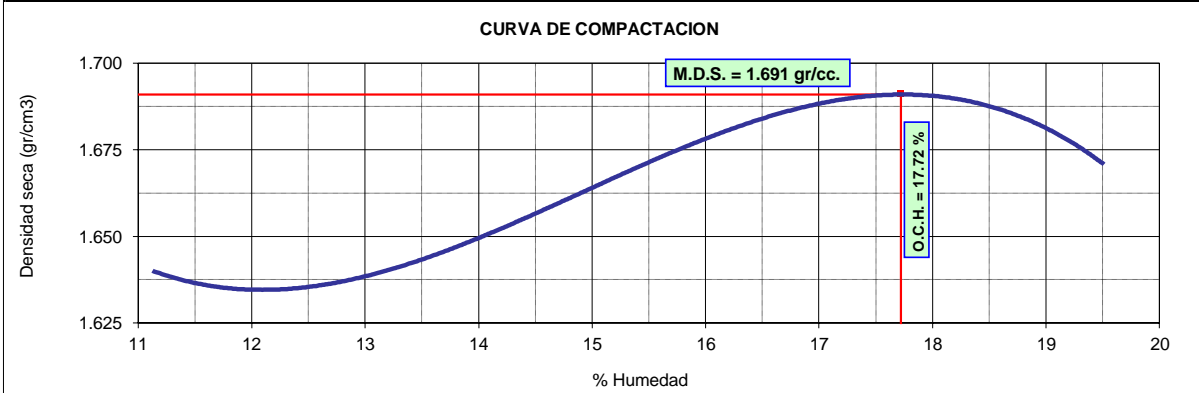
Resultados	
M. D. S.	1.691 gr/cm ³
O. C. H.	17.72 %
Clas. SUCS	MH
Clas. AASHTO	A-7-5 (16)

1.- Compactación

Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5878	5930	6010	6042
Peso molde (gr.)	4163	4163	4163	4163
Volumen del molde (cm ³)	941	941	941	941
Peso suelo compactado (gr.)	1715	1767	1847	1879
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.823	1.878	1.963	1.997

2.- Humedad (%)

N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	141.68	140.79	131.48	147.34	134.9	146.79	137.41	118.09
Recipiente + suelo seco (gr.)	132.61	131.79	120.15	135.29	122.81	132.39	121.56	105.12
Peso de recipiente (gr.)	51.87	50.11	38.68	48.76	48.57	46.58	40.78	38.28
Peso de agua (gr.)	9.07	9.00	11.33	12.05	12.09	14.40	15.85	12.97
Peso de suelo seco (gr.)	80.74	81.68	81.47	86.53	74.24	85.81	80.78	66.84
Humedad (%)	11.23	11.02	13.91	13.93	16.29	16.78	19.62	19.40
Promedio Humedad (%)	11.13		13.92		16.53		19.51	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.640		1.648		1.684		1.671	



ESPECIFICACIONES : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.691 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 17.72%.



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

ENTIDAD : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S94-C6 C-2

Datos de campo:

Muestra : S94-C6 C-2 (arcilla) **M. D. S.** : 1.691 gr/cm3
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros km 3 **O. C. H.** : 17.72 %
 Fecha de ensayo : 25/03/2019 **Clas. SUCS** : MH
Clas. AASHTO : A-7-5 (16)

Molde	Nº	7	2	13			
Capas	Nº	5	5	5			
Golpes por capa	Nº	12	25	56			
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12291	12760	12361	12690	12794	13003
Peso del molde	Gr.	8792	8792	8500	8500	8635	8635
Volúmen del suelo	c.c.	2120	2120	2119	2119	2121	2121
Peso del suelo húmedo	Gr.	3499	3968	3861	4190	4159	4368
Densidad húmeda	Gr/c.c	1.651	1.872	1.822	1.978	1.961	2.059

HUMEDAD

Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	100.72	100.18	87.02	114.93	98.30	111.33
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	91.75	85.71	80.02	103.58	91.07	98.93
Peso de la Recipiente	Gr.	39.82	40.64	39.93	56.76	48.94	42.95
Peso del agua	Gr.	8.97	14.47	7.00	11.35	7.23	12.40
Peso del suelo seco	Gr.	51.93	45.07	40.09	46.82	42.13	55.98
Humedad	%	17.27	32.11	17.46	24.24	17.16	22.15
Densidad seca	Gr/c.c.	1.408	1.417	1.552	1.592	1.673	1.686

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión	Dial	Expansión	Dial	Expansión
		días	(pulg.)	%	(pulg.)	%	(pulg.)	%
27 de Enero de 2019	12:00	0	0.004	0.00	0.002	0.00	0.001	0.00
28 de Enero de 2019	12:00	1	0.296	6.40	0.267	5.81	0.232	5.06
29 de Enero de 2019	12:00	2	0.302	0.13	0.276	0.20	0.236	0.09
30 de Enero de 2019	12:00	3	0.305	0.07	0.277	0.02	0.236	0.00
31 de Enero de 2019	12:00	4	0.305	0.00	0.277	0.00	0.236	0.00

PENETRACION

Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025	0.63	28.2	1.44	27.4	1.40	30.4	1.55
0.050	1.27	56.4	2.87	51.1	2.60	60.1	3.06
0.075	1.90	78.6	4.00	78.6	4.00	84.1	4.28
0.100	2.54	103.1	5.25	110.9	5.65	122.8	6.25
0.150	3.81	135.0	6.87	168.4	8.57	194.3	9.89
0.200	5.08	168.8	8.59	226.3	11.52	259.1	13.19
0.250	6.35	200.3	10.20	278.5	14.18	320.5	16.32
0.300	7.62	237.9	12.11	323.4	16.46	351.8	17.91
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K =		19.64 cm2	

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
 (ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

ENTIDAD : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S94-C6 C-2

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
 (ASTM D-1883)

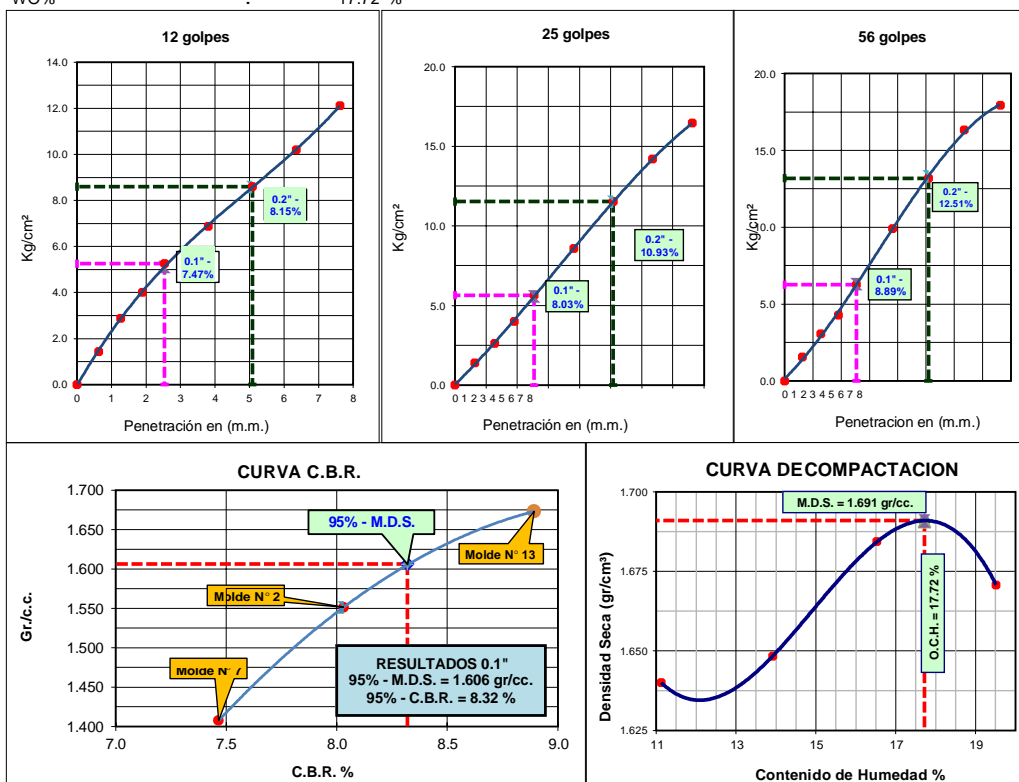
Datos de campo:

Muestra : S94-C6 C-2 (arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros km 3
 Fecha de ensayo : 25/03/2019

Datos de Proctor

M.D.S. : 1.691 gr/cm3
 WO% : 17.72 %

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Condición de la Muestra		4 días de saturación
Sobrecarga		10.00 lbs.
Hinchamiento promedio		5.92%
C.B.R.	100% MDS	95% MDS
0.1"	8.89	8.32
0.2"		



OBSERVACIONES: La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D - 422

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

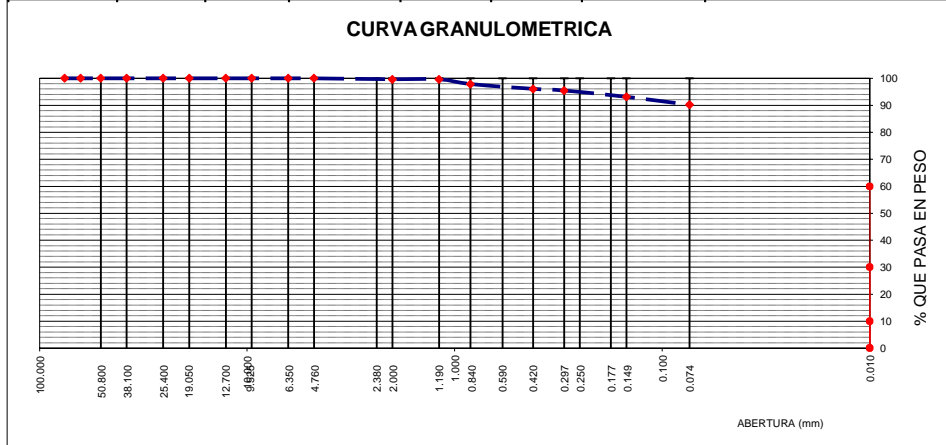
TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S92-C8 C-2

Datos de campo:

Muestra : S92-C8 C-2 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros km 3
 Fecha de ensayo : 11/03/2019
 Peso de muestra seca : 100.00
 Peso de muestra lavada : 9.75

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 55.26
2"	50.600						L. Plástico : 38.09
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 17.17
1"	25.400						Clas. SUCS : MH
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-7-5 (14)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.31	0.31	0.31	99.69		
Nº20	0.840	1.81	1.81	2.12	97.88		
Nº40	0.420	1.77	1.77	3.89	96.11		
Nº50	0.297	0.62	0.62	4.51	95.49		
Nº100	0.149	2.35	2.35	6.86	93.14		
Nº200	0.074	2.89	2.89	9.75	90.25		
Pasa Nº200		90.25	90.25				



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color naranja, trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : Arcilla limosa, húmeda, porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (MH) A-7-5(14).
El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 90.25 %

PROYECTO	“Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.
UBICACIÓN	San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto
TESISTAS	Jaime Luis Vásquez Zamora Christian Wilson Marin Garcia
MUESTRA	S92-C8 C-2

LIMITES DE CONSISTENCIA

Datos de Campo

Muestra S92-C8 C-2 (Arcilla)
 Ubicación Carretera Ex Petroleros km 3
 Fecha de ensayo 13/03/2019

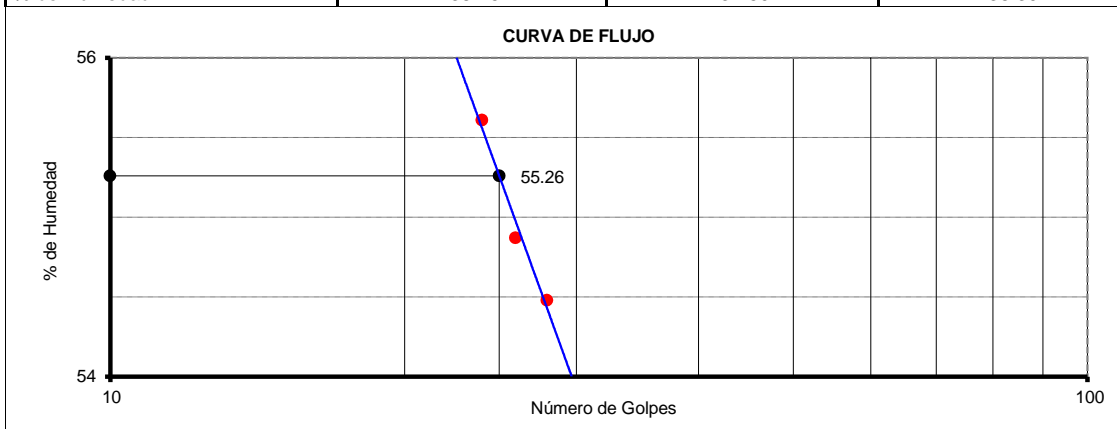
Resultados	
Límite Líquido	55.26
Límite Plástico	38.09
Ind. Plástico	17.17
Clas. SUCS	MH
Clas. AASHTO	A-7-5 (14)

Límite Líquido ASTM D 4318 - T 89

ENSAYO Nº	1	2	3
Nº de Golpes	24	26	28
R + Suelo Hum.	44.83	44.16	60.81
R + Suelo Seco	42.55	42.47	59.35
Peso de la Tara	38.45	39.39	56.67
Peso de agua	2.28	1.69	1.46
Peso de S. Seco	4.10	3.08	2.68
% de Humedad	55.61	54.87	54.48

Límite Plástico ASTM D 4318 - T 90

ENSAYO Nº	1	2	3
R + Suelo Hum.	47.71	51.91	40.08
R + Suelo Seco	47.51	51.76	39.90
Peso de la Tara	46.99	51.36	39.43
Peso de agua	0.20	0.15	0.18
Peso de S. Seco	0.52	0.40	0.47
% de Humedad	38.46	37.50	38.30



- ESPECIFICACIONES** : Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para limite liquido y limite plástico ASTM D 4318 - T 90.
- OBSERVACIONES** : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color naranja, trasladada al laboratorio.
- RESULTADOS** : Arcilla limosa, húmeda, porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (MH) A-7-5(14).
 En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 55.26, LP = 38.09 e IP = 17.17

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

ENTIDAD : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S92-C8 C-2

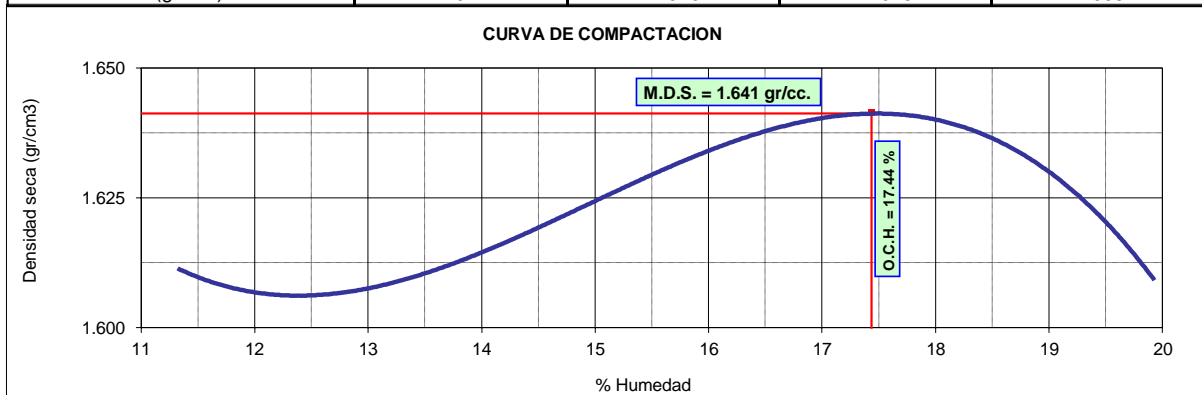
Datos de campo:		Resultados	
Muestra	: S92-C8 C-2 (Arcilla)	M. D. S.	1.641 gr/cm ³
Ubicación	: Carretera Ex Petroleros km 3	O. C. H.	17.44 %
Fecha de ensayo	: 18/03/2019	Clas. SUCS	MH
		Clas. AASHTO	A-7-5 (14)

1.- Compactación

Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5851	5898	5967	5979
Peso molde (gr.)	4163	4163	4163	4163
Volumen del molde (cm)	941	941	941	941
Peso suelo compactado (gr.)	1688	1735	1804	1816
Densidad humeda (gr/cm)	1.794	1.844	1.917	1.930

2.- Humedad (%)

Nº Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	107.14	112.62	120.70	112.80	126.21	136.89	142.28	106.10
Recipiente + suelo seco (gr.)	101.20	106.33	110.70	103.62	113.45	122.97	127.22	94.93
Peso de recipiente (gr.)	48.96	50.52	39.33	39.13	37.78	40.78	51.87	38.72
Peso de agua (gr.)	5.94	6.29	10.00	9.18	12.76	13.92	15.06	11.17
Peso de suelo seco (gr.)	52.24	55.81	71.37	64.49	75.67	82.19	75.35	56.21
Humedad (%)	11.37	11.27	14.01	14.23	16.86	16.94	19.99	19.87
Promedio Humedad (%)	11.32		14.12		16.90		19.93	
Densidad Seca (gr/cm)	1.611		1.616		1.640		1.609	



ESPECIFICACIONES : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.641 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 17.44 %.



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

ENTIDAD : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S92-C8 C-2

Datos de campo:

Muestra : S92-C8 C-2 (Arcilla) **M. D. S.** : 1.641 gr/cm3
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros km 3 **O. C. H.** : 17.44 %
 Fecha de ensayo : 25/03/2019 **Clas. SUCS** : MH
Clas. AASHTO : A-7-5 (14)

Molde	Nº	23	20	22			
Capas	Nº	5	5	5			
Golpes por capa	Nº	12	25	56			
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12065	12628	12192	12660	12698	12959
Peso del molde	Gr.	8652	8652	8472	8472	8623	8623
Volúmen del suelo	c.c.	2125	2125	2117	2117	2116	2116
Peso del suelo húmedo	Gr.	3413	3976	3720	4188	4075	4336
Densidad húmeda	Gr/c.c	1.606	1.871	1.757	1.978	1.926	2.049

HUMEDAD

Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	115.73	105.14	146.82	106.06	114.61	97.72
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	105.94	88.81	132.09	91.31	104.87	84.69
Peso de la Recipiente	Gr.	50.50	38.45	48.23	45.27	48.06	38.06
Peso del agua	Gr.	9.79	16.33	14.73	14.75	9.74	13.03
Peso del suelo seco	Gr.	55.44	50.36	83.86	46.04	56.81	46.63
Humedad	%	17.66	32.43	17.56	32.04	17.14	27.94
Densidad seca	Gr/c.c.	1.365	1.413	1.495	1.498	1.644	1.602

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
7 de Febrero de 2019	12:00	0	0.002	0.00	0.007	0.00	0.001	0.00
8 de Febrero de 2019	12:00	1	0.268	5.83	0.256	5.46	0.162	3.53
9 de Febrero de 2019	12:00	2	0.278	0.22	0.289	0.72	0.164	0.04
10 de Febrero de 2019	12:00	3	0.280	0.04	0.302	0.28	0.164	0.00
11 de Febrero de 2019	12:00	4	0.280	0.00	0.303	0.02	0.164	0.00

PENETRACION

Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025	0.63	25.6	1.30	43.5	2.21	56.3	2.87
0.050	1.27	55.7	2.84	85.3	4.34	98.3	5.01
0.075	1.90	88.2	4.49	118.7	6.04	132.5	6.75
0.100	2.54	119.7	6.09	148.7	7.57	161.2	8.21
0.150	3.81	185.2	9.43	209.2	10.65	204.5	10.41
0.200	5.08	244.8	12.46	270.5	13.77	243.0	12.37
0.250	6.35	302.9	15.42	324.1	16.50	272.2	13.86
0.300	7.62	352.3	17.94	377.6	19.23	303.0	15.43
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm2			

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

ENTIDAD : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S92-C8 C-2

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

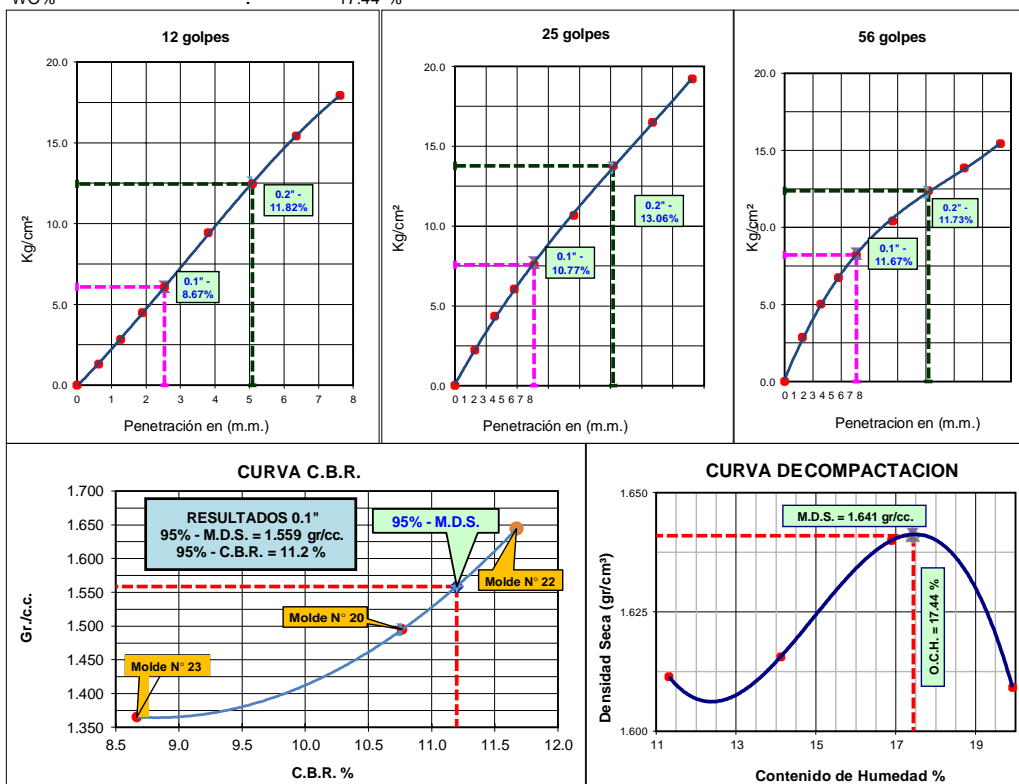
Datos de campo:

Muestra : S92-C8 C-2 (Arcilla)
 Ubicación : Carretera Ex Petroleros km 3
 Fecha de ensayo : 25/03/2019

Datos de Proctor

M.D.S. : 1.641 gr/cm3
 WO% : 17.44 %

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Condición de la Muestra		4 días de saturación
Sobrecarga		10.00 lbs.
Hinchamiento promedio		5.38%
C.B.R.	100% MDS	95% MDS
0.1"	11.67	11.20
0.2"		



OBSERVACIONES:

La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D - 422

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
 Christian Wilson Marin Garcia

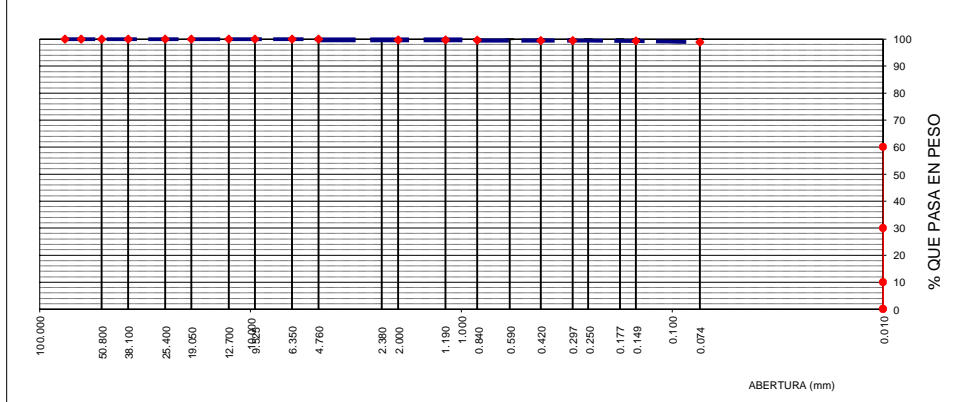
MUESTRA : S100 C-2

Datos de campo:

Muestra : S100-C0 C-2(Arcilla)
 Ubicación : Carretera ex Petrolero km 3
 Fecha de ensayo : 11/03/2019
 Peso de muestra seca : 106.38
 Peso de muestra lavada : 1.19

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 53.00
2"	50.600						L. Plástico : 26.89
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 26.11
1"	25.400						Clas. SUCS : CH
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-7-6 (17)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.20	0.19	0.19	99.81		
Nº20	0.840	0.22	0.21	0.39	99.61		
Nº40	0.420	0.10	0.09	0.49	99.51		
Nº60	0.297	0.05	0.05	0.54	99.46		
Nº100	0.149	0.19	0.18	0.71	99.29		
Nº200	0.074	0.43	0.40	1.12	98.88		
Pasa Nº200		105.19	98.88				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color naranja, trasladada al laboratorio por el solicitante.

RESULTADOS : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-6 (17).
 El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 98.88 %



PROYECTO	“Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto”.
UBICACIÓN	San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto
TESISTAS	Jaime Luis Vásquez Zamora Christian Wilson Marin Garcia
MUESTRA	S100 C-2

LIMITES DE CONSISTENCIA

Datos de Campo

Muestra S100-C0 C-2(Arcilla)
 Ubicación Carretera ex Petrolero km 3
 Fecha de ensayo 13/03/2019

Resultados	
Límite Líquido	53.00
Límite Plástico	26.89
Ind. Plástico	26.11
Clas. SUCS	CH
Clas. AASHTO	A-7-6 (17)

Límite Líquido

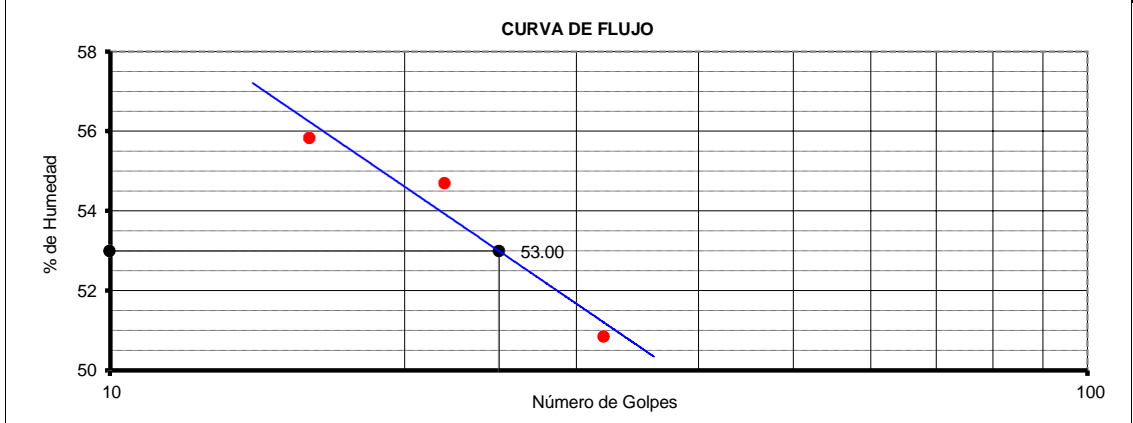
ASTM D 4318 - T 89

ENSAYO N°	1	2	3
N° de Golpes	16	22	32
R + Suelo Hum.	52.64	63.75	47.86
R + Suelo Seco	49.62	58.04	45.48
Peso de la Tara	44.21	47.60	40.80
Peso de agua	3.02	5.71	2.38
Peso de S. Seco	5.41	10.44	4.68
% de Humedad	55.82	54.69	50.85

Límite Plástico

ASTM D 4318 - T 90

ENSAYO N°	1	2	3
R + Suelo Hum.	41.36	38.64	52.08
R + Suelo Seco	41.03	38.36	51.85
Peso de la Tara	39.81	37.33	50.98
Peso de agua	0.33	0.28	0.23
Peso de S. Seco	1.22	1.03	0.87
% de Humedad	27.05	27.18	26.44



- ESPECIFICACIONES** : Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para limite liquido y limite plástico ASTM D 4318 - T 90.
- OBSERVACIONES** : El material empleado en este ensayo, corresponde a arcilla de color naranja, trasladada al laboratorio por el solicitante.
- RESULTADOS** : Arcilla inorgánica, de color blanco, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de alta plasticidad, clasificada como (CH) A-7-6 (17).
 En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 53, LP = 26.89 e IP = 26.11

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S100 C-2

Datos de campo:

Muestra : S100-C0 C-2(Arcilla)
Ubicación : Carretera ex Petrolero km 3
Fecha de ensayo : 18/03/2019

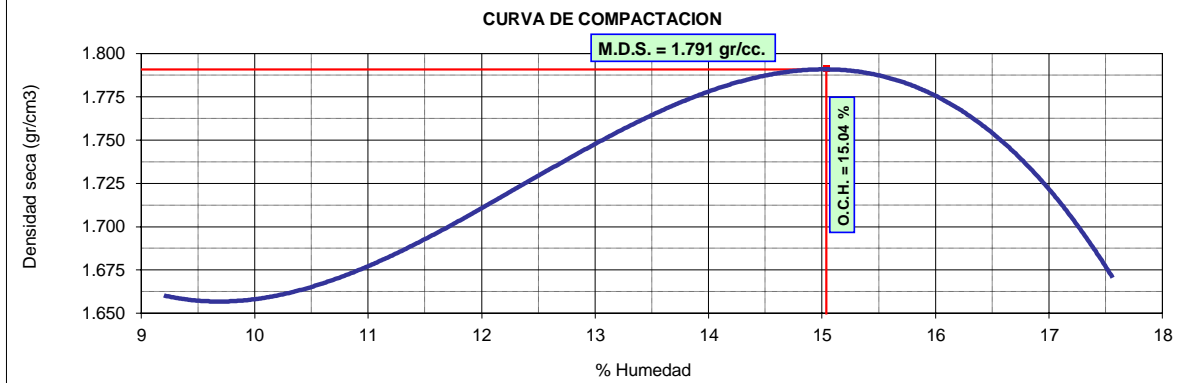
Resultados	
M. D. S.	1.791 gr/cm ³
O. C. H.	15.04 %
Clas. SUCS	CH
Clas. AASHTO	A-7-6 (17)

1.- Compactación

Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5869	5963	6102	6011
Peso molde (gr.)	4163	4163	4163	4163
Volumen del molde (cm)	941	941	941	941
Peso suelo compactado (gr.)	1706	1800	1939	1848
Densidad húmeda (gr/cm)	1.813	1.913	2.061	1.964

2.- Humedad (%)

N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	117.15	121.54	104.52	102.49	132.07	133.13	103.02	107.6
Recipiente + suelo seco (gr.)	111.25	115.4	97.42	95.57	119.81	123.43	93.48	97.74
Peso de recipiente (gr.)	46.83	48.96	37.78	37.88	39.54	58.13	38.98	41.78
Peso de agua (gr.)	5.90	6.14	7.10	6.92	12.26	9.70	9.54	9.86
Peso de suelo seco (gr.)	64.42	66.44	59.64	57.69	80.27	65.30	54.50	55.96
Humedad (%)	9.16	9.24	11.90	12.00	15.27	14.85	17.50	17.62
Promedio Humedad (%)	9.20		11.95		15.06		17.56	
Densidad Seca (gr/cm)	1.660		1.709		1.791		1.670	



ESPECIFICACIONES : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.791 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 15.04 %.



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S100 C-2

Datos de campo:

Muestra : S100-C0 C-2(Arcilla) **M. D. S.** : 1.791 gr/cm3
 Ubicación : Carretera ex Petrolero km 3 **O. C. H.** : 15.04 %
 Fecha de ensayo : 25/03/2019 **Clas. SUCS** : CH
Clas. AASHTO : A-7-6 (17)

Molde	Nº	13	6	9			
Capas	Nº	5	5	5			
Golpes por capa	Nº	12	25	56			
Condición de muestra							
		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12186	12717	12531	13994	12779	13142
Peso del molde	Gr.	8635	8635	8613	8613	8512	8512
Volúmen del suelo	c.c.	2121	2121	2120	2120	2118	2118
Peso del suelo húmedo	Gr.	3551	4082	3918	5381	4267	4630
Densidad húmeda	Gr/c.c	1.674	1.924	1.848	2.539	2.015	2.186

HUMEDAD

Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	172.67	115.40	201.10	107.23	179.96	97.72
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	155.52	96.20	181.25	91.98	162.96	84.69
Peso de la Recipiente	Gr.	40.69	39.52	49.58	39.29	50.11	38.06
Peso del agua	Gr.	17.15	19.20	19.85	15.25	17.00	13.03
Peso del suelo seco	Gr.	114.83	56.68	131.67	52.69	112.85	46.63
Humedad	%	14.94	33.87	15.08	28.94	15.06	27.94
Densidad seca	Gr/c.c.	1.456	1.437	1.606	1.969	1.751	1.709

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
7 de Febrero de 2019	12:00	0	0.006	0.00	0.009	0.00	0.006	0.00
8 de Febrero de 2019	12:00	1	0.31	6.66	0.371	7.93	0.267	5.72
9 de Febrero de 2019	12:00	2	0.315	0.11	0.379	0.18	0.366	2.17
10 de Febrero de 2019	12:00	3	0.318	0.07	0.379	0.00	0.42	1.18
11 de Febrero de 2019	12:00	4	0.318	0.00	0.382	0.07	0.437	0.37

PENETRACION

Penetración Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025	0.63	9.9	0.50	11.4	0.58	8.7	0.44
0.050	1.27	18.5	0.94	23.5	1.20	20.4	1.04
0.075	1.90	24.7	1.26	34.1	1.74	36.0	1.83
0.100	2.54	29.6	1.51	45.1	2.30	52.9	2.69
0.150	3.81	39.9	2.03	63.4	3.23	82.9	4.22
0.200	5.08	48.0	2.44	79.2	4.03	102.6	5.22
0.250	6.35	55.8	2.84	90.5	4.61	116.1	5.91
0.300	7.62	64.6	3.29	99.7	5.07	126.2	6.43
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm2			

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto".

UBICACIÓN : San Juan Bautista - Provincia de Maynas - Departamento de Loreto

TESISTAS : Jaime Luis Vásquez Zamora
Christian Wilson Marin Garcia

MUESTRA : S100 C-2

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

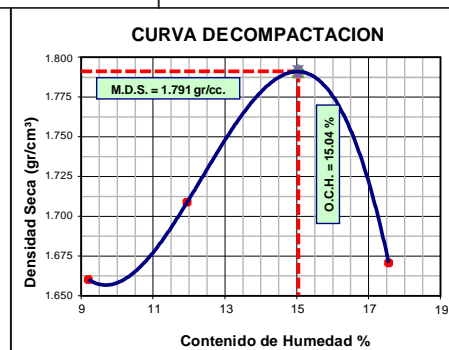
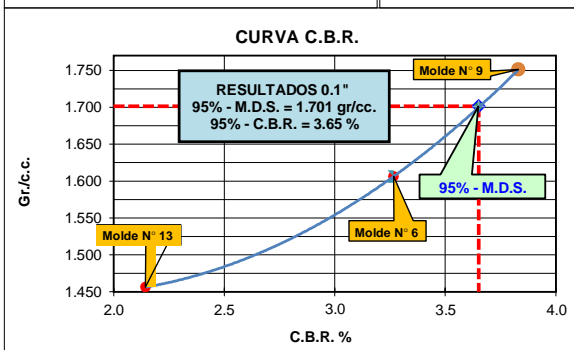
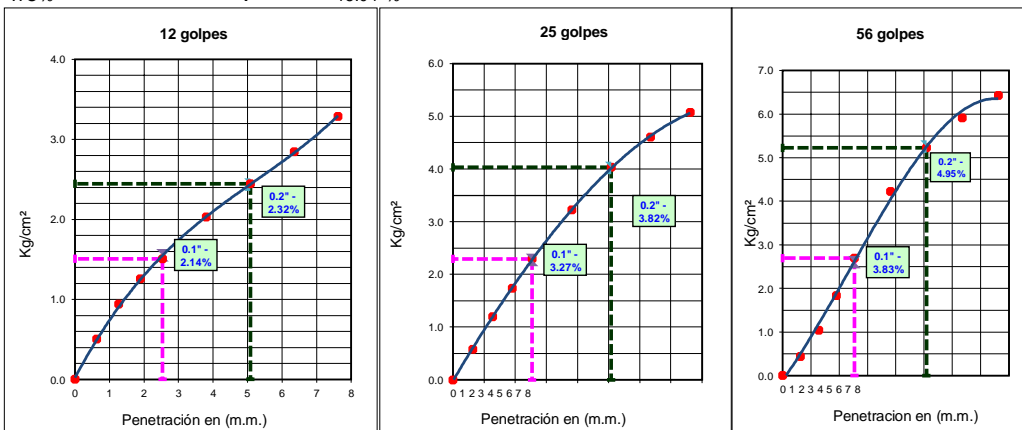
Datos de campo:

Muestra : S100-C0 C-2(Arcilla)
 Ubicación : Carretera ex Petrolero km 3
 Fecha de ensayo : 25/03/2019

Datos de Proctor

M.D.S. : 1.791 gr/cm³
 WO% : 15.04 %

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Condición de la Muestra	4 días de saturación	
Sobrecarga	10.00 lbs.	
Hinchamiento promedio	8.15%	
C.B.R.	100% MDS	95% MDS
0.1"	3.83	3.65
0.2"		



OBSERVACIONES:

La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.

ANEXO N° 3. REGISTROS DE ENSAYOS QUÍMICOS

ENSAYO DETERMINACIÓN DEL PH



UNAP

Facultad de
Ingeniería Química

RESULTADO DE ANALISIS

MUESTRA TESIS	SUELO "EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN SELVA BAJA. APLICACIÓN CARRETERA EX PETROLEROS, LORETO"
UBICACIÓN	Km 03 de la carretera Ex Petroleros, carretera Iquitos – Nauta Km 41.5
FECHA DE ANALISIS	13 de Febrero del 2019.

MUESTRAS	pH*
Calicata 1	
- Natural	4,58
- 2% de Cal	10,32
- 4% de Cal	11,82
- 6% de Cal	12,17
- 8% de Cal	12,42
Calicata 2	
- Natural	5,05
- 2% de Cal	7,41
- 4% de Cal	10,66
- 6% de Cal	11,75
- 8% de Cal	12,16

*Nota: El método aplicado es la NTP 339.176

Iquitos, 13 de Febrero del 2019.


Laura Rosa García Panduro
Ingeniera Química
Reg. CIP 23792

ENSAYO DE MATERIA ORGÁNICA



UNAP

Facultad de
Ingeniería Química

RESULTADO DE ANALISIS

MUESTRA TESIS	SUELO "EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN SELVA BAJA. APLICACIÓN CARRETERA EX PETROLEROS, LORETO"
UBICACIÓN	Km 03 de la carretera Ex Petroleros, carretera Iquitos – Nauta Km 41.5
FECHA DE ANALISIS	30 – 31 de Mayo del 2019.

MUESTRAS	Materia Orgánica, %
Calicata 1	4,03
Calicata 2	3,80

Iquitos, 01 de Junio del 2019.

Laura Rosa García Panduro
Ingeniero Químico
Reg. CIP 23792

ANEXO N° 4. PANEL FOTOGRÁFICO

A. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Foto N° 4. Carretera ExPetroleros.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 5. Carretera ExPetroleros.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 6. Excavación Calicata.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 7. Recolección de las muestras de suelos en la carretera ExPetroleros.



Fuente: Los Autores. (2019).

B. HUMEDAD NATURAL Y SECADO DE SUELO.

Foto N° 8. Determinación de la humedad natural de los suelos de ambas calicatas.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 9. Pesado de las muestras para determinación de la humedad natural del suelo.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 10. Secado de las muestras de suelo extraído.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 11. Suelo seco Calicata N° 01



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 12. Suelo seco Calicata N° 02.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 13. Combinación de suelos arcilloso con diferentes porcentajes de cal, para ensayos de granulometría y límites de Atterberg.



Fuente: Los Autores. (2019).

C. EJECUCIÓN ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Foto N° 14. Lavado del material con el tamiz de malla N° 200.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 15. Tamizado de diferentes combinaciones de suelo y cal.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 16. Pesado de suelo retenido en cada tamiz.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 17. Copa de Casagrande para ejecución de ensayos de límite líquido.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 18. Uso de la Copa de Casagrande.



Fuente: Los Autores. (2019).

D. EJECUCIÓN ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO.

Foto N° 19. Pesado de la cal a ser utilizada en cada combinación de suelo.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 20. Combinación de suelos arcillosos con dosis de cal.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 21. Pesado de los diferentes porcentajes de agua a ser utilizada.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 22. Pesado de suelo a utilizarse en cada molde de Proctor.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 23. Muestras de suelo combinadas con porcentaje de cal, para ser combinados con porcentajes de agua.



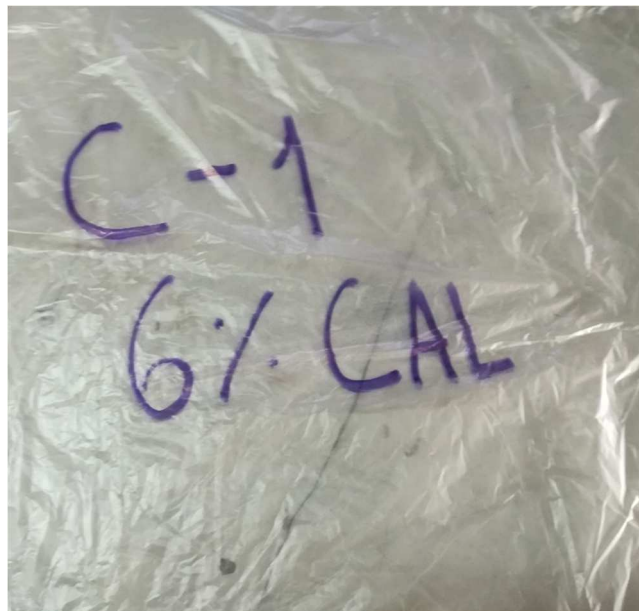
Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 24. Mezclado de muestra de suelo con porcentaje de agua.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 25: Nomenclatura de bolsa, utilizada para cubrir muestra de suelo.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 25. Molde de Proctor modificado, listo a para ser enrasado y pesado.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 26. Pesado de molde más suelo compactado, Proctor modificado.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 27. Peso de taras más suelo, para determinar contenido de humedad.



Fuente: Los Autores. (2019).

E. EJECUCIÓN ENSAYO DE CBR.

Foto N° 28. Mezcla de suelo con adición de cal para ensayo de CBR.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 29. Preparación de Moldes de CBR para ensayar



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 30. Moldes a ser utilizadas durante el ensayo de CBR.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 31. Moldes de CBR listas para ser sumergidas.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 32. Dial para medir las deformaciones en los moldes sumergidos.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 33. Lectura inicial de deformación en molde, antes de ser sumergida en poza de agua.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 34. Moldes de CBR durante el período de inmersión.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 35. Lectura de deformación durante los días de inmersión en agua.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 36. Moldes listos para ser pesados en su estado saturado.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 37. Colocación de molde para la penetración con la prensa de CBR.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 38. Ajuste de Dial, durante el uso de la prensa de CBR.



Fuente: Los Autores. (2019).

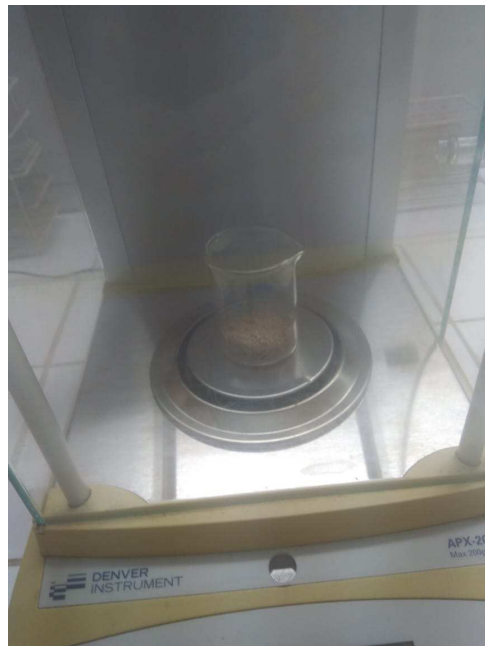
F. EJECUCIÓN DEL ENSAYO DETERMINACIÓN DEL PH.

Foto N° 39. Muestras de suelo arcilloso y sus combinaciones, para determinar pH en laboratorio.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 40. Pesado de muestra para determinar su pH.



Fuente: Los Autores. (2019).

Foto N° 41. Lectura de pH en muestra disuelta en agua destilada.



Fuente: Los Autores. (2019).

ANEXO N° 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Análisis de Varianza (ANOVA) para el efecto de la cal como estabilizante para el Límite plástico según sus dosificaciones

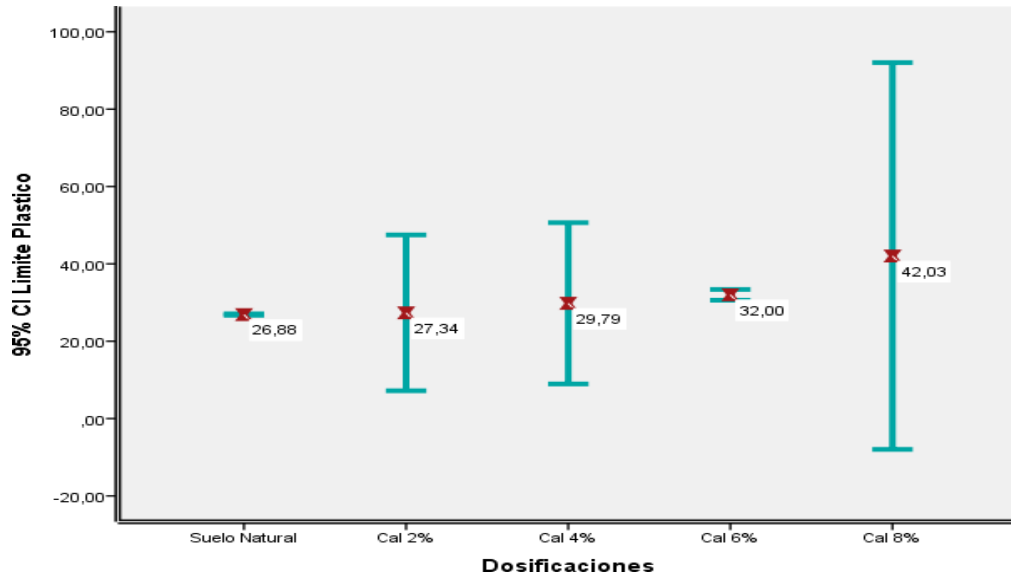
Límite plástico	Suma de Cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	305,265	4	76,316	9,218	0,016
Dentro de grupos	41,397	5	8,279		
Total	346,662	9			

Comparaciones múltiples según HSD Tukey para el efecto de la cal en sus diferentes dosificaciones en el límite plástico.

(I) Grupo	(J) Grupo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Suelo Natural	Cal 8%	-15,15000*	2.87739	0.017	-26.6926	-3.6074
Cal 2%	Cal 8%	-14,69000*	2.87739	0.019	-26.2326	-3.1474
Cal 4%	Cal 8%	-12,23500*	2.87739	0.040	-23.7776	-0.6924
	Suelo Natural	15,15000*	2.87739	0.017	3.6074	26.6926
Cal 8%	Cal 2%	14,69000*	2.87739	0.019	3.1474	26.2326
	Cal 4%	12,23500*	2.87739	0.040	0.6924	23.7776

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Intervalo de confianza al 95% de las diferentes dosificaciones de cal para el límite plástico



Análisis de Varianza (ANOVA) para el efecto de la cal como estabilizante para California Bearing Ratio 95% del MDS según sus dosificaciones

California Bearing Ratio 95% del MDS	Suma de Cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	82,675	4	20,669	18,590	0,003
Dentro de grupos	5,559	5	1,112		
Total	88.234	9			

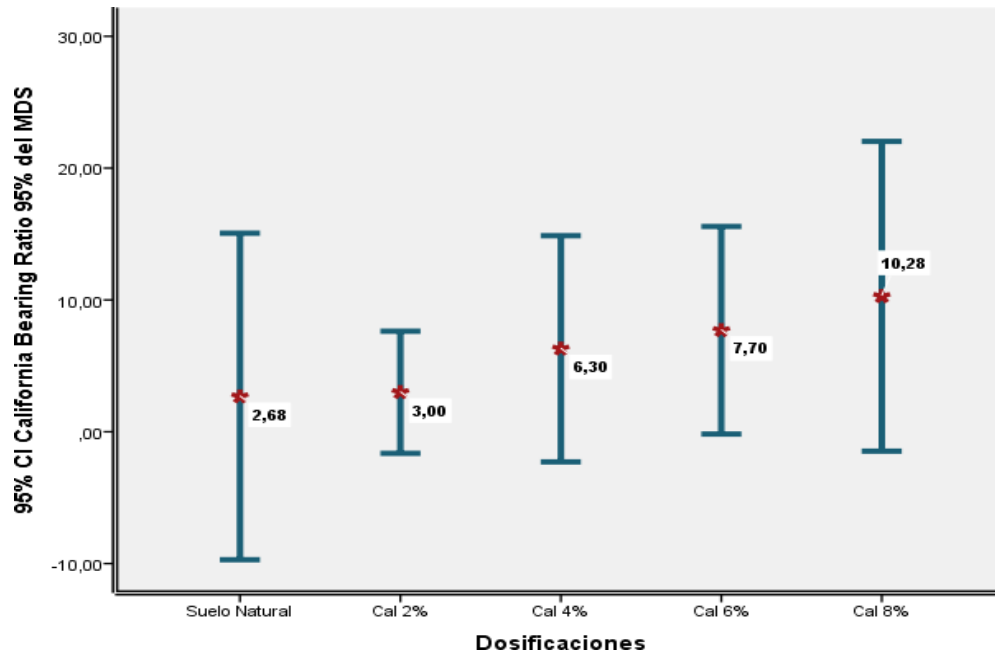
Comparaciones múltiples según HSD Tukey para el efecto de la cal en sus diferentes dosificaciones en California Bearing Ratio 95%

(I) Grupo	(J) Grupo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Suelo Natural	Cal 6%	-5,02500*	1.05442	0.026	-9.2548	-0.7952
	Cal 8%	-7,60000*	1.05442	0.004	-11.8298	-3.3702
Cal 2%	Cal 6%	-4,70500*	1.05442	0.033	-8.9348	-0.4752
	Cal 8%	-7,28000*	1.05442	0.005	-11.5098	-3.0502
Cal 6%	Suelo Natural	5,02500*	1.05442	0.026	0.7952	9.2548
	Cal 2%	4,70500*	1.05442	0.033	0.4752	8.9348

Cal 8%	Suelo Natural	7,60000*	1.05442	0.004	3.3702	11.8298
	Cal 2%	7,28000*	1.05442	0.005	3.0502	11.5098

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Intervalo de confianza al 95% de las diferentes dosificaciones de cal para California Bearing Ratio 95% del MDS



Análisis de Varianza (ANOVA) para el efecto de la cal como estabilizante para Potencial de Hidrogeno(pH)

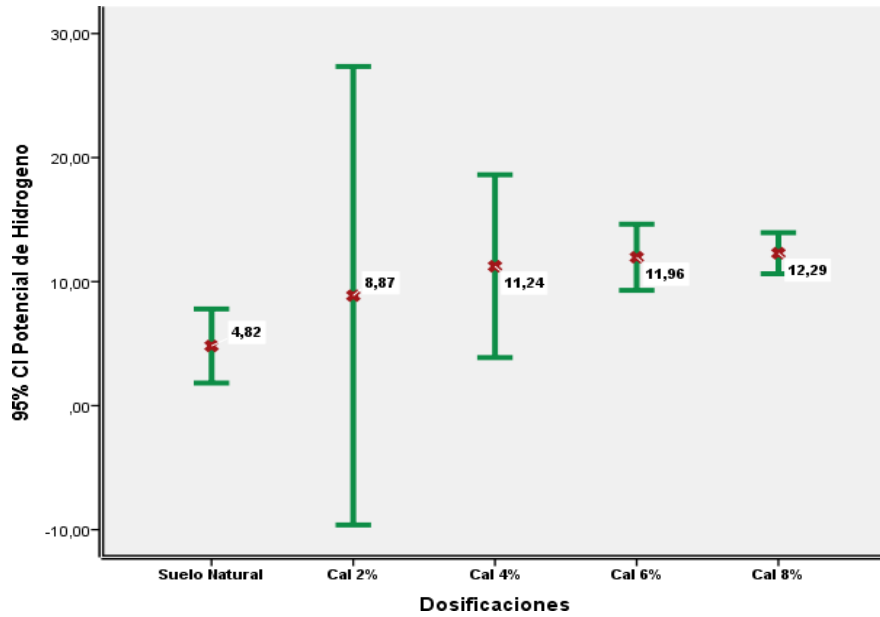
Potencial de Hidrogeno	Suma de Cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	77,316	4	19,329	18,805	0,003
Dentro de grupos	82,455	5	1,028		
Total	88.234	9			

Comparaciones múltiples según HSD Tukey para el efecto de la cal en sus diferentes dosificaciones del Potencial de Hidrogeno

(I) Grupo	(J) Grupo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Suelo Natural	Cal 4%	-6,42500*	1.01383	0.008	-10.4920	-2.3580
	Cal 6%	-7,14500*	1.01383	0.005	-11.2120	-3.0780
	Cal 8%	-7,47500*	1.01383	0.004	-11.5420	-3.4080
Cal 4%	Suelo Natural	6,42500*	1.01383	0.008	2.3580	10.4920
Cal 6%	Suelo Natural	7,14500*	1.01383	0.005	3.0780	11.2120
Cal 8%	Suelo Natural	7,47500*	1.01383	0.004	3.4080	11.5420

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Intervalo de confianza al 95% de las diferentes dosificaciones de cal para el Intervalo de confianza de Potencial de Hidrogeno



Análisis de Varianza (ANOVA) para el efecto de la cal como estabilizante para el Porcentaje de suelo que pasa el tamiz 200

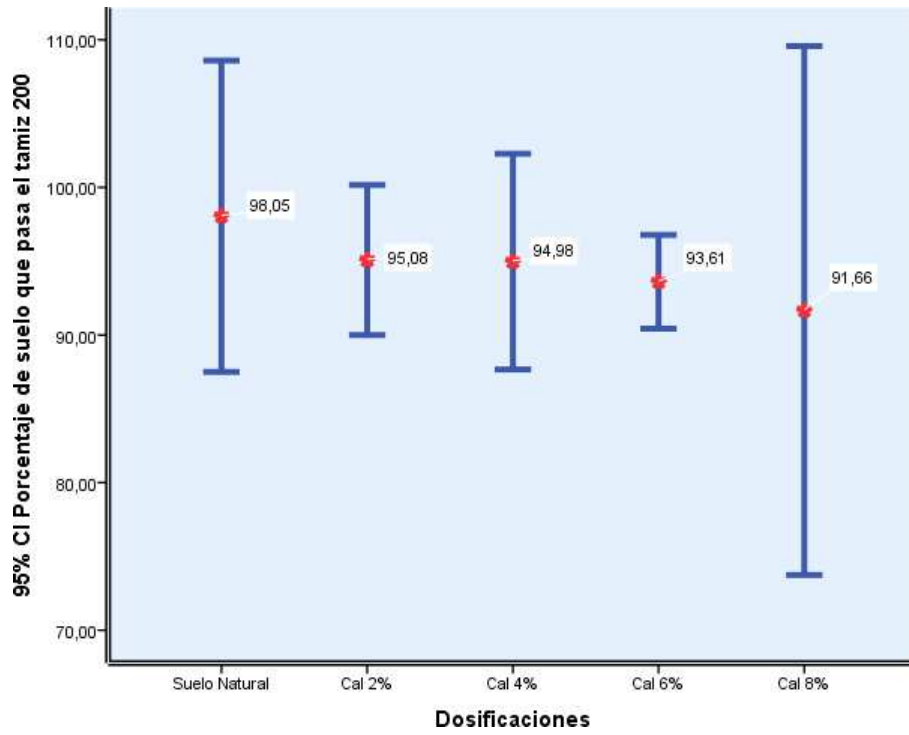
Porcentaje de suelo que pasa por el tamiz de 200	Suma de Cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	43,738	4	10,935	8,463	0,019
Dentro de grupos	6,460	5	1,292		
Total	50,198	9			

Comparaciones múltiples según HSD Tukey para el efecto de la cal en sus diferentes dosificaciones del Porcentaje de suelo que pasa el tamiz 200

(I) Grupo	(J) Grupo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Suelo Natural	Cal 8%	6,39000*	1.13668	0.013	1,8302	10,9498
Cal 8%	Suelo Natural	-6,39000*	1.13668	0.013	-10,9498	1,8302

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Intervalo de confianza al 95% de las diferentes dosificaciones de cal para el Intervalo de confianza del Porcentaje de suelo que pasa el tamiz 200



ANEXO N° 6. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 200 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masa

Página 1 de 4

1. Expediente	18182
2. Solicitante	UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU
3. Dirección	Av. José abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA
Capacidad Máxima	30000 g
División de escala (d)	1 g
Div. de verificación (e)	10 g
Clase de exactitud	III
Marca	OHAUS
Modelo	EB30
Número de Serie	8032416609
Capacidad mínima	20 g
Procedencia	U.S.A.
Identificación	NO INDICA
Ubicación	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.
5. Fecha de Calibración	2018-04-16

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

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

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

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

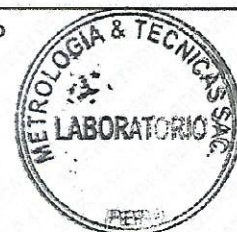
El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2018-04-23

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello



JUAN C. QUISPE MORALES

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ

Tel.: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282

RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282

RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

WEB: www.metrologiatecnicas.com

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 200 - 2018**

Área de Metrología
Laboratorio de Masa

Página 2 de 4

6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase IIII" del SNM-INDECOPI. Tercera Edición.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.
Av. José Abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	29,5 °C	29,5 °C
Humedad Relativa	71 %	70 %

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) Dirección de Metrología - INACAL 150033005	PESAS(Clase de Exactitud: E2)	INACAL LM-C-213-2017
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-312-2017 / LM-039- 2017.	PESAS(Clase de Exactitud: M1)	METROIL M-1050-2017
PESAS (Clase de exactitud F2)DM- INACAL LM-040-2017.		
PESAS (Clase de exactitud E2)DM / INACAL LM-371-2016	PESA(Clase de Exactitud M1)	METROIL M-0307-2017
PESAS (Clase de exactitud M1) DM- INACAL PE17C-0119	PESAS(Clase de Exactitud M2)	TOTAL WEIGHT CM-1074-2017

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 200 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masa

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	29,6 °C	29,5 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± g)
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
10	10	0,5	0,0						
20	20	0,5	0,0	0,0	20	0,5	0,0	0,0	10,0
100	100	0,5	0,0	0,0	100	0,5	0,0	0,0	10,0
500	500	0,5	0,0	0,0	500	0,5	0,0	0,0	10,0
1 000	1 000	0,5	0,0	0,0	1 000	0,6	-0,1	-0,1	10,0
5 000	5 000	0,6	-0,1	-0,1	5 000	0,5	0,0	0,0	10,0
10 000	10 001	0,6	0,9	0,9	10 000	0,5	0,0	0,0	20,0
15 000	15 001	0,7	0,8	0,8	15 000	0,5	0,0	0,0	20,0
20 000	20 000	0,6	-0,1	-0,1	20 000	0,5	0,0	0,0	20,0
25 000	25 000	0,5	0,0	0,0	24 999	0,4	-0,9	-0,9	30,0
30 000	29 999	0,4	-0,9	-0,9	29 999	0,4	-0,9	-0,9	30,0

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.
l: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.
E: Error encontrado

E₀: Error en cero.
E_c: Error corregido.



Lectura corregida $R_{CORREGIDA} = R + 0,0000288 R$

Incertidumbre expandida de medición $U = 2 \times \sqrt{(0,418 \text{ g}^2 + 0,00000000356 \text{ R}^2)}$

12. Incertidumbre

La incertidumbre U reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 200 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masa

Página 3 de 4

11. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	29,5 °C	29,5 °C

Medición Nº	Carga L1 = 15 000 g			Carga L2 = 30 000 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
2	15 000	0,5	0,0	29 999	0,4	-0,9
3	15 000	0,5	0,0	29 999	0,4	-0,9
4	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
5	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
6	15 001	0,7	0,8	30 000	0,6	-0,1
7	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,5	0,0
8	15 000	0,5	0,0	29 999	0,4	-0,9
9	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,5	0,0
10	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
	Diferencia Máxima		0,9	Diferencia Máxima		0,9
	Error Máximo Permissible		$\pm 20,0$	Error Máximo Permissible		$\pm 30,0$

ENSAYO DE EXCENRICIDAD

2	5
1	
3	4

Posición
de las
cargas

	Inicial	Final
Temperatura	29,5 °C	29,3 °C



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)
1	10 g	10	0,5	0,0	10 000	10 000	0,5	0,0	0,0
2		10	0,5	0,0		10 000	0,6	-0,1	-0,1
3		10	0,5	0,0		10 000	0,5	0,0	0,0
4		10	0,5	0,0		10 002	0,8	1,7	1,7
5		10	0,5	0,0		10 002	0,7	1,8	1,8
		Error máximo permisible							$\pm 20,0$

* Valor entre 0 y 10e

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 199 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masa

Página 1 de 4

1. Expediente	18182
2. Solicitante	UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU
3. Dirección	Av. José abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA
Capacidad Máxima	30000 g
División de escala (d)	1 g
Div. de verificación (e)	10 g
Clase de exactitud	III
Marca	OHAUS
Modelo	R31P30
Número de Serie	8336130208
Capacidad mínima	20 g
Procedencia	U.S.A.
Identificación	NO INDICA
Ubicación	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.
5. Fecha de Calibración	2018-04-16

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

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

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

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2018-04-23

Jefe del Laboratorio de Metrología

JUAN C. QUISPE MORALES

Sello



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 199 - 2018*Área de Metrología*
Laboratorio de Masa

Página 2 de 4

6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase IIII" del SNM-INDECOPI. Tercera Edición.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.
Av. José Abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	28,9 °C	29,1 °C
Humedad Relativa	70 %	72 %

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) Dirección de Metrología - INACAL 150033005	PESAS(Clase de Exactitud: E2)	INACAL LM-C-213-2017
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-312-2017 / LM-039- 2017.	PESAS(Clase de Exactitud: M1)	METROIL M-1050-2017
PESAS (Clase de exactitud F2)DM- INACAL LM-040-2017.		
PESAS (Clase de exactitud E2)DM / INACAL LM-371-2016	PESA(Clase de Exactitud M1)	METROIL M-0307-2017
PESAS (Clase de exactitud M1) DM- INACAL PE17C-0119	PESAS(Clase de Exactitud M2)	TOTAL WEIGHT CM-1074-2017

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 199 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masa

Página 3 de 4

11. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	28,9 °C	29,1 °C

Medición Nº	Carga L1 = 15 000 g			Carga L2 = 30 000 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
2	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
3	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
4	15 000	0,5	0,0	30 000	0,6	-0,1
5	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,5	0,0
6	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,5	0,0
7	15 000	0,7	-0,2	30 000	0,6	-0,1
8	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,6	-0,1
9	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,6	-0,1
10	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,5	0,0
	Diferencia Máxima		0,2	Diferencia Máxima		0,1
	Error Máximo Permissible		± 20,0	Error Máximo Permissible		± 30,0



ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

2	5
1	
3	4

Posición
de las
cargas

	Inicial	Final
Temperatura	29,1 °C	29,1 °C

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)
1	10 g	10	0,5	0,0	10 000	10 000	0,5	0,0	0,0
2		10	0,5	0,0		9 999	0,4	-0,9	-0,9
3		10	0,5	0,0		10 000	0,5	0,0	0,0
4		10	0,5	0,0		10 000	0,5	0,0	0,0
5		10	0,5	0,0		10 001	0,6	0,9	0,9
		Error máximo permisible							± 20,0

* Valor entre 0 y 10e

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 199 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masa

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	29,1 °C	29,1 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± g)
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
10	10	0,5	0,0						
20	20	0,5	0,0	0,0	20	0,4	0,1	0,1	10,0
100	100	0,5	0,0	0,0	100	0,4	0,1	0,1	10,0
500	500	0,5	0,0	0,0	500	0,5	0,0	0,0	10,0
1 000	1 000	0,5	0,0	0,0	1 000	0,6	-0,1	-0,1	10,0
5 000	5 000	0,6	-0,1	-0,1	5 000	0,6	-0,1	-0,1	10,0
10 000	10 000	0,6	-0,1	-0,1	10 000	0,8	-0,3	-0,3	20,0
15 000	15 000	0,5	0,0	0,0	15 000	0,7	-0,2	-0,2	20,0
20 000	20 000	0,6	-0,1	-0,1	19 999	0,3	-0,8	-0,8	20,0
25 000	25 000	0,5	0,0	0,0	25 000	0,6	-0,1	-0,1	30,0
30 000	30 000	0,7	-0,2	-0,2	30 000	0,7	-0,2	-0,2	30,0

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.
l: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.
E: Error encontrado

E₀: Error en cero.
E_c: Error corregido.



Lectura corregida

$$R_{\text{CORREGIDA}} = R + 0,00000457 R$$

Incertidumbre expandida de medición

$$U = 2 \times \sqrt{(0,212 \text{ g}^2 + 0,000000000993 R^2)}$$

12. Incertidumbre

La incertidumbre U reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 201 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

1. Expediente	18182
2. Solicitante	UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU
3. Dirección	Av. José Abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA
Capacidad Máxima	4100 g
División de escala (d)	0,01 g
Div. de verificación (e)	0,01 g
Clase de exactitud	II
Marca	OHAUS
Modelo	PAJ4102
Número de Serie	8331210483
Capacidad mínima	0,20 g
Procedencia	U.S.A.
Identificación	NO INDICA
Ubicación	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.
5. Fecha de Calibración	2018-04-16

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

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

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

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

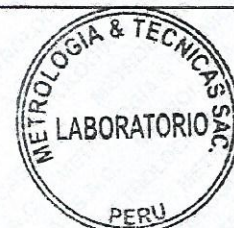
El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2018-04-23

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello



JUAN C. QUISPE MORALES

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ

Tel.: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282

RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282

RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

WEB: www.metrologiatecnicas.com

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 201 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 2 de 4

6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-011: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y Clase II" del SNM-INDECOPI. Cuarta Edición.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.

Av. José Abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	29,5 °C	29,5 °C
Humedad Relativa	70 %	71 %

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) Dirección de Metrología - INACAL 150033005	PESAS (Clase de Exactitud: E2)	INACAL LM-C-213-2017
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-312-2017 / LM- 039-2017.	PESAS (Clase de Exactitud: M1)	METROIL M-1050-2017
PESAS (Clase de exactitud F2) DM-INACAL LM-040-2017.		

10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 201 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 3 de 4

11. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	29,5 °C	29,6 °C

Medición Nº	Carga L1 = 2 000,00 g			Carga L2 = 4 100,00 g		
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)
1	2 000,00	5	0	4 100,01	6	9
2	2 000,00	5	0	4 100,01	6	9
3	2 000,00	5	0	4 100,01	6	9
4	2 000,00	5	0	4 100,00	6	-1
5	2 000,00	6	-1	4 100,00	5	0
6	2 000,00	5	0	4 100,00	5	0
7	2 000,00	5	0	4 100,00	5	0
8	2 000,00	5	0	4 100,00	6	-1
9	2 000,00	6	-1	4 100,00	6	-1
10	2 000,00	5	0	4 100,00	5	0
	Diferencia Máxima		1	Diferencia Máxima		10
	Error Máximo Permissible		± 30	Error Máximo Permissible		± 30

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

2	5
1	
3	4

Posición
de las
cargas

	Inicial	Final
Temperatura	29,6 °C	29,5 °C



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (mg)	Eo (mg)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)
1		0,10	5	0		1 300,00	5	0	0
2		0,10	5	0		1 300,01	6	9	9
3	0,10 g	0,10	5	0	1 300,00	1 300,01	6	9	9
4		0,10	5	0		1 299,99	4	-9	-9
5		0,10	6	-1		1 300,01	6	9	10
						Error máximo permisible			± 30

* Valor entre 0 y 10e

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 201 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	29,5 °C	29,5 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± mg)
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0,10	0,10	0	0						
0,20	0,20	5	0	0	0,20	5	0	0	10
1,00	1,00	5	0	0	1,00	5	0	0	10
10,00	10,00	5	0	0	10,00	5	0	0	10
50,00	50,00	5	0	0	50,00	6	-1	-1	20
100,00	100,00	5	0	0	100,00	5	0	0	20
500,00	500,00	5	0	0	499,99	5	-10	-10	30
1 000,00	1 000,00	6	-1	-1	1 000,01	6	9	9	30
2 000,00	2 000,01	6	9	9	2 000,01	7	8	8	30
3 000,00	3 000,01	7	8	8	3 000,01	8	7	7	30
4 100,00	4 100,02	7	18	18	4 100,02	7	18	18	30

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.
I: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.
E: Error encontrado

E₀: Error en cero.
E_c: Error corregido.

Incertidumbre expandida de medición

$$U = 2 \times \sqrt{(0,0000459 \text{ g}^2 + 0,0000000000454 \text{ g}^2)}$$

Lectura corregida

$$R_{\text{CORREGIDA}} = R + 0,00000254 R$$

12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 202 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

1. Expediente	18182
2. Solicitante	UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU
3. Dirección	Av. José Abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA
Capacidad Máxima	4100 g
División de escala (d)	0,01 g
Div. de verificación (e)	0,01 g
Clase de exactitud	II
Marca	OHAUS
Modelo	PAJ4102
Número de Serie	B449342496
Capacidad mínima	0,20 g
Procedencia	U.S.A.
Identificación	NO INDICA
Ubicación	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.
5. Fecha de Calibración	2018-04-16

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

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

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

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2018-04-23

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

JUAN C. QUISPE MORALES



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 202 - 2018**

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 2 de 4

6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-011: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y Clase II" del SNM-INDECOPI. Cuarta Edición.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.

Av. José Abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	29,5 °C	29,6 °C
Humedad Relativa	70 %	71 %

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) Dirección de Metrología - INACAL 150033005	PESAS (Clase de Exactitud: E2)	INACAL LM-C-213-2017
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-312-2017 / LM- 039-2017.	PESAS (Clase de Exactitud: M1)	METROIL M-1050-2017
PESAS (Clase de exactitud F2) DM-INACAL LM-040-2017.		

10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 202 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 3 de 4

11. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	29,5 °C	29,5 °C

Medición Nº	Carga L1 = 2 000,00 g			Carga L2 = 4 100,00 g			
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	
1	1 999,99	4	-9	4 099,99	4	-9	
2	1 999,99	4	-9	4 099,99	4	-9	
3	1 999,99	4	-9	4 100,00	5	0	
4	1 999,99	3	-8	4 099,99	4	-9	
5	1 999,99	4	-9	4 099,99	4	-9	
6	1 999,99	4	-9	4 099,99	4	-9	
7	1 999,99	4	-9	4 099,99	4	-9	
8	1 999,99	4	-9	4 099,99	4	-9	
9	1 999,99	4	-9	4 100,00	5	0	
10	1 999,99	3	-8	4 099,99	4	-9	
Diferencia Máxima			1	Diferencia Máxima			9
Error Máximo Permissible			± 30	Error Máximo Permissible			± 30

ENSAYO DE EXCENRICIDAD

2	5
1	
3	4

Posición
de las
cargas

	Inicial	Final
Temperatura	29,5 °C	29,6 °C



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec					
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (mg)	Eo (mg)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
1		0,10	5	0		1 299,99	4	-9	-9	
2		0,10	5	0		1 299,99	4	-9	-9	
3	0,10 g	0,10	5	0	1 300,00	1 299,98	3	-18	-18	
4		0,10	5	0		1 299,99	4	-9	-9	
5		0,10	5	0		1 299,98	3	-18	-18	
* Valor entre 0 y 10e									Error máximo permissible	± 30

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 202 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	29,6 °C	29,6 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± mg)
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0,10	0,10	0	0						
0,20	0,20	5	0	0	0,20	5	0	0	10
1,00	1,00	4	1	1	1,00	5	0	0	10
10,00	10,00	4	1	1	10,00	5	0	0	10
50,00	50,00	4	1	1	50,00	5	0	0	20
100,00	99,99	4	-9	-9	100,00	4	1	1	20
500,00	499,99	5	-10	-10	499,99	4	-9	-9	30
1 000,00	999,99	4	-9	-9	1 000,00	5	0	0	30
2 000,00	1 999,99	4	-9	-9	1 999,99	4	-9	-9	30
3 000,00	2 999,99	4	-9	-9	2 999,99	4	-9	-9	30
4 100,00	4 099,99	4	-9	-9	4 099,99	4	-9	-9	30

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.
I: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.
E: Error encontrado

E₀: Error en cero.
E_c: Error corregido.



Incertidumbre expandida de medición

$$U = 2 \times \sqrt{(0,0000394 \text{ g}^2 + 0,000000000044 \text{ g}^2)}$$

Lectura corregida

$$R_{\text{CORREGIDA}} = R - 0,00000477 R$$

12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento

INFORME DE VERIFICACIÓN MT - IV - 219 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Longitud

Página 1 de 3

1. Expediente	18182
2. Solicitante	UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU
3. Dirección	Av. José Abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.
4. Instrumento de medición	EQUIPO LIMITE LÍQUIDO (CAZUELA CASAGRANDE)
Marca	FORNEY
Modelo	LA-3700
Procedencia	U.S.A.
Número de Serie	826
Código de Identificación	U.S.A.
Tipo de contador	NO TIENE
5. Fecha de Verificación	2018-04-17

Este informe de verificación documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la verificación. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una reevaluación, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

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

Este informe de verificación no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2018-04-23

Jefe del Laboratorio de Metrología

JUAN C. QUISPE MORALES

Sello



INFORME DE VERIFICACIÓN MT - IV - 219 - 2018

Área de Metrología

Laboratorio de Longitud

Página 2 de 3

6. Método de Verificación

La Verificación se realizó tomando las medidas del instrumento, según las especificaciones de la norma internacional ASTM D4318 "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plastic Index of Soils."

7. Lugar de Verificación

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.

Av. José Abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	29,7 °C	29,7 °C
Humedad Relativa	70 %	70 %

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Regla de acero Clase I INACAL DM/LLA-256-2017	Regla de acero de 1000 mm con incertidumbre de 0,1 mm	INACAL DM LLA-052-2018
Magnificador óptico con retícula de medición. INACAL DM/LLA-043-2017		

10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de VERIFICADO.



INFORME DE VERIFICACIÓN MT - IV - 219 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Longitud

Página 3 de 3

11. Resultados

El equipo cumple con las especificaciones técnicas siguientes:

DIMENSIONES DE LA BASE DE GOMA DURA

Altura (mm)	Profundidad (mm)	Ancho (mm)
50,50	150,28	125,24

DIMENSIONES DE LA COPA

Radio de la copa (mm)	Espesor de la copa (mm)	Altura desde la guía del elevador hasta la base (mm)
54,78	2,02	48,10



Fin del Documento

INFORME DE VERIFICACIÓN MT - IV - 218 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Longitud

Página 1 de 3

1. Expediente	18182
2. Solicitante	UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU
3. Dirección	Av. José abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.
4. Instrumento de medición	EQUIPO LIMITE LÍQUIDO (CAZUELA CASAGRANDE)
Marca	FORNEY
Modelo	LA-3700
Procedencia	U.S.A.
Número de Serie	827
Código de Identificación	NO INDICA
Tipo de contador	NO TIENE
5. Fecha de Verificación	2018-04-17

Este informe de verificación documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la verificación. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una reevaluación, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

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

Este informe de verificación no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2018-04-23

Jefe del Laboratorio de Metrología


JUAN C. QUISPE MORALES

Sello



**INFORME DE VERIFICACIÓN
MT - IV - 218 - 2018***Área de Metrología**Laboratorio de Longitud*

Página 2 de 3

6. Método de Verificación

La Verificación se realizó tomando las medidas del instrumento, según las especificaciones de la norma internacional ASTM D4318 "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plastic Index of Soils."

7. Lugar de Verificación

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.

Av. José Abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	29,7 °C	29,7 °C
Humedad Relativa	70 %	71 %

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Regla de acero Clase I INACAL DM/LLA-256-2017	Regla de acero de 1000 mm con incertidumbre de 0,1 mm	INACAL DM LLA-052-2018
Magnificador óptico con retícula de medición. INACAL DM/LLA-043-2017		

10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de VERIFICADO.



INFORME DE VERIFICACIÓN MT - IV - 218 - 2018

Área de Metrología

Laboratorio de Longitud

Página 3 de 3

11. Resultados

El equipo cumple con las especificaciones técnicas siguientes:

DIMENSIONES DE LA BASE DE GOMA DURA

Altura (mm)	Profundidad (mm)	Ancho (mm)
50,54	150,58	125,29

DIMENSIONES DE LA COPA

Radio de la copa (mm)	Espesor de la copa (mm)	Altura desde la guía del elevador hasta la base (mm)
55,14	2,00	48,41



Fin del Documento

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LT - 132 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 1 de 6

1. Expediente 18182
2. Solicitante UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU
3. Dirección Av. José abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.
4. Equipo HORNO

Alcance Máximo De 20 °C a 200 °C

Marca PINZUAR

Modelo PG-190

Número de Serie 168

Procedencia COLOMBIA

Identificación NO INDICA

Ubicación LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.

Descripción	Controlador / Selector	Instrumento de medición
Alcance	20 °C a 200 °C	20 °C a 200 °C
División de escala / Resolución	0,1 °C	0,1 °C
Tipo	DIGITAL	TERMÓMETRO DIGITAL

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

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

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

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

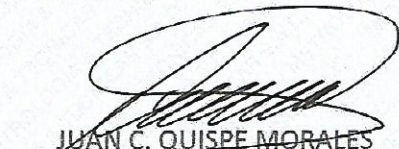
5. Fecha de Calibración 2018-04-16

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2018-04-23



JUAN C. QUISPE MORALES



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LT - 132 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 2 de 6

6. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación directa de acuerdo al PC-018 "Procedimiento para la Calibración de Medios Isotérmicos con Aire como Medio Termostático", 2da edición, publicado por el SNM-INDECOPI, 2009.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.
Av. José Abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	29,7 °C	29,7 °C
Humedad Relativa	70 %	69 %

El tiempo de calentamiento y estabilización del equipo fue de 120 minutos.
El controlador se seteo en 110 °C



9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o Informe de calibración
Dirección de Metrología INACAL LT - 560 - 2017	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL CON 12 CANALES	METROLOGIA & TECNICAS SAC MT - LT - 104 - 2018
Dirección de Metrología INACAL LT - 562 - 2017		

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **CALIBRADO**.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LT - 132 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 3 de 6

11. Resultados de Medición

PARA LA TEMPERATURA DE 110 °C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T _{prom} (°C)	max-T _m
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110,2	112,3	110,7	109,2	109,3	111,2	114,6	114,2	111,0	111,4	112,3	111,6	5,4
02	110,2	112,4	110,7	109,0	109,1	111,0	114,6	114,1	111,0	111,1	111,8	111,5	5,6
04	109,7	112,3	110,7	108,9	109,1	111,0	114,3	114,2	111,1	111,6	111,9	111,5	5,4
06	109,9	112,0	110,4	108,9	109,0	110,9	114,4	114,0	111,0	111,1	111,7	111,4	5,5
08	109,9	112,3	110,7	109,0	109,2	111,1	114,5	114,2	111,0	111,5	112,0	111,6	5,5
10	109,9	112,2	110,5	108,9	109,1	111,0	114,2	113,8	111,0	111,3	111,9	111,4	5,3
12	109,9	112,0	110,6	108,9	109,1	110,8	114,3	113,9	111,0	111,3	111,9	111,4	5,4
14	110,2	112,2	110,5	108,7	108,9	111,0	114,5	114,2	110,8	111,1	112,3	111,4	5,8
16	110,2	112,6	110,9	109,3	109,3	111,3	114,7	114,4	111,3	111,7	112,3	111,8	5,4
18	109,9	112,3	110,7	109,1	109,2	111,1	114,3	114,3	111,1	111,6	111,9	111,6	5,3
20	109,9	111,9	110,4	108,9	109,1	110,9	114,3	113,7	110,9	111,3	111,8	111,3	5,4
22	110,2	112,4	110,7	109,0	109,1	111,2	114,4	114,4	111,2	111,7	112,1	111,6	5,5
24	110,2	112,6	110,9	109,3	109,4	111,4	114,9	114,4	111,3	112,0	112,3	111,9	5,6
26	109,9	112,2	110,6	108,9	109,1	111,1	114,3	113,9	111,2	111,8	111,6	111,5	5,4
28	109,9	112,1	110,6	108,9	109,2	111,1	114,5	114,1	111,1	112,0	111,8	111,6	5,6
30	109,9	112,2	110,5	108,9	109,0	111,0	114,4	114,2	110,9	111,6	112,0	111,5	5,5
32	109,9	112,4	110,7	109,0	109,2	111,2	114,7	114,3	110,8	112,0	112,3	111,7	5,7
34	110,2	112,3	110,7	109,2	109,3	111,1	114,5	114,2	111,2	112,0	112,3	111,7	5,3
36	110,2	112,4	110,8	109,2	109,3	111,2	114,8	114,4	111,2	111,8	112,1	111,7	5,6
38	110,2	112,3	110,6	109,1	109,3	111,2	114,6	114,4	111,1	111,7	111,9	111,6	5,5
40	110,2	112,6	110,9	109,2	109,3	111,2	114,9	114,4	111,2	111,7	112,2	111,8	5,7
42	110,1	112,3	110,7	109,1	109,2	111,1	114,6	114,4	111,1	111,5	112,4	111,7	5,5
44	109,8	111,9	110,3	108,9	108,9	110,9	114,0	113,5	110,9	111,1	111,6	111,2	5,1
46	109,9	112,0	110,4	108,7	108,9	110,9	114,4	113,7	110,7	111,0	111,7	111,2	5,7
48	110,0	112,5	110,7	109,0	109,3	111,3	114,9	114,2	111,2	111,7	112,1	111,7	5,9
50	109,9	112,0	110,5	108,9	109,1	110,9	114,3	113,9	111,0	111,4	111,9	111,4	5,4
52	110,2	112,1	110,4	108,9	109,3	111,0	114,1	114,2	111,1	111,8	112,2	111,5	5,4
54	110,2	112,3	110,7	109,2	109,2	111,2	114,6	114,2	111,2	111,5	112,5	111,7	5,4
56	110,1	112,1	110,5	109,0	109,1	111,0	114,0	113,7	111,1	111,6	111,8	111,4	5,0
58	109,9	112,1	110,5	108,9	109,0	110,9	114,1	114,2	111,1	111,7	111,8	111,4	5,4
60	109,9	112,4	110,7	109,1	109,2	111,2	115,0	114,2	111,1	112,3	112,2	111,8	5,9
T.PROM	110,0	112,3	110,7	109,0	109,2	111,1	114,4	114,2	111,1	111,6	112,1	111,6	
T.MAX	110,2	112,6	110,9	109,3	109,4	111,4	115,0	114,4	111,3	112,3	112,5		
T.MIN	109,7	111,9	110,3	108,7	108,9	110,8	114,0	113,5	110,7	111,0	111,6		
DTI	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	0,9	0,6	1,3	0,9		



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LT - 132 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 4 de 6

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	115,0	0,3
Mínima Temperatura Medida	108,7	0,3
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1,3	0,2
Desviación de Temperatura en el Espacio	5,5	0,2
Estabilidad Medida (±)	0,6	0,17
Uniformidad Medida	5,9	0,2

- T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
T.prom : Promedio de las temperaturas en la diez posiciones de medición para un instante dado.
T.MAX : Temperatura máxima.
T.MIN : Temperatura mínima.
DTT : Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isothermo : 0,06 °C

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La estabilidad es considerada igual a $\pm 1/2$ DTT.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

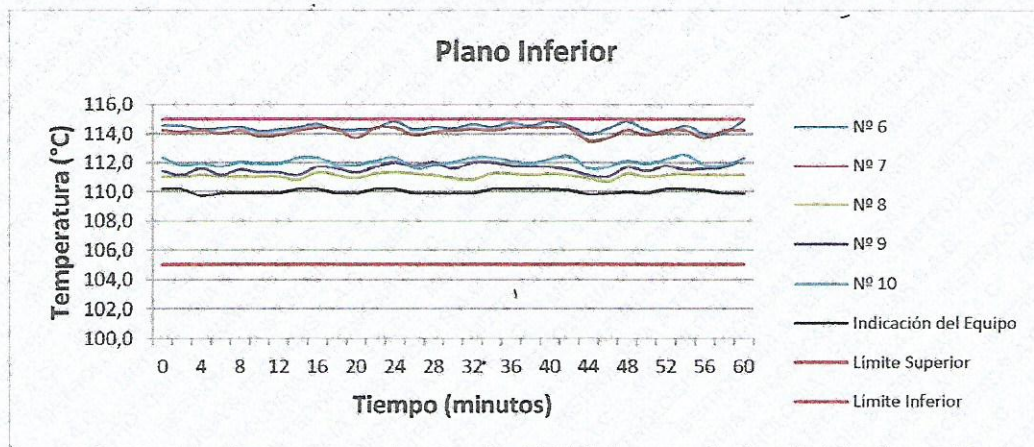
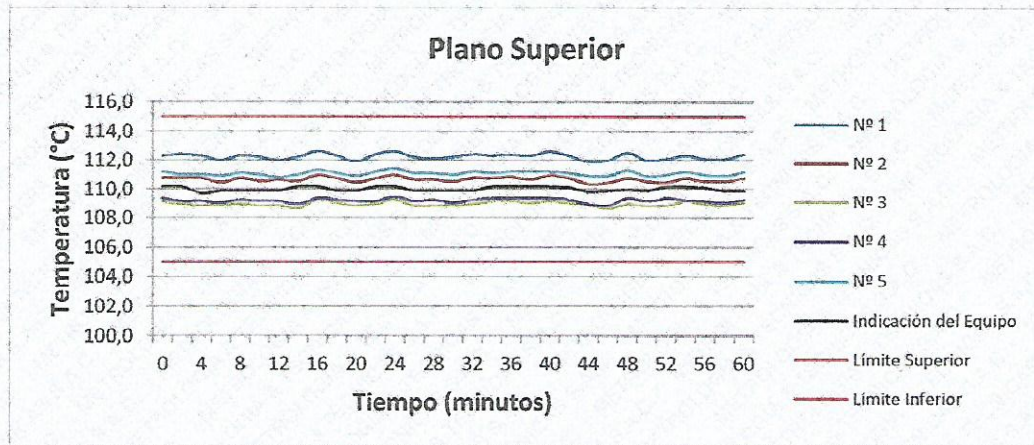
MT - LT - 132 - 2018

Área de Metrología

Laboratorio de Temperatura

Página 5 de 6

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO TEMPERATURA DE TRABAJO: 110 °C ± 5 °C

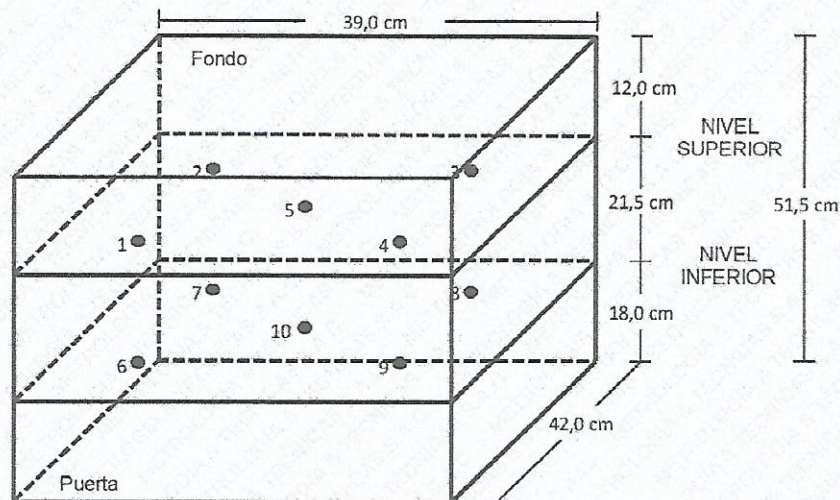


CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LT - 132 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 6 de 6

DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES



Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.

Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 se colocaron a 7 cm de las paredes laterales y a 7 cm del fondo y frente del equipo a calibrar.

12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

Fin del documento

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LF - 095 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

1. Expediente	18182
2. Solicitante	UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU
3. Dirección	Av. José abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.
4. Equipo	PRENSA MULTIUSOS
Capacidad	5000 kgf
Marca	FORNEY
Modelo	LA-3626
Número de Serie	2465
Procedencia	U.S.A.
Identificación	NO INDICA
Indicación	DIGITAL
Marca	HIGH - WEICHT
Modelo	315-X8
Número de Serie	NO INDICA
Resolución	0,1 kgf
Ubicación	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.
5. Fecha de Calibración	2018-04-17

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

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

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

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2018-04-23

Jefe del Laboratorio de Metrología

JUAN C. QUISPE MORALES

Sello



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 095 - 2018**

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES.
Av. José Abelardo Quiñones km. 2,5 Res. San Juan - San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	30,2 °C	30,3 °C
Humedad Relativa	70 % HR	70 % HR

**9. Patrones de referencia**

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en el National Standards Testing Laboratory de Maryland - USA	Celda de carga calibrado a 200 kN con incertidumbre del orden de 0,6 %	LEDI-PUCP INF-LE 006-18 B/C

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1,0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

MT - LF - 095 - 2018

Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
%	F_i (kgf)	F_1 (kgf)	F_2 (kgf)	F_3 (kgf)	$F_{Promedio}$ (kgf)
10	500	498,8	498,5	498,6	498,6
20	1000	998,7	997,4	998,2	998,1
30	1500	1500,8	1499,0	1500,3	1500,1
40	2000	1997,6	1996,7	1997,3	1997,2
50	2500	2503,9	2500,7	2495,9	2500,2
60	3000	2997,2	2995,9	2996,5	2996,5
70	3500	3500,1	3497,7	3499,4	3499,0
80	4000	4003,7	3994,1	3996,4	3998,0
90	4500	4500,5	4488,5	4494,1	4494,4
100	5000	4994,8	4994,0	4994,9	4994,6
Retorno a Cero		0,0	0,0	0,0	

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U ($k=2$) (%)
	Exactitud a (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa α (%)	
500	0,28	0,06	---	0,02	0,34
1000	0,19	0,13	---	0,01	0,34
1500	0,00	0,12	---	0,01	0,34
2000	0,14	0,05	---	0,01	0,34
2500	-0,01	0,32	---	0,00	0,34
3000	0,12	0,04	---	0,00	0,34
3500	0,03	0,07	---	0,00	0,34
4000	0,05	0,24	---	0,00	0,34
4500	0,13	0,27	---	0,00	0,34
5000	0,11	0,02	---	0,00	0,34

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f_0)

0,00 %



12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a

largo plazo.
Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ

Tel.: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282

RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282

RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

WEB: www.metrologiatecnicas.com