

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ



FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TITULO PROFESIONAL
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“ESTUDIO EXPLORATORIO DE ESTABILIZACIÓN DE UNA
SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO CON CAL VIVA COMO
MATERIAL ESTABILIZANTE EN EL A.A.H.H LAS COLINAS, CALLE
LAGUNAS - SAN JUAN BAUTISTA - 2021”**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

AUTOR (es):

Bach. HERNAN ALFREDO RIOS BARBOZA

Bach. BILL ARNOLD SOLANO CARDENAS

ASESOR (es):

Ing. IRIGOIN CABRERA, ULISES OCTAVIO, M. Sc.

San Juan Bautista – Loreto – Maynas –Perú

2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Ulises Irigoín', is written over a faint, light blue circular stamp or watermark. The signature is fluid and cursive.

DEDICATORIA

A mis padres Alfredo y Disnarda,

Por la confianza y sus apoyos constantes del día a día, por sus enseñanzas, sus consejos, motivaciones de continuar con mis objetivos y lograr con éxito mis metas proyectadas hecha realidad.

Hernan Alfredo, Rios Barboza.

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios por la inspiración y las fuerzas para continuar nuestra superación personal y profesional deseada. A mis padres Juan y Miriam por su amor, su sacrificio y su apoyo en todos estos años; gracias a ello logré llegar a ser lo que soy hoy por hoy.

A todas las personas que nos apoyaron y brindaron sus amplios conocimientos y compartir sus contenidos.

Bill Arnold, Solano Cardenas.

AGRADECIMIENTOS

A mi padre celestial por cederme la vida, la salud y la prosperidad de lograr mis objetivos.

A las autoridades de la Universidad Científica del Perú por facilitarme sus instalaciones, materiales y equipos para poder desarrollar y ejecutar este proyecto profesional y al **Programa Nacional de Becas y Créditos Educativos**.

Al **Abg. Juan Carlos Criollo Saldaña**, por sus consejos, apoyo incondicional y la confianza sembrada a mi persona.

Al Asesor del Proyecto de Investigación: **M. Sc. Ulises Octavio Irigoín Cabrera**, por su dedicación, apoyo y orientación durante el desarrollo del proyecto.

A mis padres y hermanos por sus motivaciones y el apoyo inmenso que me brindan.

Rios Barboza, Hernan Alfredo.

Agradezco a Dios por brindarnos la vida, por encaminarnos a lo largo de nuestro caminar y ser la fortaleza en aquellos momentos de dificultad. Gracias a mis padres: Juan y Miriam por mis los principales pilares de mi motivación, por sus consejos, valores y principios que me han inculcado.

Bill Arnold, Solano Cardenas.

CONSTANCIA DE ANTIPLAGIO



"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

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:

El Trabajo de Suficiencia Profesional titulado:

**"ESTUDIO EXPLORATORIO DE ESTABILIZACIÓN DE UNA SUBRASANTE DE
SUELO ARCILLOSO CON CAL VIVA COMO MATERIAL ESTABILIZANTE EN EL
A.A.H.H LAS COLINAS, CALLE LAGUNAS - SAN JUAN BAUTISTA - 2021"**

De los alumnos: **HERNAN ALFREDO RIOS BARBOZA Y BILL ARNOLD SOLANO
CARDENAS**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente
la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **14% de plagio**.

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

San Juan, 21 de julio del 2021.



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

GRA/fr-a
241-2021



ACTA DE SUSTENTACIÓN



“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

**FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Con Resolución Decanal N° 442 -2021- UCP - FCEI del 22 de julio de 2021, la **FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP** designa como Jurado Evaluador y Dictaminador de la Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional a los Señores:

- | | |
|---|------------|
| • Ing. Juan Jesús Ocaña Aponte, M. Sc. | Presidente |
| • Ing. Jefree Stefano Arévalo Flores, Mg. | Miembro |
| • Lic. Nerea Gallardo Sánchez, Mg. | Miembro |

Como Asesor: **Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, MSc.**

En la ciudad de Iquitos, siendo las 12.00 horas del día 24 de julio del 2021, a través de la plataforma ZOOM supervisado en línea por la Secretaría 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 del Trabajo de Suficiencia Profesional: **“ESTUDIO EXPLORATORIO DE ESTABILIZACIÓN DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO CON CAL VIVA COMO MATERIAL ESTABILIZANTE EN EL A.A.H.H LAS COLINAS, CALLE LAGUNAS - SAN JUAN BAUTISTA - 2021”.**

Presentado por los sustentantes:

HERNAN ALFREDO RIOS BARBOZA

Y

BILL ARNOLD SOLANO CARDENAS




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.

| | | |
|---|--|---|
|  JEFREÉ S. ARÉVALO FLORES INGENIERO CIVIL CIP. N° 163914 Miembro |  _____ Presidente |  _____ Miembro |
|---|--|---|

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

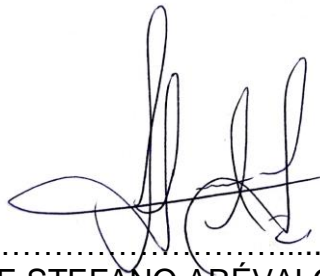
Filial Tarapoto – Perú
42 – 58 5638 / 42 – 58 5640
Leónico Prado 1070 / Martines de Compañón 933

Universidad Científica del Perú
www.ucp.edu.pe

FIRMA DE JURADOS Y ASESOR (ES)



.....
Ing. JUAN JESÚS OCAÑA APONTE, M. Sc.
Presidente



.....
Ing. JEFREE STEFANO ARÉVALO FLORES, Mg.
Miembro



.....
Lic. NEREA GALLARDO SÁNCHEZ, Mg.
Miembro



.....
Ing. ULISES OCTAVIO IRIGOÍN CABRERA, M. Sc.
Asesor

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| DEDICATORIA..... | 2 |
| AGRADECIMIENTOS | 3 |
| CONSTANCIA DE ANTIPLAGIO | 4 |
| ACTA DE SUSTENTACIÓN..... | 5 |
| FIRMA DE JURADOS Y ASESOR (ES) | 6 |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | 7 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 10 |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | 12 |
| RESUMEN..... | 14 |
| ABSTRACT | 15 |
| INTRODUCCIÓN..... | 16 |
| CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO..... | 18 |
| 1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO | 18 |
| 1.2. BASES TEÓRICAS | 26 |
| 1.2.1. SUELO | 26 |
| 1.2.2. CAL | 56 |
| CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 75 |
| 2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... | 75 |
| 2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 77 |
| 2.2.1. PROBLEMA GENERAL..... | 77 |
| 2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS..... | 77 |
| 2.3. OBJETIVOS..... | 77 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 2.3.1. | OBJETIVO GENERAL | 77 |
| 2.3.2. | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 78 |
| 2.4. | HIPÓTESIS | 78 |
| 2.5. | VARIABLES | 78 |
| - | IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES | 78 |
| - | DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL DE LAS VARIABLES | 79 |
| - | OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES | 80 |
| | CAPÍTULO III: METODOLOGÍA | 81 |
| - | MATERIALES Y MÉTODOS | 81 |
| 3.1. | METODOLOGÍA | 81 |
| 3.2. | TIPO DE ESTUDIO | 82 |
| 3.3. | DISEÑO DE ESTUDIO..... | 82 |
| 3.4. | POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 83 |
| 3.5. | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS . | 84 |
| 3.6. | LABORATORIOS Y PROCEDIMIENTOS | 85 |
| 3.7. | MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZAR | 86 |
| 3.8. | DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS A REALIZAR | 87 |
| | CAPÍTULO IV: RESULTADOS | 97 |
| - | RESULTADOS | 97 |
| 4.1. | RESULTADOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELO ARCILLOSO..... | 97 |
| 4.2. | ENSAYO DEL LÍMITE DE ATTERBERG | 99 |

| | | |
|------|--|------------|
| 4.3. | ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO | 101 |
| 4.4. | ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)109 | |
| - | INTERPRETACIÓN | 121 |
| 4.5. | CARACTERIZACIÓN DEL SUELO | 121 |
| 4.6. | LÍMITES DE ATTERBERG | 122 |
| 4.7. | ENSAYO DE PROCTOR | 124 |
| 4.8. | ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA | 126 |
| 4.9. | RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS..... | 128 |
| | CAPÍTULO V: DISCUSIONES | 129 |
| - | DISCUSIONES | 129 |
| | CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, REFERENCIAS | |
| | BIBLIOGRÁFICAS Y ANEXOS..... | 132 |
| - | CONCLUSIONES | 132 |
| - | RECOMENDACIONES..... | 133 |
| - | BIBLIOGRAFÍA. | 134 |
| - | ANEXOS | 138 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|------------|
| Tabla 1 : Clasificación de Materiales para Subrasante de carreteras. ... | 28 |
| Tabla 2: Clasificación de Materiales para Subrasante de Carreteras..... | 29 |
| Tabla 3: Sistema Unificado de Clasificación; Símbolos de Grupo para Suelos Tipo Grava. | 30 |
| Tabla 4: Sistema Unificado de Clasificación; Símbolos de Grupo para Suelos Arenosos..... | 32 |
| Tabla 5: Sistema Unificado de Clasificación; Símbolos de Grupo para Suelos Limosos y Arcillosos. | 33 |
| Tabla 6: Rango de cemento requerido en Estabilización de suelo Cemento | 46 |
| <i>Tabla 7: Requerimientos de suelos para estabilizar con cal.....</i> | 64 |
| Tabla 8: Cantidad de Muestra por Calicata..... | 83 |
| Tabla 9: Cantidad de Ensayos | 84 |
| Tabla 10: Análisis Granulométrico de Suelo Arcilloso..... | 97 |
| Tabla 11: Límite Líquido | 99 |
| Tabla 12: Límite Plástico | 99 |
| Tabla 13: Compactación Proctor en Estado Natural..... | 101 |
| <i>Tabla 14: Humedad Proctor en Estado Natural.....</i> | 101 |
| Tabla 15: Compactación Proctor con 1% de Cal viva..... | 103 |
| Tabla 16: Humedad Proctor con 1% de Cal viva | 103 |
| Tabla 17: Compactación Proctor con 3% de Cal viva..... | 105 |
| Tabla 18: Humedad Proctor con 3% de Cal viva | 105 |
| Tabla 19: Compactación Proctor con 5% de Cal viva..... | 107 |
| <i>Tabla 20: Humedad Proctor con 5% de Cal viva</i> | 107 |
| Tabla 21: Densidad del Suelo Ensayo CBR en su Estado Natural | 109 |
| Tabla 22: Expansión del Suelo en su Estado Natural..... | 110 |
| <i>Tabla 23: Ensayo de Penetración CBR en su Estado Natural.....</i> | 110 |
| Tabla 24: Densidad del Suelo Ensayo CBR con 1% de Cal viva..... | 112 |

| | |
|--|------------|
| Tabla 25: Expansión del Suelo con 1% de Cal viva | 113 |
| Tabla 26: Ensayo de Penetración CBR con 1% de Cal viva | 113 |
| Tabla 27: Densidad del Suelo Ensayo CBR con 3% de Cal viva..... | 115 |
| Tabla 28: Expansión del Suelo con 3% de Cal viva | 116 |
| Tabla 29: Ensayo de Penetración CBR con 3% de Cal viva | 116 |
| Tabla 30: Densidad del Suelo Ensayo CBR con 5% de Cal viva..... | 118 |
| Tabla 31: Expansión del Suelo con 5% de Cal viva | 119 |
| Tabla 32: Ensayo de Penetración CBR con 5% de Cal viva | 119 |
| Tabla 33: Agentes Estabilizantes según tipo de Suelo | 123 |
| Tabla 34: Resultados Obtenidos de los Ensayos | 128 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|------------|
| figura 1: Copa de Casagrande | 35 |
| figura 2: Límite Plástico | 36 |
| figura 3: Curva Granulométrica | 98 |
| figura 4: Curvatura de Flujo | 100 |
| figura 5: Curva de Compactación de Suelo en Estado Natural..... | 102 |
| <i>figura 6: Curva de Compactación de Suelo con 1% de Cal viva.....</i> | <i>104</i> |
| <i>figura 7: Curva de Compactación de Suelo con 3% de Cal viva.....</i> | <i>106</i> |
| <i>figura 8: Curva de Compactación de Suelo con 5% de Cal viva.....</i> | <i>108</i> |
| figura 9: Curva de Penetración CBR en su Estado Natural: (a) 12 Golpes; (b) 25 Golpes; (c) 56 Golpes..... | 111 |
| figura 10: Curva CBR en Estado Natural | 111 |
| figura 11: Curva de Penetración CBR con 1% de Cal viva: (a) 12 Golpes; (b) 25 Golpes; (c) 56 Golpes..... | 114 |
| figura 12: Curva CBR con 1% de Cal viva..... | 114 |
| figura 13: Curva de Penetración CBR con 3% de Cal viva: (a) 12 Golpes; (b) 25 Golpes; (c) 56 Golpes..... | 117 |
| figura 14: Curva CBR con 3% de Cal viva..... | 117 |
| <i>figura 15: Curva de Penetración CBR con 5% de Cal viva: (1) 12 Golpes; (2) 25 Golpes; (3) 56 Golpes.....</i> | <i>120</i> |
| <i>figura 16: Curva CBR con 5% de Cal viva.....</i> | <i>120</i> |
| <i>figura 17: % que Pasa el Tamiz N^a 200.....</i> | <i>121</i> |
| figura 18: Límites de Atterberg de la Muestra | 122 |
| <i>figura 19: Densidad Máxima del Suelo.....</i> | <i>124</i> |
| <i>figura 20: Humedad Óptima del Suelo</i> | <i>125</i> |
| <i>figura 21: Comparación de los Valores Máximos de Expansión</i> | <i>126</i> |
| figura 22: Comparación de los Valores de CBR% del Suelo..... | 127 |
| figura 23: Proceso de Extracción de la Muestra para los ensayos respectivos | 166 |

| | |
|--|------------|
| figura 24: Proceso de Análisis Granulométrico..... | 167 |
| figura 25: Proceso de Ensayo Límite Líquido | 167 |
| figura 26: Proceso de Ensayo Límite Plástico..... | 167 |
| figura 27: Proceso de Ensayo Proctor Modificado | 168 |
| figura 28: Proceso de Ensayo CBR | 168 |

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la modificación de una **SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO CON CAL VIVA COMO MATERIAL ESTABILIZANTE EN EL A.A.H.H LAS COLINAS, CALLE LAGUNAS - SAN JUAN BAUTISTA - 2021**, sirviendo como estudio para que posteriormente forme parte de la estructura de la construcción de su Pavimento en adelante.

Se realizaron los ensayos de laboratorio: Análisis Granulométrico, límites de consistencia, determinación del peso específico máximo y humedad óptima (Proctor), y el Valor Relativo de Soporte (CBR), del material en estado natural; y similarmente estabilizado con cal viva. Estos ensayos realizados permiten comprobar los cambios positivos que se generaron debido a la adición de cal en distintas proporciones.

El desarrollo del proyecto se dividió en 3 fases: En la primera fase se realizó la recolección de muestra mediante una calicata de profundidad de 1.50 metros, en la segunda se procedió al laboratorio para los ensayos correspondientes habiéndose aplicado proporciones de 1%, 3% y 5% de cal viva. Finalmente, se procesaron los resultados obtenidos, comparándolos entre si y con resultados de otros investigadores.

La aplicación de la cal como material estabilizante en sus diferentes proporciones, logró el mejoramiento del suelo, obteniéndose los siguientes resultados: SUELO NATURAL un CBR de 4.82%, para SUELO – CAL (1%) un CBR de 11.20%, para SUELO – CAL (3%) un CBR de 17.60%, para SUELO – CAL (5%) un CBR de 19.30%. Se observa que, con la cal viva en aumento, la resistencia y la capacidad de soporte california mejora satisfactoriamente.

Palabras Claves: suelo arcilloso, estabilización, cal viva, CBR.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the physical and mechanical properties of the modification of a **CLAY UNDERWATER WITH LIVING LIME AS A STABILIZING MATERIAL IN THE AAHH LAS COLINAS, CALLE LAGUNAS - SAN JUAN BAUTISTA - 2021**, serving as a study so that it later forms part of the structure of the construction of your Pavement onwards.

Laboratory tests were carried out: Granulometric Analysis, consistency limits, determination of the maximum specific weight and optimum humidity (Proctor), and the Relative Support Value (CBR), of the material in its natural state; and similarly stabilized with quicklime. These tests carried out allow us to verify the positive changes that were generated due to the addition of lime in different proportions.

The development of the project was divided into 3 phases: In the first phase, the sample was collected using a 1.50-meter deep pit, in the second, the laboratory was carried out for the corresponding tests, having applied proportions of 1%, 3% and 5% quicklime. Finally, the results obtained were processed, comparing them with each other and with the results of other researchers.

The application of lime as a stabilizing material in its different proportions, achieved the improvement of the soil, obtaining the following results: NATURAL SOIL a CBR of 4.82%, for SOIL - LIME (1%) a CBR of 11.20%, for SOIL - LIME (3%) a CBR of 17.60%, for SOIL - LIME (5%) a CBR of 19.30%. It is observed that, with increasing quicklime, the strength and bearing capacity california improves satisfactorily.

Keywords: clay soil, stabilization, quicklime, CBR.

INTRODUCCIÓN

El presente Proyecto de Investigación titulada: **“ESTUDIO EXPLORATORIO DE ESTABILIZACIÓN DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO CON CAL VIVA COMO MATERIAL ESTABILIZANTE EN EL A.A.H.H LAS COLINAS, CALLE LAGUNAS - SAN JUAN BAUTISTA - 2021”**, nace debido a los múltiples problemas de inestabilidades de los suelos en la construcción que se sufre a nivel mundial, presentando hundimientos y desprendimientos. En esta investigación se estudió el efecto del material estabilizante “Cal viva” agregándolo en ciertas proporciones a un suelo arcilloso de una subrasante de una calle de alto tránsito, específicamente en el A.A.H.H las Colinas, calle Lagunas - San Juan Bautista – 2021”.

La empresa encargada de brindar Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio es la empresa de **METROLOGÍA Y TÉCNICAS S.A.C**, cuenta con patrones de referencia y de trabajo americanos, los cuales son trazables a los patrones del **NATIONAL STANDARDS TESTING LABORATORY** de los Estados Unidos y cumpliendo con la norma internacional para dureza **ASTM C-805**; la cual garantiza el alto aseguramiento y rendimiento de calidad de las mediciones de instrumentos de medición para desempeñar los ensayos respectivo con un objetivo veras.

El objetivo de esta investigación es obtener resultados óptimos y favorables, se realizó de manera proporcional a un suelo arcilloso agregándolo en diferentes proporciones evaluando sus propiedades físicas y mecánicas del mejoramiento de un suelo arcilloso.

Esta investigación ha quedado netamente justificada, bajo el objetivo fundamental de estabilizar la calle es posible prestar a los usuarios un

servicio de calidad que satisfaga sus necesidades de movilidad, el proyecto se orienta a brindar una mejor calidad de vida en la población que se dedican a las labores de mototaxis.

El trabajo de Investigación consistió en la realización de una serie de ensayos del material en estado natural y estabilizado con cal viva, adicionando proporciones de 1%, 3% y 5%, encontrándose valores de resistencia esperados.

El proyecto se dividió en seis capítulos importantes, de las cuales integra el capítulo I: Introducción, en el capítulo II: Planteamiento del Problema; en el capítulo III integra: Metodología; capítulos IV: Resultados obtenidos de la investigación e interpretación, capítulo V: Discusión, capítulo VI: Conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

(Cuadros, 2017), en su tesis titulada: “Mejoramiento de las propiedades físicas – mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamento de la región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio – 2016, Se determinó que el porcentaje óptimo de óxido de calcio al adicionar diversas proporciones (1%, 3%, 5% y 7%) para la estabilización del suelo en estudio es de 3% respecto al peso del suelo, mejorando así las propiedades del suelo de subrasante en estudio, dando como resultado la reducción del Índice de Plasticidad de un suelo natural con un IP de 19.08% a un IP de 4.17% posterior a su estabilización, asimismo redujo el óptimo contenido de humedad para su compactación de un 18.3% en suelo natural a un 15.6% posterior a su estabilización, además aumentó significativamente el valor de C.B.R. de un 4.85% para suelo natural a un valor de C.B.R de 15.64% posterior a su estabilización, categorizándolo como un material de subrasante buena, de acuerdo al Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” – Sección suelos y pavimentos, después de su estabilización”. **(1)**

(López & Grely, 2018), en su tesis titulada: “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay, indica que el presente proyecto de tesis consistió en la determinación del porcentaje óptimo de cal que se debe agregar a la subrasante de los jirones de Molinopata y Santo Domingo de la Urbanización San Luis de la ciudad de Abancay, para luego ser utilizado como base estabilizada para que este suelo estabilizado forme parte de la estructura de los diversos tipos de

pavimentos, el porcentaje óptimo de cal se obtuvo mediante los ensayos de laboratorio y aquellos métodos recomendados en los manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, norma CE. 010 y otras normas afines vigentes”. **(2)**

(López & Grely, 2018), concluye, “Que la cantidad de cal necesaria para mejorar el índice de CBR en ambos suelos es de 8% del peso seco del suelo”. **(2)**

(Angulo & Zavaleta, 2020), en su tesis titulada: “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, distrito de San Juan – Maynas – Iquitos, 2019, concluye que se usaron dosis de 2%, 4% y 6% de cal hidratada y cal viva, en dos suelos, la calicata 01 de alta plasticidad, expansión y la calicata 02 de baja plasticidad y expansión, obteniendo como resultado que con la cal viva aumenta la resistencia, controla el efecto expansivo, reduce ligeramente la densidad y plasticidad. Mientras que la cal hidratada no ofrece grandes resistencias, y mantiene en similares condiciones la densidad, plasticidad y expansión”. **(3)**

(Angulo & Zavaleta, 2020), obtuvieron un resultado significativo “en suelos arcillosos, expansivos y de alta plasticidad se puede usar cal viva para la estabilización de suelos, en sectores que no tienen capa de rodadura”. **(3)**

(Jara, 2014), en su tesis titulada: “Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso, tiene importantes efectos y concluye que; 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. y 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%”. **(4)**

(Jara, 2014), “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”. **(4)**

(Jara, 2014), “el CBR de diseño al 95% máximo se logra con un porcentaje de cala 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 EM115). Este aumento del CBR de un 421.57%”. **(4)**

(Ramos & Robledo, 2020), en su tesis titulada: “Estabilización de la subrasante de la Av. Ahuashiyacu por medio de la concentración de cal, en el distrito de la Banda de Shilcayo, provincia y región San Martín, en la investigación se tomó los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la calicata N°1, para someterlo al análisis del ensayo del tratamiento de suelo con el aditivo cal en los porcentajes del 2%,4%,6% y 8%, en sus propiedades físicas y mecánicas, siguiendo el mismo procedimiento realizado en el suelo con 0% de cal, obteniéndose valores, en cuanto a los límites de consistencia, Máxima Densidad Seca y Relación de Soporte California (CBR)”. **(5)**

(Ramos & Robledo, 2020), concluye que, “La influencia de la cal como aditivo en el mejoramiento de los suelos de la av. Ahuashiyacu, causa incremento en la capacidad de soporte californiana (CBR) y resistencia al

corte de estos suelos arenosos limos arcillosos. De los cuatro tratamientos del suelo con cal, el que ofrece mejores ventajas lo constituye la estabilización con el 8 % de cal con un 22.00% de CBR de diseño”. **(5)**

(Vásquez & Marin, 2020), en su 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, concluye que, en 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%”. **(6)**

(Niño, 2018), en su tesis titulada: “Adición de cal para mejora de suelos confines de cimentación en condominio Monte – Carmelo, distrito el Carmen – Chincha – Ica, 2018, en base a los resultados obtenidos de los objetivos general, se logró determinar que la adición de cal mejora los suelos con fines de cimentación en condominio Monte – Carmelo, distrito El Carmen – Chincha - Ica, 2018, con un nivel de significancia de 0,004 siendo menor que 0,05, por lo que se acepta la hipótesis alterna, con una mejora en los suelos de 25,33%”. **(7)**

(Machco, 2019), en su tesis titulada: “Aplicación de cal para mejorar la estabilidad de subrasante en la calle Luna Pizarro A.H Cueva de los Tallos, Ventanilla, 2019; En conclusión, de acuerdo a los ensayos del Proctor modificado si mejora el óptimo contenido de humedad de acuerdo a los porcentajes de cal adicionado siendo para el 12%; 9.72% de humedad, para el 14%; 11.70% de humedad y para el 16%; 13.51% de humedad”. **(8)**

(Machco, 2019), concluye “Que el índice de CBR, si mejoro la capacidad portante, adicionado porcentaje de cal de 12% mejora la capacidad portante de 9.60% a 10.90%, adicionando 14% de cal mejora la capacidad portante de 9.60% a 15.20% y adicionando 16% de cal mejora de 9.60% a 16.10%”. **(8)**

(Guamán, 2016), en su tesis titulada: “Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio), concluye que el CBR del suelo estabilizado con Cal para los porcentajes de 7,5% y 12,5% con valores de 20,8% y 26% cumplen con lo establecido por las Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del Ministerio de Obras Públicas de la República del Ecuador de la sección 402 (Mejoramiento de la subrasante) y son mayores que el CBR mínimo que es de 20%. Mientras que para el suelo estabilizado con Cloruro de Sodio no cumple con la especificación”. **(9)**

(Huezo & Orellana, 2009), en su tesis titulada: “Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el Salvador, concluye que la adición del 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 compresión a temprana edad en probetas elaboradas con suelo natural son superiores que las de mezcla suelo-cal”. **(10)**

(Huezo & Orellana, 2009), “La ganancia de resistencia a la compresión en suelos estabilizados con cal, depende de diversos factores como el buen diseño de la mezcla suelo-cal, tipo de cal implementada, mineralogía del suelo y proceso constructivo de la capa suelo - cal, de ahí la importancia de establecer un plan de control de calidad que asegure la correcta ejecución de todas las etapas antes mencionadas. La

ganancia de resistencia a compresión simple inconfiada de probetas elaboradas con la energía de compactación AASHTO T 180 y AASHTO T 99 para 3 días con curado estándar, fue entre 20 y 30%, a los 7 días entre 40 y 50%, y a los 28 días entre 60 y 70%, de la resistencia obtenida a los 90 días”. **(10)**

(López & Zapata, 2020), en su tesis titulada: “Análisis de trabajos previos de la estabilización de un suelo usando cal a nivel de subrasante. Piura. 2021, En base al análisis de los trabajos previos y artículos científicos, se determinó las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural, con la finalidad de saber a qué tipo de suelo es que se realizó la estabilización, con la ayuda de las fichas documentales se logró determinar que las propiedades físicas de los suelos que más predominaron de las trece investigaciones analizadas, dio como resultado un 43% para arcillas de alta plasticidad y 43% para arcillas de baja plasticidad esto se debe a que se los suelos que más se recomienda estabilizar pertenecen a esta ámbito de las arcillas y para la propiedades mecánica, el ensayo de CBR dio como resultado que para las arcillas de alta plasticidad, un 6% el mayor y 1.93% el menor, para el caso de las arcillas de baja plasticidad el CBR dio 2.55% el mayor y 1.93% el menor, al tener presencia de este tipo de suelo con un índice de CBR menor del 6%, se concluye que dichos suelos son considerados como suelos pobres e inadecuados para ser utilizados en un pavimento a nivel de subrasante”. **(11)**

(López & Zapata, 2020), “En lo referente a la adición de cal al suelo, según los estudios analizados previamente se llegó a la conclusión de que el índice de plasticidad disminuye en gran proporción con la adición de 6% cal para suelos CL Y OH, por otra parte, la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de acuerdo al análisis de las

investigaciones se determinó que al añadir más porcentaje de cal baja la densidad y aumenta el óptimo contenido de humedad, esto se debe a que la cal es un material muy fino y con baja densidad, y para los suelos CH se infiere que del 6% al 9% se logra obtener resultados positivos al disminuir en índice de plasticidad, y en lo que concierne a la relación densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad se analizó que al añadir estos porcentajes de cal aumenta la densidad máxima así como también la humedad óptima”. (11)

(López & Zapata, 2020), “En lo que concierne a la proporción óptima de cal, se analizó el ensayo California Bearing ratio (CBR) donde de todas las investigaciones el porcentaje que más se utilizó y dio mejores resultados fue 6% cabe indicar que este porcentaje se encuentra entre el límite que estipula en manual CE:020 y puede ser utilizado en suelos que tengan propiedades similares”. (11)

(Castillo, 2017), en su tesis titulada: “Estabilización de Suelos Arcillosos de Macas con valores de CBR menores al 5% y Límite Líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como subrasante en Carretera, concluye que con la adición de cal se logró una reducción significativa en la humedad natural del suelo llevándola a condiciones de humedad en la que podía ser sometido a procesos de compactación. Al tratar estos suelos con cal viva se logra una disminución significativa en la reducción de la humedad del suelo, esta reducción es del 3.12% de humedad por cada porcentaje de cal añadido. El suelo tratado con cal viva mantiene el mismo comportamiento del suelo sometido a procesos de secados bajo humedades del 60% en cuanto a la determinación de límites de plasticidad y procesos de compactación descritos anteriormente. El tratamiento de estos suelos con cal viva en muestras que no han sido sometidas a procesos de secado previo produce una reducción del LL,

esta reducción es significativa hasta con un 20% de cal añadida, con este porcentaje se obtuvo una reducción del 169% al 153.9% en el LL, sobre este porcentaje de cal viva la reducción del LL no es significativa. Estos suelos al ser tratados con cal viva en muestras que no han sido sometidas a secado previo en las condiciones indicadas anteriormente, aumentan significativamente su valor del IP (118.1-143.8%) especialmente con un 10% de cal viva añadida, sobre este porcentaje de cal el aumento del IP es muy pequeño”. **(12)**

(Castillo, 2017), “El valor del CBR aumenta de manera apreciable al tratar estos suelos con cal, el aumento es alrededor de un 15.8% por cada porcentaje de cal que se añade”. **(12)**

(Hernández, Mejía, & César, 2016), en su tesis titulada: “Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la Facultad Multidisciplinaria oriental de la Universidad del Salvador, concluye que con la adición de cal al suelo natural se buscó aumentar su capacidad de soporte CBR, para que de este modo pueda cumplir con los requerimientos mínimos para poder ser usado como capa subrasante. Para ello se debe añadir 5% de cal en peso al suelo en su estado natural ya que de este modo se logra aumentar su valor de soporte de 1.93% al 54.00%. Confirmando así que el material con suelo-cal al 5% es factible para formar parte de la capa subrasante de un pavimento rígido”. **(13)**

(Hernández, Mejía, & César, 2016), “La adición de cal reduce el índice de plasticidad de 45% a 0% y además reduce su hinchamiento en un 88% de acuerdo a la consolidación unidimensional”. **(13)**

1.2. BASES TEÓRICAS

1.2.1. SUELO

1.2.1.1. DEFINICIÓN

(Crespo, 2004), describe “Que el suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan”. **(21)**

(Júarez & Rico, 2005), “Para los fines de esta obra, la palabra suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie. El agua contenida juega un papel tan fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo”. **(24)**

1.2.1.2. CLASIFICACIÓN DEL SUELO

(Braja, 1999), “Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la

distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Éstos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. El Sistema AASHTO lo usan principalmente los departamentos de caminos estatales y de condados, mientras que los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el Sistema Unificado”. **(22)**

- **SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO**

“El Sistema de Clasificación AASHTO actualmente en uso, se muestra en la tabla N° 01. De acuerdo con éste, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la criba No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en los grupos A4, A-5, A-6 Y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios: Tamaño del grano y plasticidad”. **(22)**

Tabla 1 : Clasificación de Materiales para Subrasante de carreteras.

| CLASIFICACIÓN GENERAL | MATERIALES GRANULARES (35% o MENOS DE LA MUESTRA QUE PASA LA MALLA N° 200) | | | | | | |
|--|---|--------|------------|----------------------------------|--------|--------|--------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | |
| | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 |
| Análisis por cribado (Porcentaje que pasa las mallas) | | | | | | | |
| N° 10 | 50 máx | - | - | - | - | - | - |
| N° 40 | 30 máx | 50 máx | 51 mín | - | - | - | - |
| N° 200 | 15 máx | 25 máx | 10 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx |
| Características de la fracción que pasa la malla N° 40 | | | | | | | |
| Límite Líquido | - | - | - | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín |
| Índice de Plasticidad | 6 máx | - | NP | 10 máx | 10 máx | 11 mín | 11 mín |
| Tipos usuales de materiales componentes significativos | Fragmentos de Piedra Grava y Arena | | Arena Fina | Grava y Arena Limosa o Arcillosa | | | |
| Tasa General de los Subrasante | De Excelente a Bueno | | | | | | |

Fuente: (Braja, 1999)

Para A-7-5, $IP \leq LL - 30$; Para A-7-6, $IP > LL - 30$

Tabla 2: Clasificación de Materiales para Subrasante de Carreteras.

| CLASIFICACIÓN GENERAL | MATERIALES LIMO - ARCILLA (MÁS DEL 35% DE LA MUESTRA QUE PASA LA MALLA N° 200) | | | |
|--|---|--------|-------------------|-------------------------|
| | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 A-7-5' A-7-6' |
| Clasificación de Grupo | | | | |
| Análisis por cribado (Porcentaje que pasa las mallas) | | | | |
| N° 10 | - | - | - | - |
| N° 40 | - | - | - | - |
| N° 200 | 36 mín | 36 mín | 36 mín | 36 mín |
| Características de la fracción que pasa la malla N° 40 | | | | |
| Límite Líquido | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín |
| Índice de Plasticidad | 10 máx | 10 máx | 11 mín | 11 mín |
| Tipos usuales de materiales componentes significativos | Suelos Limosos | | Suelos Arcillosos | |
| Tasa General de los Subrasante | De Mediano a Pobre | | | |

Fuente: (Braja, 1999)

- **SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)**

- **(Braja, 1999)**, “Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S. G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso”. **(22)**

- **(Braja, 1999)**, “Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos”. **(22)**

Tabla 3: Sistema Unificado de Clasificación; Símbolos de Grupo para Suelos Tipo Grava.

| SÍMBOLO DE GRUPO | CRITERIOS |
|-------------------------|---|
| GW | Menos de 5% pasa la malla N° 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3. |
| GP | Menos de 5% pasa la malla N° 200; no cumple ambos criterios para GW. |
| GM | Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura N° 04) o el índice de plasticidad menor que 4. |
| GC | Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se |

| | |
|-------|--|
| | grafican debajo de la línea A (figura N° 04) o el índice de plasticidad mayor que 7. |
| GC-GM | Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura N° 04 |
| GW-GM | El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM. |
| GW-GC | El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC. |
| GP-GM | El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM. |
| GP-GC | El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC. |

Fuente: (Braja, 1999)

Tabla 4: Sistema Unificado de Clasificación; Símbolos de Grupo para Suelos Arenosos.

| SÍMBOLO DE GRUPO | CRITERIOS |
|-------------------------|---|
| SW | Menos de 5% pasa la malla N° 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3. |
| SP | Menos de 5% pasa la malla N° 200; no cumple ambos criterios para SW. |
| SM | Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura N° 04) o el índice de plasticidad menor que 4. |
| SC | Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura N° 04) o el índice de plasticidad mayor que 7. |
| SC-SM | Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura N° 04 |
| SW-SM | El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM. |
| SW-SC | El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC. |
| SP-SM | El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM. |
| SP-SC | El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC. |

Fuente: (Braja, 1999)

Tabla 5: Sistema Unificado de Clasificación; Símbolos de Grupo para Suelos Limosos y Arcillosos.

| SÍMBOLO DE GRUPO | CRITERIOS |
|-------------------------|--|
| CL | Inorgánico; $LL < 50$; $IP > 7$; se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la figura N° 04). |
| ML | Inorgánico; $LL < 50$; $IP < 4$; se grafica debajo de la línea A (véase zona ML en la figura N° 04). |
| OL | Orgánico; $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL < 50$ (véase zona OL en la figura N° 04). |
| CH | Inorgánico; $LL \geq 50$; IP se grafica sobre o arriba de la línea A (véase la zona CH en la figura N° 04). |
| MH | Inorgánico; $LL \geq 50$; IP se grafica debajo de la línea A (véase la zona MH en la figura N° 04). |
| OH | Orgánico; $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la figura N° 04). |
| CL-ML | Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la figura N° 04. |
| Pt | Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos. |

Fuente: (Braja, 1999)

1.2.1.3. PLASTICIDAD DE LOS SUELOS

(Crespo, 2004), “La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separó los cuatro estados de consistencia de los suelos coherentes. Los mencionados límites son: Límite Líquido (L.L), Límite Plástico (L.P) y Límite de Contracción (L.C), y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio”. **(21)**

✓ LÍMITE LÍQUIDO

“El Límite Líquido se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. Se toman unos 100g de material que pasa la malla N° 40, se colocan en una cápsula de porcelana y con una espátula se hace una mezcla, homogénea y de consistencia suave agregándole una pequeña cantidad de agua durante el mezclado. (Ver figura 1)”. **(22)**

figura 1: Copa de Casagrande



Fuente: (Crespo, 2004)

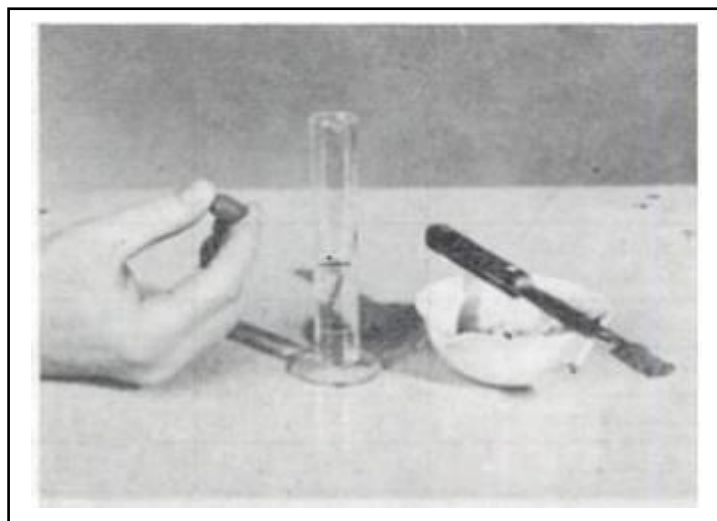
(Crespo, 2004), “El suelo colocado en la copa de Casagrande se divide en la parte media en dos porciones, utilizando para ello un ranurador, hecha la ranura sobre el suelo, se acciona la copa a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes necesario para que la parte inferior de talud de la ranura hecha se cierre precisamente a 1.27 cm (1/2”). Cuando se haya obtenido un valor consistente del número de golpes, comprendido entre 6 y 35 golpes, se toman unos 10g aproximadamente de suelo de la zona próxima a la ranura cerrada y se determina el contenido de agua de inmediato”. **(22)**

✓ LÍMITE PLÁSTICO

(Crespo, 2004), “El Límite Plástico (L.P) se define como el 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. Para determinar el límite plástico, generalmente se hace uso del material que, mezclado con agua, ha sobrado de

la prueba del límite líquido y al cual se le evapora humedad por mezclado hasta tener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. Se forma luego una pequeña bola que deberá rodillarse en seguida en la palma de la mano o en una placa de vidrio aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos”. (22)

figura 2: Límite Plástico



Fuente: (Crespo, 2004)

1.2.1.4. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

(MTC, 2014), “La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub rasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio, cuando se estabiliza una sub base granular o base

granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como sub base o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc.). La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación”. **(16)**

(MTC, 2014), “El manual ilustra diferentes metodologías de estabilización como: mejoramiento por sustitución de suelos de la sub rasante, estabilización mecánica de suelos, mejoramiento por combinación de suelos, suelos estabilizados con cal, cemento, escorias, emulsión asfáltica, estabilización química del suelo, estabilización con geosintéticos (geotextiles, geo mallas u otros). Sin embargo, debe destacarse la significación que adquiere contar con ensayos de laboratorio, que demuestren la aptitud y tramos construidos que ratifiquen el buen resultado. Además, se debe garantizar que tanto la construcción como la conservación vial, puedan realizarse en forma simple, económica y con el equipamiento disponible”. **(16)**

(Serigos, 2009), “La estabilización de suelos se practica con el objetivo de modificar propiedades naturales del suelo para mejorar su respuesta frente a las acciones mecánicas y los factores climáticos en forma perdurable. Las propiedades que generalmente se modifican son: resistencia, estabilidad volumétrica, compresibilidad, durabilidad y permeabilidad. Los

principales procesos de estabilización se clasifican en: mecánicos, físicos, químicos y físico-químicos. Los métodos prácticos de estabilización pueden involucrar uno o más procedimientos”. (17)

- **REQUISITOS PARA LA ESTABILIZACIÓN**

La modificación de suelo depende de las características del mismo y de sus deficiencias. En la mayoría de los casos se necesita aumentar la **Resistencia**. Si el suelo no cohesivo esto se puede lograr por confinamiento o dándole cohesión por un agente cementador o ligante. Si el suelo es cohesivo se puede aumentar la resistencia haciéndolo resistente a la humedad alterando la película de agua absorbida, aumentando la cohesión con un agente cementador y aumentando la acción interna. (17)

La reducción de la **compresibilidad** se puede lograr llenando los poros, cementando los granos con un material rígido o cambiando de las fuerzas absorbidas por el mineral de arcilla. La inmunidad a la **Retracción** y a la **Expansión** se puede lograr cementando, modificando la capacidad del mineral arcilloso para la absorción de agua y haciendo el suelo resistente a los cambios de humedad. La **Permeabilidad** se puede reducir llenando los poros con un material impermeable o modificando la estructura del mineral de arcilla y el agua absorbida para impedir la floculación. Se puede aumentar la permeabilidad quitando los granos finos o creando una estructura conglomerante. (17)

- **MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN**

Desde el punto de vista de su función o efecto en el suelo:

- Retención de humedad; que retiene la humedad del suelo.
- Resistencia a la humedad; que impide que la humedad entre en suelo o que afecte los materiales de arcilla.
- Cementación; que une las partículas entre si sin modificarlas.
- Relleno; que rellena los poros.
- Estabilización mecánica; que mejora la graduación del suelo.
- Alteración física – químico; que cambia el mineral arcilloso o el sistema de agua absorbida mineral arcilloso.

- **CONDICIÓN QUE DEBE PROPORCIONAR UN AGENTE ESTABILIZADOR**

- Debe ser compatible con el material del suelo.
- Debe ser permanente.
- Debe ser fácil de manejar y preparar.
- Debe tener bajo costo.

- **PROPIEDADES DE SUELOS QUE MÁS SE ESTUDIAN EN PROBLEMAS DE ESTABILIZACIÓN**

Estabilidad Volumétrica (Infiltración de humedad):
Referente a los suelos expansivos por cambio de humedad.
Se trata de transformar una masa de arcilla expansiva en una

masa rígida o en una granulada con sus partículas unidas por lazos suficientemente fuertes como para resistir las presiones interna de expansión. Esto se logra por tratamiento químico o térmico.

Tratamientos químicos: Para arcillas ubicadas cerca de la superficie del terreno, tratamiento térmico: Para arcillas más profundas. **(17)**

Resistencia: La compactación es una forma de estabilización mecánica a la que se recurre para incrementar la resistencia de los suelos. Algunas de las formas de estabilización más usadas para elevar la resistencia son las siguientes: Compactación, vibroflotación, precarga, drenaje, estabilización mecánica con mezclas de otros suelos y estabilización química con cemento, cal o aditivos líquidos. La resistencia es afectada cuando se tienen importantes contenidos de materia orgánica (suelos orgánicos), cuando la materia orgánica se descomponga se produce un material fibroso, el cual produce asentamientos en el suelo debido a cargas. **(17)**

Permeabilidad: se puede modificar por métodos como la compactación o la inyección. En materiales arcillosos el uso de floculantes (por ejemplo, polifosfatos) puede reducir la permeabilidad significativamente, pero el uso de floculantes (Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o yeso) aumenta el valor de la permeabilidad. En la actualidad se disponen de algunas sustancias que introducidas en el suelo en forma de emulsión pueden reducir mucho su permeabilidad (el uso de estas

sustancias puede ejercer efectos desfavorables en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. **(17)**

Durabilidad: aquellos que se refieren a la resistencia a la intemperie, a la erosión o a la abrasión de tráfico. Los problemas de durabilidad en las vías terrestres están asociados a suelos naturales como a suelos estabilizados (debido a diseños inadecuados como una mala elección del agente estabilizador o cuando se ignora la susceptibilidad de los suelos arcillosos estabilizados con cemento a la presencia de sulfato). **(17)**

1.2.1.5. TIPO DE ESTABILIZACIÓN

- ESTABILIZACIÓN MECÁNICA

(Serigos, 2009), “La estabilización mecánica consiste en el manipuleo y compactación de los suelos para obtener su densificación. Al aplicar energía mecánica se reducen los vacíos que se encuentran con aire en la masa de suelo lo que aumenta su peso unitario. De esta forma se logra un aumento en la resistencia, en la rigidez, una mejora en la estabilidad volumétrica y una disminución de la permeabilidad del suelo”. **(17)**

(Ravines, 2010), “Se define como un método de mejoramiento de las propiedades de los suelos a partir de ejercer una acción mecánica de corta duración de manera repetitiva sobre una masa de suelo parcialmente saturado, para esta acción se utilizan equipos llamados

compactadores, los cuales tienen como fin lograr aumentar la resistencia al corte”. **(14)**

Al compactar un suelo se obtiene:

- Mayor densidad, por lo que tendremos una mejor distribución de fuerzas que actúan sobre el suelo.
- Mayor estabilidad, pues al no compactar un suelo se tendrán asentamientos desiguales por lo tanto inestabilidad de la estructura.
- Disminución de la contracción del suelo, al existir espacios vacíos, provocando en suelos arcillosos la contracción y dilatación del suelo y por último ocasionará una disminución de los asentamientos. **(14)**

(Ravines, 2010), “Para asegurar una buena compactación deben realizarse pruebas de terreno, para definir qué equipo será el mejor para el tipo de material, el espesor de capas, el número de pasadas para cumplir con todas las especificaciones técnicas de densidad seca”. **(14)**

Los factores que intervienen en el proceso de compactación de los suelos son:

- Las características físicas de los suelos.
- El equipo de compactación.
- La forma de empleo del equipo seleccionado para un tipo de suelo en particular.

Entre los procedimientos de estabilización mecánica tenemos:

- **Amasado:** Se suele usar rodillos de pata de cabra, se utilizan para suelos finos cohesivos.
- **Impactos de carga:** Se utilizan pisones los cuales combinan el impacto, la vibración y el mezclado; son perfectas para áreas confinadas y se utilizan para compactar suelos finos.
- **Presión estática:** Con rodillos lisos y neumáticos que combinan utilizan la acción de amasado con el peso estático.
- **Vibración:** Se usan los rodillos vibratorios para ayudar al reacomodo de las partículas.
- **Métodos mixtos:** Es la combinación de los anteriores procedimientos. **(14)**

- ESTABILIZACIÓN FÍSICA

(Serigos, 2009), “La estabilización física más practicada es la granulométrica. Esta persigue la obtención de una adecuada granulometría, mediante el agregado de materiales granulares o cohesivos o ambos a la vez. Las partículas más gruesas suministran fricción y dureza, resistencia al impacto y al desgaste. Las intermedias acunamiento de la estructura y las más finas, con la humedad que las rodea, el medio ligante o cohesivo. Con granulometrías más cerradas se obtiene un mayor número de contactos entre partículas lo que aumenta la capacidad portante del suelo y se reduce la permeabilidad. Por el contrario, granulometrías peor graduadas se diseñan por ejemplo para obtener mezclas drenantes”. **(17)**

- ESTABILIZACIÓN QUÍMICA

(Serigos, 2009), “La estabilización química se logra mediante el intercambio iónico entre los granos del suelo y el producto estabilizante. Un ejemplo es el uso de sales neutras (cloruro de sodio, cloruro de calcio, etc.) que varían la tensión superficial y la presión de vapor de las soluciones de estos productos respecto del agua sin ellos, para mantener la humedad de compactación”. **(17)**

(Serigos, 2009), “La estabilización físico-química produce cambios en las propiedades del suelo mediante la incorporación de cementos orgánicos e inorgánicos y materiales impermeabilizantes. Algunos de los productos que se utilizan son la cal, el cemento Portland y el asfalto y sus subproductos. La selección del agente estabilizante dependerá del fin perseguido”. **(17)**

(Ravines, 2010), “Se usa por la adición de agentes estabilizantes químicos específicos; comúnmente se usa cemento, cal, asfalto, cemento portland, entre otros. Con esta tecnología de estabilización se busca generar una reacción química del suelo con el estabilizante para lograr la modificación de las características y propiedades del suelo; y así darle mayor capacidad de respuesta a los requerimientos de carga dinámica a los que estará sometido”. **(14)**

Los estabilizadores químicos pueden tener tres categorías:

- Para cubrir e impermeabilizar los granos del suelo o proveer de fuerza cohesiva.

- Para formar una adhesión cementante entre las partículas del suelo; proporcionándoles fuerza y durabilidad.
- Para suelos finos tipo arcillas; generarán una alteración en la naturaleza del sistema agua-arcilla, con la cual se tendrá como resultado una baja en la plasticidad; posibles cambios de volumen; hará que se formen uniones cementantes y por último se mejorará la resistencia aumentándola. **(14)**

(Angulo & Zavaleta, 2020), “Se refiere principalmente a la adición de agentes estabilizantes químicos específicos (aditivos sólidos y/o líquidos); comúnmente se usa cemento portland, asfalto, cal, cenizas, escorias, entre otros. Con este tipo de tecnología de estabilización se busca generar una reacción química del suelo con el o los estabilizantes para lograr la modificación de las características y propiedades de los suelos, de esta manera se obtiene una mayor capacidad de respuesta a los requerimientos de carga dinámica a los que estará sometido durante su vida útil”. **(3)**

- ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO

(MTC, 2014), “El material llamado suelo - cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua, seguida de una compactación y un curado adecuado. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente”. **(16)**

(MTC, 2014), “El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo Proctor como en la compactación de suelos. Las propiedades del suelo-cemento dependen de: Tipo y

cantidad de suelo, cemento y agua, ejecución y edad de la mezcla compactada y tipo de curado. Teniendo en cuenta que la resistencia del suelo-cemento aumenta de acuerdo al contenido del cemento y la edad de la mezcla. Al añadir el cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su índice de plasticidad IP disminuye, su límite líquido LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo. La dosificación de cemento para suelo – cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, de acuerdo a la siguiente”. **(16)**

***Tabla 6: Rango de cemento requerido en Estabilización de suelo
Cemento***

| <i>Clasificación de suelos AASHTO</i> | <i>Rango usual de cemento requerido porcentaje del peso de los suelos</i> |
|---|---|
| <i>A-1-a</i> | <i>3-5</i> |
| <i>A-1-b</i> | <i>5-8</i> |
| <i>A-2</i> | <i>5-9</i> |
| <i>A-3</i> | <i>7-11</i> |
| <i>A-4</i> | <i>7-12</i> |
| <i>A-5</i> | <i>8-13</i> |
| <i>A-6</i> | <i>9-15</i> |
| <i>A-7</i> | <i>10-16</i> |

Fuente: (MTC, 2014)

(MTC, 2014), “Es conveniente que la compactación se inicie cuando la humedad in situ sea la prescrita y en todo caso, en menos de una hora a partir del mezclado, y se debe terminar entre 2 y 4 horas, según las condiciones atmosféricas. A

nivel de subrasante, se exige un grado de compactación mínimo 95% de la MDS del Proctor modificado, según AASHTO T180 en la capa de base, sub base y afirmado el mínimo es de 100%”. **(16)**

(MTC, 2014), “Debe tenerse en cuenta, el problema del posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cemento, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cemento”. **(16)**

- **ESTABILIZACIÓN CON PRODUCTOS ASFÁLTICO**

(MTC, 2014), “La mezcla de los suelos con un producto asfáltico (emulsión asfáltica, asfalto espumado, etc.), tiene como finalidad el aumento de la estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo y así evite deformaciones de la capa mejorada bajo la acción del tránsito. En suelos cohesivos, se busca que el estabilizante aglomere las partículas de arcilla y obture los vacíos, impermeabilizando el suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas”. **(16)**

(MTC, 2014), “La dosificación necesaria de ligante es función principalmente de la granulometría (superficie específica) del suelo. Los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos, de reducida plasticidad, que presentan menos del 20% que pasa la malla N°200, $LL < 30$ e $IP < 10$ ”, así suelos plásticos muy finos no pueden estabilizarse a un costo razonable debido a la dificultad para pulverizarlos y la cantidad de bitumen exigido. En general, la cantidad de asfalto utilizado varía entre un 4% y un 7% y en todo caso la suma de agua para compactación más el asfalto no debe exceder a la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcla compactada”. **(16)**

(MTC, 2014), “Los materiales asfálticos usualmente empleados son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados de viscosidad media. La mezcla se hace con frecuencia in situ, y la elección del ligante asfáltico dependerá de la granulometría del suelo, de su contenido de humedad y de las condiciones climáticas. La granulometría puede ser abierta, cerrada con finos o cerrada sin finos, pero una mayor superficie específica exigirá un ligante de curado y rotura más lentos, para permitir una mezcla más adecuada. En zonas con temperaturas elevadas, también deberán usarse productos de curado y rotura más lentos, éstos podrán ser más viscosos. Existen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea. Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras”. **(16)**

(MTC, 2014), “Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material, aunque por economía se recomienda que se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad; puede usarse también con las arcillas, pero solo le procura impermeabilidad; además, para el caso de suelos plásticos, con otros productos se logra mayor eficiencia y economía”. **(16)**

(Leon, 2016), “Se permite un periodo de curado de dos días antes de liberar al tránsito la capa estabilizada. Si con el paso de los vehículos se observan desprendimientos del agregado, suspender el tránsito y someter a una nueva compactación en horas de mayor temperatura hasta que cese el fenómeno. El proceso de curado en la estabilización con asfalto tiene una gran importancia, depende de muchas variables, como cantidad de asfalto aplicado, humedad y viento, cantidad de lluvias y la temperatura ambiente; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con asfalto”. **(15)**

- **ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE SODIO**

(MTC, 2014), “El principal uso de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación. La sal o llamado también cloruro de sodio es un estabilizante natural, cuya propiedad fundamental es ser higroscópico, que absorbe la humedad del aire y de los materiales que le rodean,

reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el sodio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, produciéndose una acción cementante”. **(16)**

(MTC, 2014), “Los suelos que se usen para la construcción de Suelo – Sal (Suelo-Cloruro de sodio) deben estar limpios y no deben tener más de 3% de su peso de materia orgánica. El índice de plasticidad del suelo debe ser mayor a 8%, pero para la fracción de suelos que pasa la malla N°200 el requerimiento mínimo es de 12%. El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de Suelo – Sal. El espesor total de la capa de suelo estabilizado será de 150 mm o 200 mm, según se especifique en el proyecto. Se determina que normalmente la cantidad de cloruro de sodio está comprendida entre 50 y 80 kg/m³ de suelo a estabilizar”. **(16)**

- **ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE CALCIO**

(MTC, 2014), “Este producto trabaja de forma similar al cloruro de sodio, pero es preferible el uso de este, debido al efecto oxidante que tiene el cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y es un paliativo del polvo. Las características higroscópicas de este producto ayudan a

mantener la humedad en la superficie del camino. La dosificación es de 1% - 2% de cloruro de calcio en peso respecto del suelo seco. El mezclado, compactación y terminación son similares a los de la estabilización con cloruro de sodio; generalmente se aplica disuelto en agua mediante riego al comienzo de la jornada mientras el material esté en condiciones seco”. **(16)**

(MTC, 2014), “El suelo a estabilizar deberá presentar como mínimo el agregado grueso (1” – N° 4) de 10 – 60%, el agregado fino entre 10% – 30% como pasante en la malla N° 200, el índice plástico IP = 4% – 15% y sulfatos de 001% como máximo”. **(16)**

- ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE MAGNECIO

(MTC, 2014), “El cloruro de magnesio (MgCl) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodado más dura. Químicamente, el cloruro de magnesio está constituido aproximadamente por un 10.5% de magnesio, un 33.5% de cloro, un 52% de agua y un 4% de impurezas, grasoso al tacto por su gran contenido de humedad. Para el uso vial presenta las siguientes propiedades”. **(16)**

- Higroscópica: Posee la capacidad de absorber humedad del ambiente, incluso en zonas sumamente áridas.
- Ligante: Cohesiona las partículas finas, permitiendo consolidar la carpeta de rodado.

- Resistente a la evaporación: Posee una baja tensión de vapor, lo que permite que no se pierda la humedad absorbida.
- Baja temperatura de congelamiento: -32.8°C .
- Altamente soluble en agua: Permite elaborar una solución en forma rápida y sencilla. **(16)**

(MTC, 2014), “En los caminos pavimentados, el cloruro de magnesio puede utilizarse para prevenir la formación de hielo sobre la calzada (anti-icing), o bien para derretir hielo ya formado sobre el pavimento (de-icing), debido a que permite bajar el punto de congelamiento del agua e impedir la formación de hielo, a temperaturas ambientales por debajo de los -5°C . En los caminos no pavimentados, se utiliza bajo dos formas de aplicación diferentes”. **(16)**

- Como tratamiento supresor de polvo: el camino no pavimentado (afirmado) debe ser previamente preparado, humedecido y compactado, y estar libre de deterioro en superficie.
- Como estabilizador superficial: en este caso, se debe mezclar la parte superior de la capa de afirmado con el producto diluido en agua, en un espesor variable entre 7 y 15 cm de acuerdo al diseño efectuado. **(16)**

- ESTABILIZACIÓN CON ESCORIA DE FUNDACIÓN

(MTC, 2014), “Hoy en día las escorias de acería o de otros hornos de fundición se emplean en muchas partes del mundo, como material de base y sub base en los pavimentos, en la estabilización de subrasante, en la carpeta

asfáltica formando parte del ligante bituminoso. Al emplearse este subproducto en construcción de infraestructura vial se evita explotar nuevas canteras, manteniendo el paisaje de la zona; como no requiere procesar los agregados se reduce el consumo de energía y combustibles, y se reducen las emisiones de CO₂ al ambiente”. **(16)**

(Leon, 2016), “En los suelos estabilizados con escoria y cal el porcentaje estimado en peso de cal se encuentra en 1.5 y 3% y de la escoria entre 35% - 45% en volumen. La utilización de grados con tamaño máximo limitado al de las arenas facilita los trabajos de mantenimiento sin desgastar prematuramente las cuchillas de motoniveladoras ni formar estrías sobre la calzada”. **(15)**

- ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON CAL

(Montejo, 2002), “El uso de la cal en la estabilización de suelos sigue el propósito general de esta clase de trabajos, es decir, mejorar las características naturales del suelo de modo que aumente su capacidad para resistir los efectos inducidos por el tránsito (esfuerzo de corte) y los cambios volumétricos en diferentes condiciones de clima. La cal se adapta perfectamente en la mayoría de los casos para lograr positivos resultados, y su empleo suele ser conveniente por tratarse de un producto de costo moderado, de fácil manejo, así como de producción fácil y abundante. La incorporación de cal mejora en muchos casos las características plásticas de los suelos, haciéndolos más friables y por sobre todo, aumentando considerablemente el valor soporte, acción que

se ha demostrado continua en función del tiempo. Así mismo la cal elimina la susceptibilidad al agua de los suelos cohesivos reduciendo la tendencia al hinchamiento de los mismos. Tales hechos han inducido el empleo de la cal en las construcciones viales al extremo de constituir un material cuya aplicación va paulatinamente creciendo”. **(18)**

(Montejo, 2002), “Uno de los campos donde la cal promete considerables beneficios es en la provisión de "superficies de trabajo" y sub-bases para caminos construidos sobre suelos arcillosos pesados. La lluvia y la acción del tránsito de obra actuando simultáneamente, pueden convertir un lugar en impasable, retardando considerablemente el trabajo. La arcilla húmeda puede ser eventualmente removida y reemplazada por material granular, pero a un costo elevado”. **(18)**

(Montejo, 2002), “Un tratamiento con cal inmediatamente después de remover el suelo superficial puede resolver esta situación. La resistencia adicional conferida al suelo por la cal puede también aprovecharse para reducir el espesor de las bases superiores. Así mismo, puede usarse cal en combinación con otros estabilizantes dando lugar a sistemas mixtos de estabilización. La incorporación previa de cal puede ser ventajosa en el tratamiento de suelos plásticos (arcillas pesadas) con cemento. La cal reduce la plasticidad, facilita la posterior pulverización del suelo y por consiguiente el mezclado con el cemento portland, así como reduce las cantidades de este material. El costo de la incorporación de cal está compensada por las ventajas señaladas”. **(18)**

Según **(Huezo & Orellana, 2009)**, “El uso de cal para mejorar suelos con plasticidad, aparte de conseguir ese fin, aumenta también su resistencia a la compresión en función del tiempo. La cantidad de cal variara en función de la necesidad que se tenga y de las propiedades del suelo utilizado en la estabilización. Generalmente los porcentajes de cal utilizados en una estabilización variaran de un 2 a 8% en peso. Para que la cal reaccione adecuadamente se necesita que el suelo presente plasticidad ($IP > 10$), y se pueda lograr así la acción puzolánica, que aglomerará adecuadamente las partículas del suelo. El suelo-cemento adquiere su resistencia rápidamente, ya que solo se necesita que el cemento se hidrate adecuadamente. En cambio, el suelo-cal, necesita la reacción química de los iones calcio y los minerales arcillosos, que lentamente adquieren resistencia. Una ventaja del suelo cal es que su periodo de curado puede iniciarse más tarde, en cambio, el suelo-cemento requiere curado inmediato. Por lo general, las arenas no reaccionan favorablemente con la cal y no pueden estabilizarse con ella”. **(10)**

(Huezo & Orellana, 2009), “El éxito de la estabilización con cal, no solo para disminuir plasticidad, sino para adquirir resistencia, es el tipo de suelo o el tipo de mineral arcilloso que contenga. El criterio para diseñar en el laboratorio las mezclas suelo-cal, depende del papel que vaya a desempeñar la cal”:

- Modificador de plasticidad o humedad.
- Proporcionador de resistencia. **(10)**

1.2.2. CAL

(Angulo & Zavaleta, 2020), es el producto de la calcinación de rocas calizas, constituido principalmente por óxido de calcio (CaO) y otros componentes. El uso en pavimentos y carreteras se basan en normativas peruanas. Según la norma técnica peruana (NTP 334.125:2017) recomienda como los únicos tipos de cal para estabilización de suelos, donde:

1.2.2.1. TIPOS DE CAL

- CAL VIVA (ÓXIDO DE CALCIO)

(Vásquez & Marin, 2020), “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”. **(6)**

- CAL HIDRATADA (HIDRÓXIDO DE CALCIO)

(Vásquez & Marin, 2020), “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”. **(6)**

1.2.2.2. APLICACIÓN DE LA CAL

La revista (Española, 2010), describe “Que una de las aplicaciones más interesantes de la cal es su utilización para el tratamiento de suelos para carreteras y otras infraestructuras

que se apoyen en suelos no estabilizados. La estabilización de la arcilla con cal en la construcción tiene más de 5.000 años de antigüedad. Sin embargo, hablando de tiempos recientes, el tratamiento de arcillas con cal comienza en USA, en 1960, aplicando técnicas de la mecánica de suelos a las mezclas de cal y suelo, alcanzándose una práctica que aumento su popularidad con gran rapidez, construyéndose miles de kilómetros de carreteras, sobre arcillas estabilizadas, así como numerosos aeropuertos principales como el Dalias Fort Warth”.
(19)

La revista **(Española, 2010)**, informa que “La estabilización de los terrenos arcillosos con cal se ha convertido en una alternativa muy ventajosa a los métodos tradicionales de construcción de carreteras y otras infraestructuras, tanto desde el punto de vista técnico como económico, dando celeridad a la ejecución con e interés que ello conlleva en este tipo de obras de cara al cumplimiento de plazos”. **(19)**

Según la revista **(Española, 2010)**, los proyectos típicos para los que la estabilización con cal presenta un gran interés, incluyen:

- Autopistas, carreteras principales y secundarias.
- Pistas de aterrizaje y de servicios 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.

En la estabilización de suelos con cal intervienen tres elementos fundamentales: Los suelos, la cal y la mezcla cal-suelo. **(19)**

1.2.2.3. LA MEZCLA CAL Y SUELO

La revista **(Española, 2010)**, indica que “La cal aporta una solución interesante a la vez de económica a estos problemas, ya que: la aportación de cal viva permite secar los suelos excesivamente húmedos, utilizándola en sus diferentes formas (viva, apagada, o en lechada), mejora y estabiliza las características de los suelos arcillosos a corto y largo plazo, permite utilizar los suelos de la traza reduciendo o evitando el impacto ambiental debido a la extracción de otros suelos o al vertido de los procedentes de las excavaciones de la traza.

Los efectos de la cal al mezclarse con los suelos arcillosos pueden ser divididos en dos grupos principales: **(19)**

- Debidos a reacciones rápidas (minutos/horas); es una mejora por modificación inmediata que afecta a la humedad del suelo y a sus propiedades geotécnicas, mejorando su trabajabilidad y su comportamiento frente al agua.
- Provenientes de reacciones a largo plazo (semanas/meses); pueden asimilarse a una estabilización por cementación. **(19)**

- MEJORAS POR LA MODIFICACIÓN INMEDIATA

En cuanto a los análisis la revista **(Española, 2010)**, describe “Que las modificaciones del estado hídrico dependen de la forma en que se encuentra la cal y del porcentaje aplicado. Si se emplea cal viva, esta provoca un descenso inmediato de la humedad del suelo de aproximadamente de 3-4% por cada 1% de cal viva mezclada, por el efecto combinado de los tres procesos siguientes: **(19)**

- Hidratación de la cal viva.
- Evaporación de una cierta cantidad de agua.
- Aporte de materia seca (cal en polvo, por vía seca), que reduce la relación peso de agua/peso del sólido, que define el cálculo de la humedad del material resultante:

La revista **(Española, 2010)**, “En suelos demasiado húmedos, esta desecación mediante este secado durante la fase de mezclado se hace necesaria. Sin embargo, en suelo con humedades cercana a la óptima de compactación, o incluso menores, esta desecación deberá ser compensada con un aporte de humedad completamente mediante riego, siendo la cantidad de agua a añadir del orden del 30 por ciento del peso de la cal aportada”. **(19)**

Así mismo la revista **(Española, 2010)**, se refiere en lo que se refiere a las modificaciones de las características de la fracción arcilla del suelo, la cal en un suelo arcilloso produce cambios iónicos y floculación de partículas debido a que actúa sobre la carga eléctrica de las partículas arcillosas y modifica los campos eléctricos. **(19)**

(Española, 2010) “Una vez incorporado la cal en el suelo, las finas partículas de arcilla se aglomeran en elementos más gruesos y friables. Este fenómeno se llama floculación y se explica por la formación de nódulos de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ entre las finas láminas de arcilla, que provocan un intercambio iónico de los iones Na^+ de los suelos por iones Ca^{++} de la cal”. **(19)**

(Española, 2010), indica “Que en el laboratorio se comprueba por; disminución de la humedad natural del suelo (cal viva), una disminución del Índice de plasticidad (IP), aumento del límite de plástico, disminución de la densidad máxima Proctor, un aumento de CBR y un aplanamiento de la curva Proctor”. **(19)**

(Ravines, 2010), “Se les aplica a suelos arcillosos buscando reducir su plasticidad. Logra mejorar gradualmente la resistencia del suelo de un modo significativo pues baja el potencial cambio de volumen de estos suelos producidos por las variaciones de humedad, así reduce el índice de plasticidad. Para considerar el uso de la cal como estabilizador el IP del suelo deberá ser mayor a 10”. **(14)**

(Ravines, 2010), “Existen diferentes tratamientos que se le puede dar al suelo dependiendo de que tanto queramos mejorar las propiedades, así: una mínima cantidad de cal se utiliza para secar y modificar temporalmente los suelos; con este tratamiento se obtiene como resultado una plataforma de trabajo para la construcción de caminos temporales”. **(14)**

(Ravines, 2010), “Cuando queremos un tratamiento mucho más duradero, podemos recurrir a la estabilización permanente con cal, obteniendo como resultado una mejora estructural permanente del suelo. Podemos utilizar la cal en tres “tipos” distintos: cal viva (óxido de calcio - CaO; se produce de la transformación química del carbonato de calcio - piedra caliza - CaCO₃ - en óxido de calcio), cal hidratada (hidróxido de calcio - Ca (OH)₂; se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua) o una lechada de cal (es la suspensión de cal hidratada en agua, que puede elaborarse a partir de cal hidratada o cal viva). La cal hidratada es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en un fuerte matriz cementante”. **(19)**

(Ravines, 2010), “Los suelos tratados con cal y sujetos a períodos de congelamiento y descongelamiento pueden presentar inconvenientes y problemas de durabilidad”. **(19)**

(Ravines, 2010), “Los suelos que comúnmente se suelen estabilizar usando cal son los suelos clasificados como: CH, CL, MH, SM, SC, GC, con un índice de plasticidad mayor de 19 y con un porcentaje del 25% de finos que pasan la malla N.º 200”. **(19)**

(Huezo & Orellana, 2009), “La cantidad de cal variara en función de la necesidad que se tenga y de las propiedades del suelo utilizado en la estabilización. Generalmente los porcentajes de cal utilizados en una estabilización variaran de un 2 a 8% en peso. Para que la cal reaccione adecuadamente se necesita que el suelo presente plasticidad (IP>10), y se

pueda lograr así la acción puzolánica, que aglomerara adecuadamente las partículas del suelo. El suelo - cemento adquiere su resistencia rápidamente, ya que solo se necesita que el cemento se hidrate adecuadamente. En cambio, el suelo-cal, necesita la reacción química de los iones calcio y los minerales arcillosos, que lentamente adquieren resistencia. Una ventaja del suelo cal es que su periodo de curado puede iniciarse más tarde, en cambio, el suelo - cemento requiere curado inmediato”. **(10)**

(Leon, 2016), “El suelo - cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. Se puede utilizar la cal en tres “tipos” distintos: cal viva (óxido de calcio - CaO ; obtenido por calcinación de materiales calizos), cal hidratada (hidróxido de calcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua) o una lechada de cal (es la suspensión de cal hidratada en agua, que puede elaborarse a partir de cal hidratada o cal viva). La cal hidratada es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en un fuerte matriz cementante”. **(15)**

Según **(Lime, 2004)**, “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. 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 -75µm- 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”. **(20)**

Asimismo **(Lime, 2004)**, indica “Que la cal por sí misma puede reaccionar con suelos que contienen tan poca arcilla como 7% e Índices de Plasticidad tan bajos como 10. Si el suelo no es suficientemente reactivo, la cal puede ser combinada con una fuente adicional de sílice y alúmina. Tales puzolanas incluyen la ceniza volante y la escoria de alto horno. El sílice y alúmina adicional de las puzolanas reaccionan con la cal para formar el fuerte matriz cementante que caracteriza a una capa estabilizada con cal. Las mezclas correctamente proporcionadas de cal y puzolanas pueden modificar o estabilizar casi cualquier suelo, pero comúnmente se usan para suelos con plasticidad de baja a media”. **(20)**

(Leon, 2016), “También aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural, que de otro modo no permitirían la construcción de la capa de rodadura sobre ellos. Es frecuente que la mezcla se realice en dos fases, con un período intermedio de reacción de 1-2 días. La aplicación más usual de las estabilizaciones con cal es en subrasantes y como capa de rodadura, en zonas de suelos arcillosos y/o con canteras de materiales granulares lejanos”. **(15)**

Es importante mencionar los materiales utilizados para la estabilización con cal deben cumplir requisitos mínimos básicos establecidos en el Manual de carreteras sección suelos – pavimentos, EG 2013 sección 301.B y en la CE 020. **(23)**

Tabla 7: Requerimientos de suelos para estabilizar con cal

| | |
|--------------------------------|-------------------|
| % pasa el tamiz de 3" (75 um) | 100% |
| % pasa el tamiz N° 200 (75 um) | Mínimo 30% |
| Índice de plasticidad | Mínimo 10% |
| Materia orgánica | Máximo 3% en peso |
| Contenido de sulfatos | Máximo 0.2% |

Fuente: (CE. 020)

(Lime, 2004), determina “Que de acuerdo a esta tabla podemos desprender que todas las arcillas que cumplan con los requerimientos de suelos para estabilizar con cal son factibles para este uso. Asimismo, la validación de los porcentajes de malla # 3, malla # 200 y el IP, se encuentra en los certificados de ensayos de cada calicata. Asimismo, los ensayos de contenido de sulfatos se encuentran en anexos, resultando que no existe sulfatos en los materiales de la calicata explorada”. **(20)**

La National Lime Association resume las propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal, en lo siguiente: “Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.

- Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.

- Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
- La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
- Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
- Incremento de la resistencia a la compresión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzando en algunos casos hasta un 40% de incremento.
- Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR).
- Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.
- Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas. **(20)**

1.2.2.4. INFLUENCIA DE LA CAL EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

(Montejo, 2002), “La cal generalmente produce una disminución en la densidad de los suelos, modifica la plasticidad, y aumenta la capacidad soporte y resistencia al corte del material y reduce su hinchamiento”. **(18)**

La acción de la cal suele explicarse como efectuada por tres reacciones básicas:

- La primera es la alteración de la película de agua que rodea los minerales de arcilla.
- El segundo proceso es el de coagulación o floculación de las partículas del suelo, dado que la cantidad de cal ordinariamente empleada en las construcciones viales

(del 4 al 10% en peso) resulta en una concentración del ión de calcio mayor que la realmente necesaria.

- El tercer proceso a través del cual la cal afecta el suelo, es su reacción con los componentes del mismo para formar nuevos productos químicos. Los dos principales componentes que reaccionan con la cal son la alúmina y la sílice. Esta reacción es prolongada en la acción del tiempo y se manifiesta en una mayor resistencia si las mezclas de suelo-cal son curadas durante determinados lapsos de tiempo. Este hecho es conocido como "acción puzolánica". El grado al cual la cal reacciona con el suelo depende de ciertas variables tales como cantidad de cal, clase de suelo y período de tiempo del curado de la mezcla suelo-cal. **(18)**

1.2.2.5. INFLUENCIA DE LA CAL SOBRE LAS CONSTANTES FÍSICAS DEL SUELO

- LÍMITE LÍQUIDO-LÍMITE PLÁSTICO-ÍNDICE PLÁSTICO

(Montejo, 2002), "Una de las funciones más importantes de la cal es que modifica la plasticidad del suelo en forma bastante apreciable". **(18)**

- Para suelos con índices plásticos inferiores a 15, la cal incrementa el límite líquido en forma que el índice plástico experimenta un ligero incremento.
- Para suelos más plásticos (IP >15) la cal generalmente reduce el límite líquido y aumenta el límite plástico, traduciéndose en una disminución apreciable del índice plástico. **(18)**

- **LÍMITE DE CONTRACCIÓN**

(Montejo, 2002), se ha dicho que “La adición de cal flocula las partículas arcillosas del suelo transformando su textura elemental. La influencia sobre el límite de contracción que experimenta el suelo tratado. Como colorario de este hecho se observa una marcada reducción de la contracción lineal y de la razón de contracción”. **(18)**

1.2.2.6. INFLUENCIA SOBRE LA TEXTURA ELEMENTAL

(Montejo, 2002), “Como es natural, el flocular las partículas de arcillas por adición de cal, se produce una modificación de la textura elemental del suelo. Tal hecho es puesto en evidencia en el análisis mecánico por sedimentación, donde se observa una disminución de la fracción arcilla, aumentando la proporción de partículas de limo y arena fina, esta última en menor medida”. **(18)**

1.2.2.7. INFLUENCIA SOBRE LA DENSIDAD SECA

(Montejo, 2002), “Si se compacta una mezcla de suelo cal se obtiene por lo general una densidad seca menor que el correspondiente al suelo solo, para las mismas condiciones de compactación. Esta disminución puede alcanzar hasta un 5%”. **(18)**

1.2.2.8. INFLUENCIA SOBRE LA RESISTENCIA DE LOS SUELOS

(Montejo, 2002), “Si bien la cal disminuye la densidad de compactación del suelo, no ocurre lo mismo con la capacidad resistente del mismo. Por lo contrario, la adición de cal produce un aumento de la resistencia del suelo, medida por distintos ensayos como veremos a continuación, el inmediato aumento de resistencia del suelo es causado por los cambios en las películas que rodean las partículas de arcilla también como una granulación de estas partículas”. **(18)**

(Montejo, 2002), “El curado de las probetas durante cierto período de tiempo produce un aumento de resistencia. También puede observarse un efecto parecido aumentando la compactación de las probetas y ensayándolas después de un período de curado, el efecto debido a la acción cementa te de la cal, no aparece inmediatamente después de la compactación, sino al cabo de cierto tiempo en que tiene lugar la iniciación del fraguado”. **(18)**

(Montejo, 2002), “Los ensayos de valor soporte de California sobre suelos tratados con cal, muestran un pronunciado aumento de la estabilidad en relación con la del suelo, en la generalidad de los casos”. **(18)**

El ensayo se hace de acuerdo a la norma usual aplicada a los suelos, pudiendo introducir las siguientes variantes.

- Mezclar el suelo y la cal húmeda hasta el contenido óptimo y moldear la probeta enseguida.

- Después del mezclado y humedecido del suelo con cal, dejar la mezcla en reposo dos o cuatro horas, en cámara húmeda, después de lo cual se procede al moldeo de las probetas.
- Extender el periodo de reposo previo, a 24 horas procediendo después a moldear las probetas.
- Dejar la mezcla suelo-cal humedecida al óptimo, durante 7 días al aire. Pulverizar la masa, restablecer el contenido óptimo de agua y compactarlas.
- Dejar la mezcla suelo-cal en cámara húmeda durante 7 días, agregar el agua correspondiente al óptimo, compactar y ensayar según la norma.
- Con las probetas compactadas según lo dicho en 2) dejarlas durante un período de curado de 7 días y luego moldearlas.

En estos casos el período de inmersión es el común de 4 días y luego se hace la penetración del pistón.

Las variantes resumidas en los puntos anteriores tratan de reproducir distintas situaciones que pueden ocurrir en la mezcla suelo-cal durante los trabajos en el terreno, desde el mezclado hasta la compactación. **(18)**

1.2.2.9. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CAL

(Montejo, 2002), “Es indudable que, desde el punto de vista técnico-económico, la cantidad óptima de cal para estabilizar un suelo es el menor porcentaje capaz de modificar las propiedades del suelo, hasta el extremo requerido por el destino que habrá de dársele en el proyecto”. **(18)**

(Montejo, 2002), “el objetivo buscado contempla por lo general dos casos: Aumentar la resistencia a los esfuerzos normales y tangenciales. Reducir el hinchamiento. Para medir el primer factor pueden utilizarse algunos de los ensayos siguientes: Valor Soporte California, Compresión confinada, Ensayo triaxial, Estabilómetro o cohesímetro de Hveem. La comparación de los resultados debe hacerse entre los valores correspondientes al suelo solo mezclado con diferentes porcentajes de cal. La elección de la cantidad óptima recaerá en el menor porcentaje incorporado al suelo, capaz de conferirle las propiedades buscadas”. **(18)**

(Montejo, 2002), “Una vez seleccionado dicho porcentaje es aconsejable, por razones prácticas adicionarle un 0.5% al 1 % para tener en cuenta los desperdicios, inevitables durante las operaciones constructivas”. **(18)**

1.2.2.10. VENTAJAS DEL SUELO – CAL

- Es un material más impermeable.
- Mejora la durabilidad del suelo.
- Es resistente a la erosión.
- No presenta cambios de volumen con cambios de humedad.
- Tienen una capacidad de soporte mayor.
- Son más fácilmente trabajables.
- Contribuye a reducir la humedad natural del suelo.
- Se mejoran las transferencias de cargas en las juntas.
- Reduce los costos generados por mantenimiento.

- Permite una reducción en el espesor de la carpeta de rodadura a utilizar para la misma categoría de tráfico.

1.2.2.11. DESVENTAJAS DEL SUELO-CAL

- En altos porcentajes de cal aumenta la plasticidad del suelo tratado.
- Es indispensable disponer de espacios grandes para mezclar el material antes de colocarlo.

1.2.2.12. ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CAL

- ESCARIFICACIÓN Y PULVERIZACIÓN INICIAL

(Lime, 2004), “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. Una subrasante escarificada o pulverizada ofrece más área de contacto superficial de suelo para la cal en el momento de la aplicación”. **(20)**

- Aplicación de la cal viva

(Lime, 2004), “Existen dos formas en que la cal viva seca puede ser aplicada. La primera, los camiones autodescargables o trailers 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, para el empleo de una barra de extensión neumática, la cal viva se muele ($\frac{1}{4}$ " por 0) para fluir libremente. aplicador mecánico sobre la parte posterior de un camión o trailer, 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". **(20)**

(Lime, 2004), "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". **(20)**

(Lime, 2004), "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”. **(20)**

- **Mezcla preliminar y aplicación de agua**

(Lime, 2004), “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”. **(20)**

- **Periodo de fraguado**

(Lime, 2004), “La mezcla de suelo y cal debería fraguar suficientemente para permitir la reacción química que cambia las propiedades del material. La duración de este período de fraguado debería basarse en el juicio de ingeniería y depende del tipo de suelo. El período de fraguado, 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, por lo general, el fraguado no es necesario”. **(20)**

- **Mezcla final y pulverización**

(Lime, 2004), “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 (Figura16). 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”. **(20)**

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Hoy en día, es importante recalcar que el medio de comunicación y transporte que genera bastante demanda a nivel nacional y mundial son las carreteras. La construcción de carreteras beneficia enormemente a todas las ciudades, permitiéndolos conectarse generando un gran desarrollo en el País.

Sin embargo, las carreteras presentan una vida útil corta, dependiendo del tipo de pavimento que se considera en su construcción. Estas presentan deficiencias a lo largo de su vida útil, debido a factores climatológicos desfavorables, proceso constructivo de baja calidad, exceso de peso por incremento de tráfico, etc; implicando que dicha carretera genere su mantenimiento respectivo, que si bien sabemos son costosos.

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. **(6)**

Uno de los factores muy importantes del suelo es su capacidad portante. Nuestra región normalmente está conformada por suelos arcillosos de alta plasticidad, presentando baja capacidad portante, debido a los constantes cambios climatológicos predominando las lluvias de altas intensidades.

En el AA. HH las Colinas, calle las lagunas, precisamente presenta deficiencias en su capa de subrasante siendo éste un material arcilloso, viéndose afectada para el acceso de los vecinos y visitantes, y no siendo óptimo para su posterior construcción de Pavimento, debido a su baja Capacidad Portante y Resistencia.

Con la finalidad de solucionar este problema se propone como alternativa para el mejoramiento de sus características, la estabilización del material adicionando cal, buscando de esa manera cumplir con los requisitos que estipulan la norma MTC (Manual de Tránsito y Carreteras) para su aplicación como subrasante.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el efecto de la cal viva como material estabilizante, en las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de suelo arcilloso en el AA. HH Las Colinas, Calle Lagunas - San Juan Bautista - 2021?

2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de suelos arcillosos en su estado natural y estabilizada con cal en el AA. HH Las Colinas, Calle Laguna - distrito de San Juan Bautista - 2021?

- ¿Cuál es el óptimo contenido de cal viva como estabilizante, en las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de un suelo arcilloso en el AA. HH Las Colinas, Calle Laguna - distrito de San Juan Bautista - 2021?

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la cal viva como material estabilizante, en las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de suelo arcilloso en el AA. HH Las Colinas, ¿Calle Lagunas - San Juan Bautista - 2021

2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de suelos arcillosos en su estado natural y estabilizada con cal en el AA. HH Las Colinas, Calle Laguna - distrito de San Juan Bautista - 2021
- Determinar el óptimo contenido de cal viva como estabilizante, en las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de un suelo arcilloso en el AA. HH Las Colinas, Calle Laguna - distrito de San Juan Bautista – 2021

2.4. HIPÓTESIS

- ✓ **Hi:** Adicionando cal viva (1%, 3%, y 5%), en el suelo arcilloso de la subrasante de la calle Laguna, influye significativamente en sus propiedades físicas y mecánicas (límites de Atterberg, la densidad seca máxima y el valor relativo de soporte).
- ✓ **Ho:** Adicionando cal viva (1%, 3%, y 5%), en el suelo arcilloso de la subrasante de la calle Laguna, no influye significativamente en sus propiedades físicas y mecánicas (límites de Atterberg, la densidad seca máxima y el valor relativo de soporte).

2.5. VARIABLES

- IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable Independiente:

X1: Estabilización con cal viva.

Variable Dependiente:

Y1: Subrasante de Suelo Arcilloso.

- **DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL DE LAS VARIABLES**

Variable Independiente (X1): Estabilización con cal viva

La estabilización con cal viva significa mejorar significativamente sus propiedades físicas y mecánicas del suelo, consiguiendo resistencias óptimas.

Variable Dependiente (Y1): Subrasante de Suelo Arcilloso.

Las subrasantes de los suelos son las capas que reciben los distintos tipos de pavimentos que se desee ejecutar sobre ella, el suelo arcilloso por lo general no cumple con la capacidad cortante mínima que la norma MTC especifica, buscando de esa forma mejorarla para su aplicación.

Matemáticamente se expresa:

$$Y1 = F(X1)$$

- OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

- **Variables:**

Variable Independiente (X1): Estabilización con cal viva

Variable Dependiente (Y1) : Subrasante de Suelo Arcilloso.

- **Indicadores:**

(X1): Propiedades de la cal; porcentaje de cal; Peso de cal.

(Y1): Propiedades del Suelo; Límites de Consistencia del Suelo; Ensayo de Proctor Modificado; CBR.

- **Índices:**

(X1): Determinación Aproximado Óptimo de los porcentajes de cal viva; Cálculo del porcentaje respecto al peso del material a estabilizar; Cantidad de Cal en gramos.

(Y1): Determinación del Índice de Plasticidad del Suelo, Densidad Seca del Suelo, Humedad Óptima del Suelo, Compactación del Suelo (Proctor Modificado), Resistencia al Corte.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.METODOLOGÍA

Esta investigación es experimental, se efectuó el estudio exploratorio de un suelo arcilloso adicionándole proporciones de cal viva como material estabilizante en el A.A.H.H Las Colinas, Calle Lagunas – San Juan Bautista – 2021.

Se objetivo con la recolección de muestras, trabajos de campo; donde se realizó reconocimiento de la zona de estudio, posterior a ello se procedió con las exploraciones geotécnicas mediante la excavación de una calicata para la extracción del material. Se compró cal viva, comercializada en una ferretería de la ciudad de Iquitos; un saco de 33 kg, y se procedió a solicitar las especificaciones técnicas para acreditar que el producto era de buena calidad. Ya realizada la recolección de las muestras, su traslado al Laboratorio de Suelos de la Universidad Científica del Perú - UCP. Según el programa experimental que se 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 (1%, 3%, 5%) 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 la cal viva.

3.2. TIPO DE ESTUDIO

Aplicada, porque se aplica los conocimientos adquiridos, y la adquisición de mayores conocimientos, después de la práctica realizada tras el desarrollo de la investigación, **ESTUDIO EXPLORATORIO DE ESTABILIZACIÓN DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO CON CAL VIVA COMO MATERIAL ESTABILIZANTE EN EL A.A.H.H LAS COLINAS, CALLE LAGUNAS - SAN JUAN BAUTISTA – 2021.**

3.3. DISEÑO DE ESTUDIO

Experimental, porque se manipula la variable independiente (estabilización de suelos arcillosos con cal viva) para obtener diferentes resultados de ensayos de laboratorio de suelos, luego, verificar la modificación de la variable dependiente (propiedades físico-mecánicas).

Prospectivo, porque existe una cierta información de resultados en manuales y normativas sobre la utilización de cal que ayudan a la realización de los ensayos, con lo cual se puede administrar los límites y rangos de resultados.

La representación gráfica es la siguiente:

G1: O1 X O2

Donde:

G1: Grupo Experimental

X: Estabilización del suelo arcilloso con cal viva

O1: Test antes del experimento

O2: Test después del experimento

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

La Población está conformada por suelos arcillosos de baja plasticidad del A.A.H.H Las Colinas, Calle Lagunas – San Juan Bautista – 2021, los cuales son sujetos a evaluación y análisis de sus propiedades físicas y mecánicas.

3.4.2. MUESTRA

Para la cantidad de muestra se determinará a criterio no probabilístico, considerándose objeto de estudio una (01) calicata de suelo arcilloso de baja plasticidad del A.A.H.H Las Colinas, Calle Lagunas – San Juan Bautista – 2021, con la cual elaboraremos ensayos adicionándolo porcentajes de cal de 0%, 1%, 3% y 5%, según se visualiza en las siguientes tablas.

Tabla 8: Cantidad de Muestra por Calicata.

| Ensayo | Cantidad (Kg) |
|--------------------------------|----------------------|
| Contenido de humedad | 5.00 kg |
| Límites de consistencia | 5.00 kg |
| Granulometría | 5.00 kg |
| Ensayo Proctor | 45.00 kg |
| Ensayo CBR | 60.00 kg |
| Total, por calicata | 120.00 kg |

Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla 9: Cantidad de Ensayos

| Variable/Código | M0 | M1 | M3 | M5 | Parcial |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| Especímenes Límite Líquido y Plástico | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| Especímenes densidad seca máxima | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Especímenes CBR | 2 | 2 | 2 | 2 | 8 |
| Total de ensayos | | | | | 24 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se efectuaron las exploraciones de campo y se procedió a excavar una calicata de 1m de ancho por 1.50 metros de profundidad en el A.A.H.H Las Colinas, Calle Lagunas, y se tomaron un promedio de 120 kg de arcilla.

La información conseguida en campo contribuirá a la realización de la clasificación de suelos por el método SUCCS y AASTHO, además de los ensayos necesarios como límites de Atterberg, Proctor Modificado, CBR y expansión. La aplicación de la información señalada en el párrafo anterior, permitirá efectuar el análisis de los datos obtenidos, logrando así cumplir con los objetivos trazados, asimismo se podrá obtener conclusiones y recomendaciones concretas.

3.5.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos acerca de la efectividad de la Cal viva como material estabilizante, se determinará mediante ensayos realizados sobre probetas estabilizadas y sobre probetas del suelo de la subrasante de la calle la Lagunas, teniendo como criterio de efectividad; la mejora en una propiedad de desempeño de los resultados obtenidos de las probetas estabilizadas sobre las otras (adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones – Norma técnica de estabilizadores químicos), como también se recogerá información importante a través de la revisión de otras investigaciones relacionadas con Cal viva en la estabilización de carreteras no pavimentadas.

3.6. LABORATORIOS Y PROCEDIMIENTOS

Los Ensayos (estándares y especiales) a realizar en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de Construcción de la UCP, las muestras de suelo arcilloso, cal viva y la mezcla adicionando cal viva serán sometidas a los ensayos siguientes:

ENSAYOS REALIZADOS

- **Físicas**

1. Análisis Granulométrico por Tamizado. (Norma MTC E 107-ASTM D 422).
2. Humedad Natural. (Norma MTC E 108-ASTM D2216).
3. Límites de Atterberg – Límite Líquido. (Norma MTC E 110-ASTM D4318).
4. Límite Plástico. (Norma MTC E 111-ASTM D4318).
5. Índice de Plasticidad. (Norma MTC E 111-ASTM D4318).

6. Clasificación de Suelos método SUCS. (Norma ASTM D2487).
7. Clasificación de Suelos método AASHTO. (Norma ASTM 3282).

- **Mecánicas**

1. Proctor Modificado. (Norma MTC E 115-ASTM D1557).
2. California Bearing Ratio. (Norma MTC E 132-2000; ASTM D1883).

Los ensayos de laboratorio se desarrollarán 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 visualizarán en el Anexo correspondiente del Informe Final del proyecto.

3.7. MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZAR

3.7.1. MATERIALES

Material a utilizar para realizar el Proyecto:

- Suelo arcilloso de la subrasante del AA.HH. las Colinas, calle las Lagunas.
- Cal Viva.
- Agua potable.

3.7.2. EQUIPOS

Los equipos a utilizar son los siguientes:

- **Tamices:** Para análisis granulométrico mediante tamizado por lavado (ASTM D422).

- **Taras:** Para secado de muestra en el horno, taras de todos los tamaños.
- **Balanza Electrónica Digital:** Con precisión dentro del 0.1% para el pesado de muestras.
- Bandejas, Cepillos y brochas.
- Muestra representativa del suelo.
- **Horno de Secado:** Se utiliza para secar el material agregado a temperaturas de acuerdo a las normas técnicas establecidas. Fuente de calor capaz de mantener una temperatura de 110°C + 5°C.
- **Copa Casagrande:** Equipo respectivo para ensayo de límite líquido.
- **Placa de vidrio:** Para realizar ensayo de límite Plástico.
- **Moldes:** Para Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557); y Ensayo de CBR (ASTM D1883).
- **Martillo:** Para Compactación adecuada de cada ensayo a realizar, peso de 10 lb.
- **Diales:** Para determinación de la expansión del suelo.
- **Penetración CBR:** Para determinación del valor CBR.

3.8. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS A REALIZAR

- **Análisis Granulométrico mediante tamizado por lavado:**
Según Norma ASTM D 422.
- **Cuarteo de la muestra;** Mezclamos la muestra hasta obtener una muestra uniforme.
Dividimos la muestra uniforme en cuatro partes iguales.

Se efectuará un cuarteo, se revuelve el material y después se separará en cuatro partes con ayuda de una regla. Se tomará dos partes opuestas por el vértice. Luego se tomará dos de las cuatro partes y mezclamos, de esta forma reducir la muestra hasta completar el peso requerido.

- **Secado en el horno;** Luego se pesó la muestra selecciona y lo llevamos al horno por 24 horas.
- Una vez secado y fría la muestra del suelo arcilloso en el horno, ésta se pesó y se anotó el peso de la muestra secada al horno.
- **Materiales que se usaron son los siguientes;** Muestra seca aproximadamente 504.96 gr.
- **Los equipos que se utilizaron son los siguientes;** Tamices N^a 10, 20, 40, 50, 100 y 200. Posterior a ello tener en cuenta el uso de la Balanza Electrónica Digital y las Taras.
- **El procedimiento a desarrollar el análisis es la siguiente:**

Se seleccionó una porción de la muestra para tamizarlo por la malla N^a 40, la cantidad de muestra para el ensayo respectivo es aproximadamente 504.96 gr, para el caso un peso de muestra de 504.96 gr. Luego se pasó a realizar una breve trituración del material seco y posterior a ello el lavado de la muestra con la malla N^a 200, para el lavado de la muestra se tiene muy en cuenta el manejo y forma del lavado sin presionar hacia la malla, para no perder partículas mayores a 0.074 mm. Posterior al lavado se procedió a ingresar la muestra al horno para su secado correspondiente, el material retenido debe secarse en el horno por 24 horas, luego de esa etapa se enfría la muestra y se pesa. Así se obtiene el peso lavado y secado al horno.

Cumplido las 24 horas, se procedió con el tamizado y se emplean las mallas N^a 10, 20, 40, 50, 100 y 200. Para ello se colocaron las mallas en forma ordenada, de la más pequeña a la

más grande, de abajo hacia arriba. En la parte inferior se coloca una charola y en la parte superior se coloca una tapa.

Se vierte el suelo en la malla ubicada en la parte superior de mayor abertura, la muestra se echa por la parte superior de la serie de tamices y luego se acude por espacio de 10 a 15 minutos, se debe tener cuidado de no perder material durante el zarandeo.

Luego del tamizado se procedió a pesar el material retenido en cada malla.

Como se reflejan los datos en la tabla N^a 10.

Formula aplicada:

$$\% \text{Retenido} = (W \text{ mall} * 100) / W1$$

Ejemplo:

Donde W: Peso retenido por la malla

W1 : Peso de la muestra secada al horno

Para la malla N^a 10

$$\% \text{Retenido Parcial} = (0.14 * 100) / 177.78 = 0.08$$

Ver Tabla N^a 10

$$\% \text{Retenido Acumulado} = 0.08 + 0.11 = 0.19$$

| % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado |
|---------------------------|-----------------------------|
| 0,11 | 0,11 |
| 0,08 | 0,19 |

- **Límite Líquido: Norma ASTM D 4318.**

El límite líquido en el suelo es el contenido de humedad expresado en % del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite

entre el estado plástico y el estado líquido. El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

- Los materiales que se usó son los siguientes; muestra seca que pasa el Tamiz N^o 40.
- Los equipos que se empleó son los siguientes; Copa Casagrande, Ranurador, Espátula, Taras y Balanza Electrónica Digital con sensibilidad de 0.1 gr.
- El procedimiento a determinar el Límite Líquido es la siguiente: Conforme a lo establecido en la norma ASTM D 4318 se procedió a determinar el límite líquido empleando la Copa de Casagrande, que expresa la relación del contenido de agua en un suelo y el número de golpes en la copa de Casagrande.
- Se colocó la muestra de suelo en la tara de aluminio y se mezcló completamente con 15 a 20 ml de agua potable, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizamos más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml. Mezclamos completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición.
- Una vez ya realizado una mezcla homogénea y la consistencia producida requerida de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre, se colocó una porción de la mezcla en la cazuela sobre el sitio en que ésta reposa en la base, y comprímase hacia abajo, se extendió el suelo hasta obtener la posición uniforme con tan pocas pasadas de la espátula como sea posible, se tuvo cuidado de evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa. nivelamos el suelo con la espátula y al mismo tiempo emparéjese hasta conseguir una

profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo. Posterior a ello se regresa el exceso de suelo a la tara de aluminio.

- Dividimos el suelo en la taza de bronce por pasadas firmes del acanalador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas. Para evitar rasgaduras en los lados de la ranura o escurrimientos de la pasta del suelo a la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el acanalador debe penetrar un poco más profundo hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. Se hizo una ranura con el menor número de pasadas posible.
- Se realizaron los golpes, la taza de bronce girando la manija F, a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (0.5"). se anotó el número de golpes requeridos para cerrar la ranura, teniendo como resultado a 18 golpes.
- Luego se sacó una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, tomándola de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura e incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto, y colocó en un recipiente adecuado.
- Se transfirió el suelo sobrante en la taza de bronce a la tara. Se lavó y se puso al horno para su secado respectivo, la taza de bronce y el ranurador y ármese de nuevo el aparato del límite líquido para repetir el ensayo.

- Se procedió a repetir la operación anterior por lo menos en dos ensayos adicionales, con el suelo restante en la vasija de porcelana, al que se le ha agregado agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez. El objetivo de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25. De esta manera, el alcance de las 3 determinaciones se dio en 18, 22 y 30 golpes.

Fórmula empleada para calcular el contenido de humedad del suelo, se expresa en % del peso de suelo secado en el horno:

$$\text{Contenido de humedad} = (\text{Peso del agua/Peso del suelo secado en el horno}) * 100$$

- Se calculó el porcentaje de humedad. Luego se desarrolló la curva de flujo. Y se trazó una, "curva de flujo" que represente la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes de la taza de bronce, en un gráfico. Con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como Abscisa sobre la escala logarítmica. la curva de flujo es una línea recta promedia, que pasa tan cerca como sea posible a través de los tres o más puntos dibujados. Se tomó el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como límite líquido del suelo y aproxímese este valor a un número. **Ver tabla 10**

- **Límite Plástico: Norma ASTM D 4318.**

El límite plástico es el contenido de humedad para el cual el suelo se fractura al ser amasado en bastoncitos de diámetro 1/8" (3 mm) cuando se amasa una pequeña porción de suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa.

- Los materiales que se empleó son los siguientes; Una porción de la Muestra seca.
- El equipo se utilizó son los siguientes; Placa de Vidrio, Taras y Balanza Electrónica Digital.
- El procedimiento a determinar el Límite Plástico es la siguiente:
Se usó un suelo que pasó la malla N^a 40, se prepara el suelo, con agua hasta obtener una mezcla posible de amasar, se amasó la mezcla hasta obtener una consistencia que nos permitió rolar el suelo, se hizo rolar el suelo y se continuó rolando hasta conseguir cilindros que llegue al 3mm se agrieten, luego se introdujeron los cilindros de suelo dentro de los recipientes para promediar el valor de la humedad obtenido con cada uno. Se pasaron los recipientes que contienen el suelo húmedo. Luego se los lleva al horno para su posterior secado, una vez secado se lo vuelve a pesar y posteriormente se realizan los cálculos necesarios para obtener la humedad correspondiente al límite plástico.

Se tienen los siguientes datos:

W_{sh} + recipiente (peso del recipiente + suelo húmedo)

W recipiente (peso del recipiente)

Luego de secado en el horno

W_{ss} + recipiente (peso del recipiente + suelo seco)

$(W_{sh} + \text{recipiente}) - (W_{ss} + \text{recipiente}) = W_w(\text{peso del agua})$

$(W_s + \text{recipiente}) = (W + \text{recipiente}) = W_s(\text{peso del suelo seco})$

$w = W_w / W_s$

- **Proctor Modificado: Norma ASTM D 1557.**

- Los materiales que se emplearon son los siguientes; Muestra seca, Papel, Bolsas descartables, Guantes, Mascarillas y Lentes para proteger los daños que pudieran ocasionar el material estabilizante.
- Los equipos que se utilizaron son los siguientes; Moldes de compactación de 4159 gr y volumen de 940 cm, Pisón o martillo, Balanza Electrónica Digital y Regla Metálica.
- El procedimiento a determinar el Proctor Modificado es la siguiente:

Conforme a lo establecido en la norma ASTM D 1557, se tamizó la muestra por la malla N^o 04 (4.76 mm) y luego se preparó 4 bandejas por cada Proctor a elaborar, cada bandeja con un peso de 2200, 2178, 2134 y 2090 gramos respectivamente. Se procedió a determinar el contenido húmedo de la muestra y para calcular la cantidad de agua requerida.

Preparada las muestras y materiales a utilizar se procedió a moldear las probetas para los ensayos respectivos. Se dosificaron con diferentes contenidos de Cal viva y el contenido de agua adecuada en cada caso.

Las probetas se dosificaron con los contenidos de cal viva al 0%, 1%, 3%, y 5 %, se definió mediante el manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. El procedimiento consistió en la densificación del material mediante la aplicación de 25 golpes por cada capa uniformemente

distribuido, en 5 capas, ejecutada por un partillo para Proctor en caída libre. Para cada probeta se tomó una muestra de material para realizar un control de humedad. Con la prueba de Proctor modificado se logró determinar el óptimo contenido de humedad para cada porción de Cal viva adicionado, así como también la densidad seca del suelo compactado.

- **Relación de Soporte California: Norma ASTM D 1883.**

- Los materiales a usar son los siguientes; Muestra seca, Papel, Bolsas descartables, Guantes, Mascarillas y Lentes para proteger los daños que pudieran ocasionar el material estabilizante.
- Los equipos a utilizar son los siguientes; Moldes de compactación con collar y base, Disco espaciador (Espesor = 6.14 cm), Martillo de compactación, Dial (para medir la expansión), Maquina de compresión equipada con pistón de penetración con la capacidad máxima de 5000g kg y Balanza Electrónica Digital.
- El procedimiento a determinar la Relación de Soporte California es la siguiente:

Conforme a lo establecido en la norma ASTM D 1883, se tamizó la muestra por la malla N^a 04 (4.76 mm) para luego preparar 3 bandejas por cada ensayo a elaborar, cada bandeja con un peso de 5000 gramos respectivamente. Se procedió a preparar la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación Proctor Modificado. Se ensambló los moldes cilíndricos con sus placas de base, collares de extensión, discos espaciadores y papeles de filtro. Se procede compactar la muestra en los 3 CBR en cada uno de ellos en 5 capas, el

primero con 12 golpes, el segundo con 25 golpes y el tercero con 56 golpes por capa.

Las probetas realizadas en estado natural y dosificadas se introdujeron directamente al agua por 4 días (96 horas), del mismo modo se puso el dial para tomar lecturas de la expansión durante el tiempo de curado. Después de finalizar los curados se procedió a realizar las lecturas de deformación y penetración.

Luego de haber obtenido los resultados de los ensayos con diferentes % de cal viva (1%, 3% y 5%), se procede a la creación de cuadros y gráficos con el programa Microsoft Excel.

Se realiza comparaciones de los resultados que experimentaron cada muestra con los diferentes tipos de porcentajes en cal viva.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

- RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELO ARCILLOSO

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.

Es una Arcilla inorgánica, de color anaranjado, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de baja plasticidad, clasificado como (CL) A-6 (10). El porcentaje que pasa la malla N^a 200 es de 67.01%.

| | |
|-------------------------------|-------------------|
| Peso de Muestra Seca | : 117.78 |
| Peso de Muestra Lavada | : 58.65 |
| Clasificación SUCS | : CL |
| Clasificación AASHTO | : A-6 (10) |

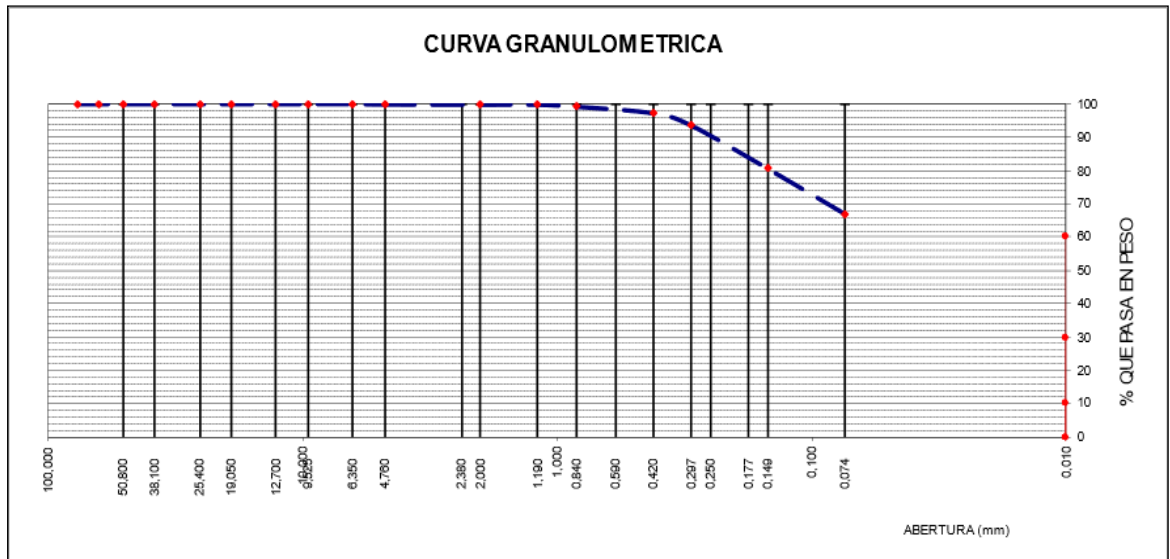
Tabla 10: Análisis Granulométrico de Suelo Arcilloso.

| Tamices ASTM | Abertura en mm | Peso Retenido | % Retenido Parcial | %Retenido Acumulado | % Que pasa |
|--------------|----------------|---------------|--------------------|---------------------|------------|
| 2 ½" | 63.500 | | | | |
| 2" | 50.600 | | | | |
| 1 ½" | 38.100 | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | |
| ¾" | 19.050 | | | | |
| ½" | 12.700 | | | | |
| ⅜" | 9.525 | | | | |

| | | | | | |
|-------------------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 1/4" | 6.350 | | | | 100.00 |
| Nª4 | 4.760 | 0.19 | 0.11 | 0.11 | 99.89 |
| Nª10 | 2.000 | 0.14 | 0.08 | 0.19 | 99.81 |
| Nª20 | 0.840 | 1.07 | 0.60 | 0.79 | 99.21 |
| Nª40 | 0.420 | 3.49 | 1.96 | 2.75 | 97.25 |
| Nª50 | 0.297 | 6.52 | 3.67 | 6.42 | 93.58 |
| Nª100 | 0.149 | 22.95 | 12.91 | 19.33 | 80.67 |
| Nª200 | 0.074 | 24.29 | 13.66 | 32.99 | 67.01 |
| Pasa Nª200 | | 119.13 | 67.01 | | |

Fuente: Elaboración propia (2021).

figura 3: Curva Granulométrica



Fuente: Elaboración propia (2021).

4.2. ENSAYO DEL LÍMITE DE ATTERBERG

RESULTADOS DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Límite Líquido : 39

Límite Plástico : 17

Índice de Plasticidad : 22

Límite Líquido: Norma ASTM D 4318 – T 89

Tabla 11: Límite Líquido

| Ensayo N ^a | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------|-------|-------|-------|
| N ^a de Golpes | 18 | 22 | 30 |
| R + Suelo Húmedo | 51.24 | 50.01 | 74.82 |
| R + Suelo Seco | 47.39 | 46.55 | 69.87 |
| Peso de la Tara | 38.49 | 37.64 | 56.51 |
| Peso de Agua | 3.85 | 3.46 | 4.95 |
| Peso de Suelo Seco | 8.90 | 8.91 | 13.36 |
| % de Humedad | 43.26 | 38.83 | 37.05 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

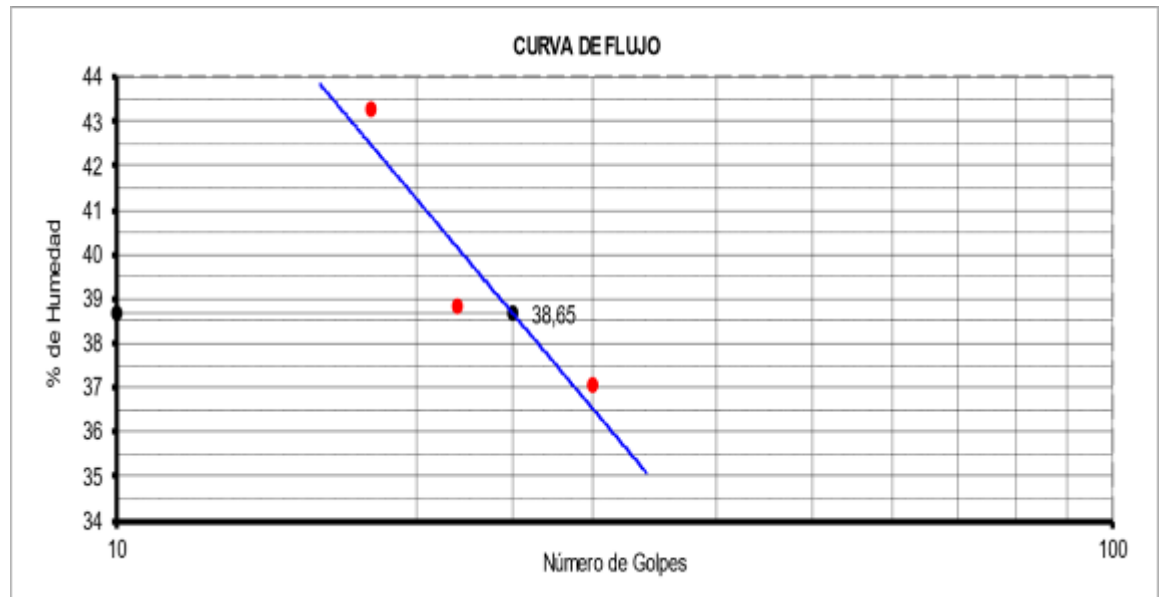
Límite Plástico: Norma ASTM D 4318 – T 90

Tabla 12: Límite Plástico

| Ensayo N ^a | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------|-------|-------|-------|
| N ^a de Golpes | 18 | 22 | 30 |
| R + Suelo Húmedo | 57.58 | 59.82 | 59.80 |
| R + Suelo Seco | 56.31 | 58.04 | 58.26 |
| Peso de la Tara | 48.53 | 47.50 | 48.91 |
| Peso de Agua | 1.27 | 1.78 | 1.54 |
| Peso de Suelo Seco | 7.78 | 10.54 | 9.35 |
| % de Humedad | 16.32 | 16.89 | 16.47 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

figura 4: Curvatura de Flujo



Fuente: Elaboración propia (2021).

El Límite de consistencia está especificado según las Normas ASTM d 4318 – T 89 para límite Líquido y Límite Plástico ASTM D 4318 – T 90, NTP 339.129.

En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 39, LP = 17 e IP = 22.

4.3. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

4.3.1. RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO PARA SUELO NATURAL

M. D. S : **1.853 gr/cm³**

O. C. H : **13.06 %**

Tabla 13: Compactación Proctor en Estado Natural

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.) | 5346 | 5419 | 5482 | 5505 |
| Peso molde (gr.) | 3496 | 3496 | 3496 | 3496 |
| Volumen del molde (cm ³) | 947 | 947 | 947 | 947 |
| Peso suelo compactado (gr.) | 1850 | 1923 | 1986 | 2009 |
| Densidad humedad (gr/cm ³) | 1.954 | 2.031 | 2.097 | 2.121 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

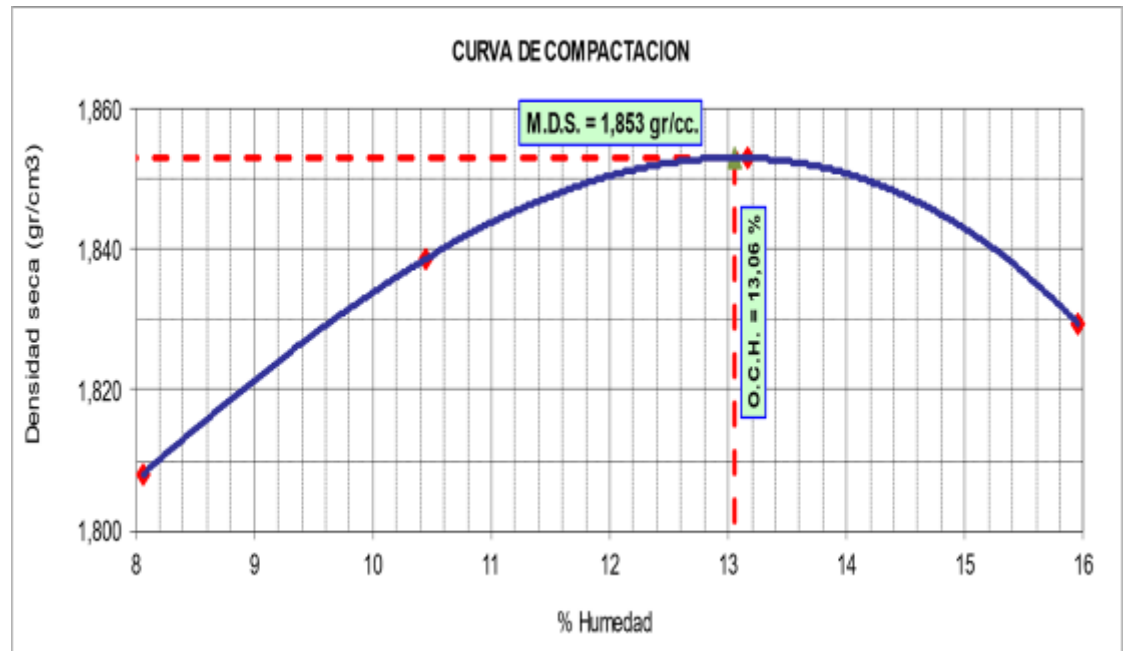
Tabla 14: Humedad Proctor en Estado Natural

Humedad (%)

| N° Recipiente | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| Recipiente + suelo húmedo (gr.) | 122.29 | 128.73 | 122.07 | 127.10 | 129.13 | 103.51 | 117.72 | 138.68 |
| Recipiente + suelo seco (gr.) | 116.23 | 122.90 | 115.40 | 119.77 | 119.87 | 95.90 | 107.66 | 126.75 |
| Peso de recipiente (gr.) | 41.32 | 50.19 | 51.85 | 49.19 | 50.10 | 37.68 | 43.85 | 52.85 |
| Peso de agua (gr.) | 6.06 | 5.83 | 6.67 | 7.33 | 9.26 | 7.61 | 10.06 | 11.93 |
| Peso de suelo seco (gr.) | 74.91 | 72.71 | 63.55 | 70.58 | 69.77 | 58.22 | 63.81 | 73.90 |
| Humedad (%) | 8.09 | 8.02 | 10.50 | 10.39 | 13.27 | 13.07 | 15.77 | 16.14 |
| Promedio Humedad (%) | 8.05 | | 10.44 | | 13.17 | | 15.95 | |
| Densidad Seca (gr/cm ³) | 1.808 | | 1.839 | | 1.853 | | 1.830 | |

Fuente: Elaboración propia (2021).

figura 5: Curva de Compactación de Suelo en Estado Natural



Fuente: Elaboración propia (2021).

El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D 1557, por el método "A".

Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.853 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 13.06 %.

4.3.2. RESULTADO DE PROCTOR MODIFICADO PARA SUELO CON 1% DE CAL VIVA

M. D. S : 1.854 gr/cm³

O. C. H : 12.32 %

Tabla 15: Compactación Proctor con 1% de Cal viva

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.) | 6004 | 6081 | 6123 | 6095 |
| Peso molde (gr.) | 4159 | 4159 | 4159 | 4159 |
| Volumen del molde (cm ³) | 940 | 940 | 940 | 940 |
| Peso suelo compactado (gr.) | 1845 | 1922 | 1964 | 1936 |
| Densidad húmeda (gr/cm ³) | 1.963 | 2.045 | 2.089 | 2.060 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

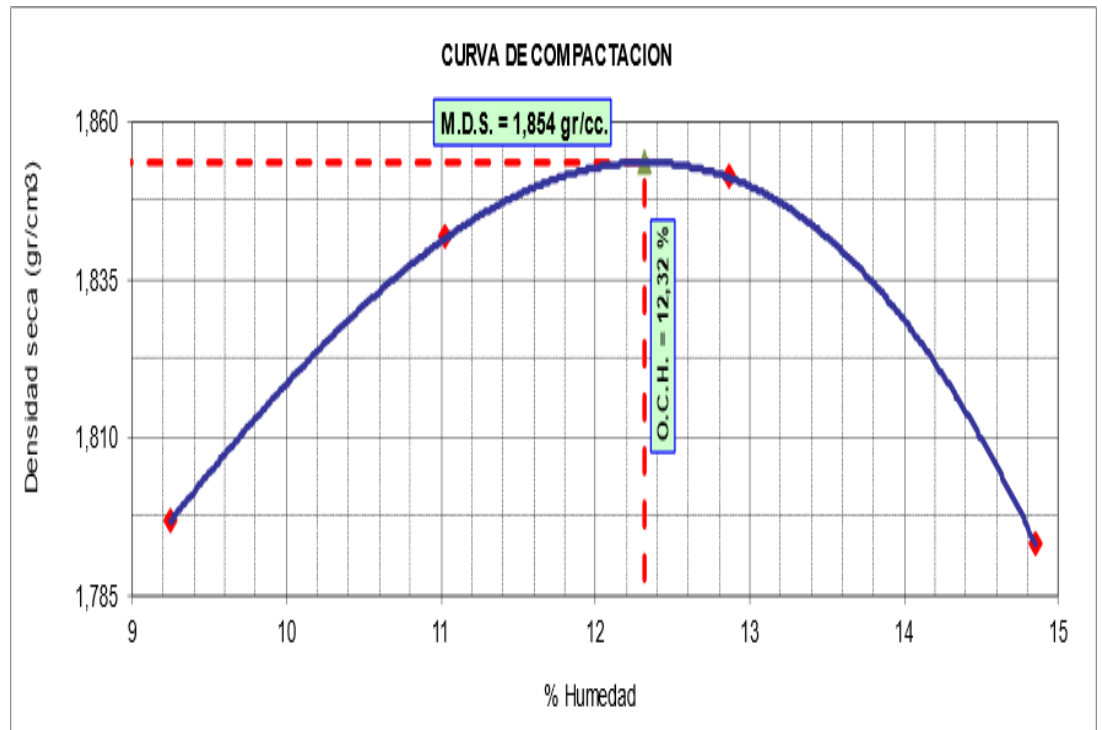
Tabla 16: Humedad Proctor con 1% de Cal viva

Humedad (%)

| N° Recipiente | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|-------|
| Recipiente + suelo húmedo (gr.) | 162.64 | 160.10 | 115.03 | 133.88 | 101.81 | 104.09 | 110.87 | 98.36 |
| Recipiente + suelo seco (gr.) | 153.43 | 151.38 | 108.35 | 125.45 | 94.59 | 97.42 | 103.15 | 91.93 |
| Peso de recipiente (gr.) | 55.34 | 55.53 | 46.95 | 50.05 | 38.45 | 45.61 | 51.56 | 48.31 |
| Peso de agua (gr.) | 9.21 | 8.72 | 6.68 | 8.43 | 7.22 | 6.67 | 7.72 | 6.43 |
| Peso de suelo seco (gr.) | 98.09 | 95.85 | 61.40 | 75.40 | 56.14 | 51.81 | 51.59 | 43.62 |
| Humedad (%) | 9.39 | 9.10 | 10.88 | 11.18 | 12.86 | 12.87 | 14.96 | 14.74 |
| Promedio Humedad (%) | 9.24 | | 11.03 | | 12.87 | | 14.85 | |
| Densidad Seca (gr/cm ³) | 1.797 | | 1.842 | | 1.851 | | 1.793 | |

Fuente: Elaboración propia (2021).

figura 6: Curva de Compactación de Suelo con 1% de Cal viva



Fuente: Elaboración propia (2021).

El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D 1557, por el método “A”.

Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.854 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 12.32 %.

4.3.3. RESULTADO DE PROCTOR MODIFICADO PARA SUELO CON 3% DE CAL VIVA

M. D. S : 1.859 gr/cm³

O. C. H : 12.18 %

Tabla 17: Compactación Proctor con 3% de Cal viva

Compactación

| Prueba N ^o | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Numero de capas | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Numero de golpes | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Peso suelo + molde (gr.) | 5275 | 5399 | 5472 | 5455 |
| Peso molde (gr.) | 3496 | 3496 | 3496 | 3496 |
| Volumen del molde (cm ³) | 947 | 947 | 947 | 947 |
| Peso suelo compactado (gr.) | 1779 | 1903 | 1976 | 1959 |
| Densidad humedad (gr/cm ³) | 1.879 | 2.010 | 2.087 | 2.069 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

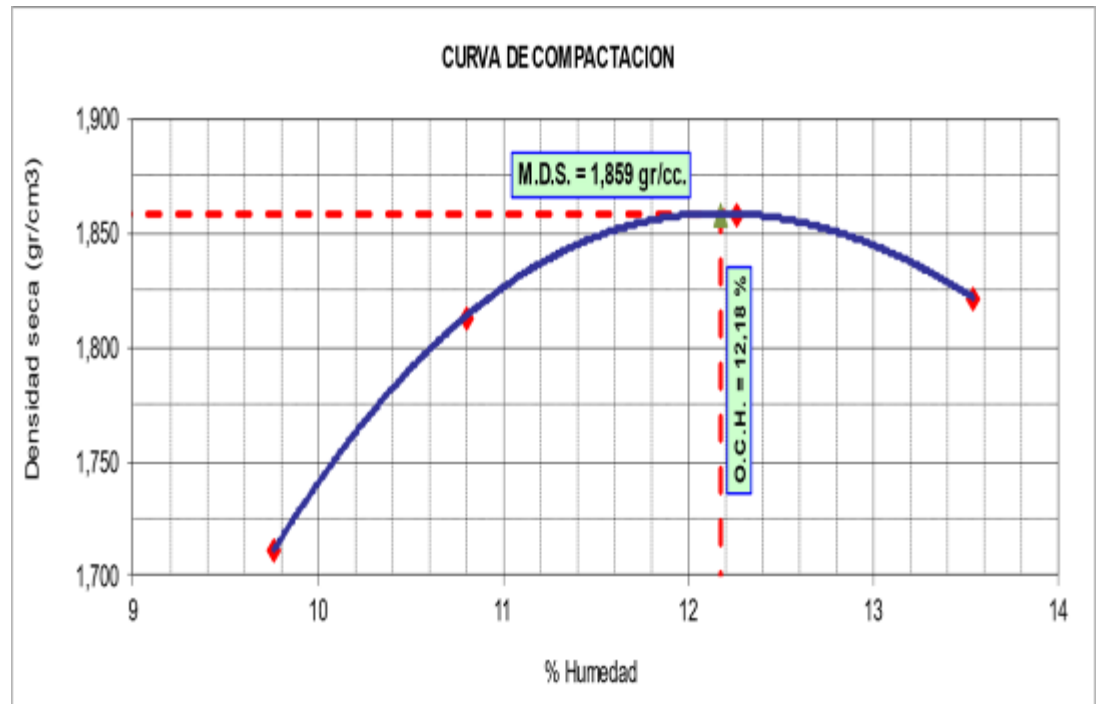
Tabla 18: Humedad Proctor con 3% de Cal viva

Humedad (%)

| N. ^o Recipiente | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| Recipiente + suelo húmedo (gr.) | 120.59 | 155.49 | 100.00 | 109.57 | 109.28 | 115,10 | 106.72 | 107.85 |
| Recipiente + suelo seco (gr.) | 113.20 | 146.10 | 93.89 | 103.38 | 101.75 | 108,05 | 100.08 | 101.02 |
| Peso de recipiente (gr.) | 37.86 | 49.48 | 38.34 | 44.98 | 41.28 | 49,67 | 50.89 | 50.70 |
| Peso de agua (gr.) | 7.39 | 9.39 | 6.11 | 6.19 | 7.53 | 7,05 | 6.64 | 6.83 |
| Peso de suelo seco (gr.) | 75.34 | 96.62 | 55.55 | 58.40 | 60.47 | 58,38 | 49.19 | 50.32 |
| Humedad (%) | 9.81 | 9.72 | 11.00 | 10.60 | 12.45 | 12,08 | 13.50 | 13.57 |
| Promedio Humedad (%) | 9.76 | | 10.80 | | 12.26 | | 13.54 | |
| Densidad Seca (gr/cm ³) | 1.711 | | 1.814 | | 1.859 | | 1.822 | |

Fuente: Elaboración propia (2021).

figura 7: Curva de Compactación de Suelo con 3% de Cal viva



Fuente: Elaboración propia (2021).

El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D 1557, por el método “A”.

Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.859 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 12.18 %.

4.3.4. RESULTADO DE PROCTOR MODIFICADO PARA SUELO CON 5% DE CAL VIVA

M. D. S : 1.866 gr/cm³

O. C. H : 11.09 %

Tabla 19: Compactación Proctor con 5% de Cal viva

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.) | 5856 | 6041 | 6110 | 6120 |
| Peso molde (gr.) | 4159 | 4159 | 4159 | 4159 |
| Volumen del molde (cm ³) | 940 | 940 | 940 | 940 |
| Peso suelo compactado (gr.) | 1697 | 1882 | 1951 | 1961 |
| Densidad humedad (gr/cm ³) | 1.805 | 2.002 | 2.076 | 2.086 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

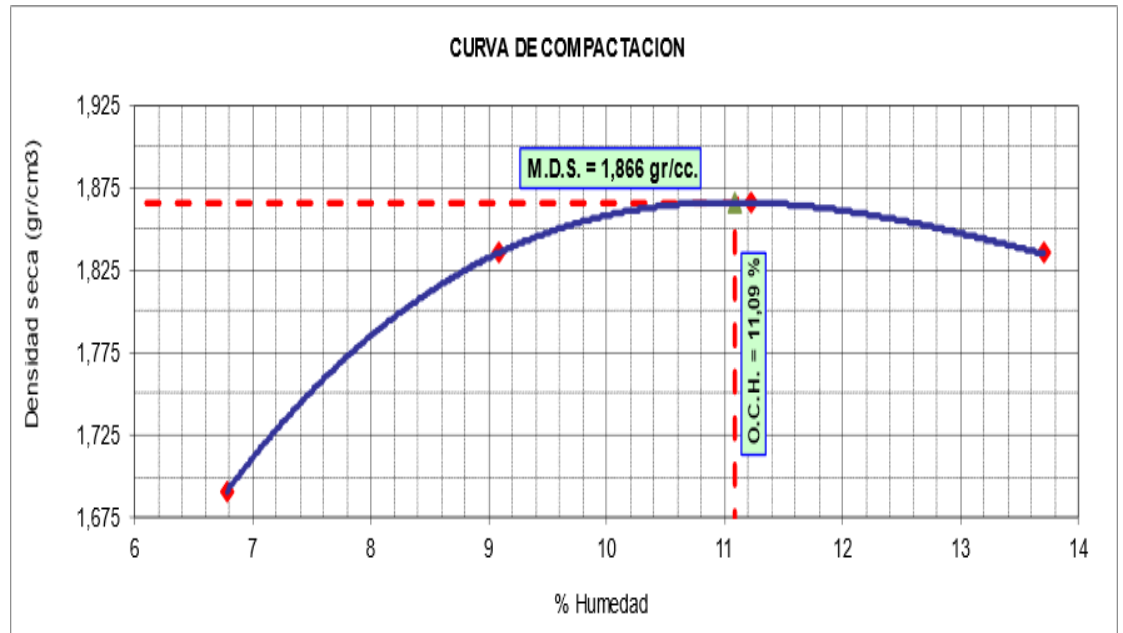
Tabla 20: Humedad Proctor con 5% de Cal viva

Humedad (%)

| N° Recipiente | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| Recipiente + suelo húmedo (gr.) | 111.44 | 140.00 | 145.85 | 124.68 | 94.63 | 109.02 | 92.70 | 132.90 |
| Recipiente + suelo seco (gr.) | 107.54 | 134.25 | 137.43 | 118.25 | 89.05 | 103.08 | 85.80 | 123.00 |
| Peso de recipiente (gr.) | 50.08 | 49.36 | 44.66 | 47.50 | 39.01 | 50.47 | 35.64 | 50.50 |
| Peso de agua (gr.) | 3.90 | 5.75 | 8.42 | 6.43 | 5.58 | 5.94 | 6.90 | 9.90 |
| Peso de suelo seco (gr.) | 57.46 | 84.89 | 92.77 | 70.75 | 50.04 | 52.61 | 50.16 | 72.50 |
| Humedad (%) | 6.79 | 6.77 | 9.08 | 9.09 | 11.15 | 11.29 | 13.76 | 13.66 |
| Promedio Humedad (%) | 6.78 | | 9.08 | | 11.22 | | 13.71 | |
| Densidad Seca (gr/cm ³) | 1.691 | | 1.835 | | 1.866 | | 1.835 | |

Fuente: Elaboración propia (2021).

*figura 8: Curva de Compactación de Suelo con 5% de Cal
viva*



Fuente: Elaboración propia (2021).

El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D 1557, por el método “A”.

Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.866 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 11.09 %.

4.4. ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

4.4.1. SUELO EN ESTADO NATURAL

Tabla 21: Densidad del Suelo Ensayo CBR en su Estado Natural

| Molde | Nº | 2 | | 4 | | 5 | |
|------------------------------|-----------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| Capas | Nº | 5 | | 5 | | 5 | |
| Golpes por c: | Nº | 12 | | 25 | | 56 | |
| Condición de muestra | | Hum. Optima | Saturado | Hum. Optima | Saturado | Hum. Optima | Saturado |
| Peso de suelo húmedo + molde | Gr. | 12274 | 12728 | 12746 | 12989 | 12889 | 13158 |
| Peso del molde | Gr. | 8497 | 8497 | 8492 | 8492 | 8501 | 8501 |
| Volumen del suelo | c.c. | 2134 | 2134 | 2129 | 2129 | 2127 | 2127 |
| Peso del suelo húmedo | Gr. | 3777 | 4231 | 4254 | 4497 | 4388 | 4657 |
| Densidad húmeda | Gr/c.c. | 1.770 | 1.983 | 1.998 | 2.112 | 2.063 | 2.190 |

HUMEDAD

| Nº de Recipiente | Nº | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso del suelo húmedo + Recip. | Gr. | 138.67 | 141.62 | 113.19 | 138.89 | 120.75 | 155.31 |
| Peso del suelo seco + Recip. | Gr. | 128.36 | 122.42 | 104.60 | 121.60 | 111.83 | 135.25 |
| Peso de la Recipiente | Gr. | 48.74 | 48.70 | 39.76 | 44.20 | 40.66 | 43.74 |
| Peso del agua | Gr. | 10.31 | 19.20 | 8.59 | 17.29 | 8.92 | 20.06 |
| Peso del suelo seco | Gr. | 79.62 | 73.72 | 64.84 | 77.40 | 71.17 | 91.51 |
| Humedad | % | 12.95 | 26.04 | 13.25 | 22.34 | 12.53 | 21.92 |
| Densidad seca | Gr/c.c. | 1.567 | 1.573 | 1.765 | 1.727 | 1.833 | 1.796 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla 22: Expansión del Suelo en su Estado Natural

EXPANSIÓN

| Fecha | Hora | Tiempo días | Dial (pulg.) | Expansión % | Dial (pulg.) | Expansión % | Dial (pulg.) | Expansión % |
|--------------------|------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 21 de Mayo de 2021 | 6:15 | 0 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 |
| 22 de Mayo de 2021 | 5:20 | 1 | 0.186 | 4.08 | 0.138 | 3.02 | 0.128 | 2.81 |
| 23 de Mayo de 2021 | 6:00 | 2 | 0.190 | 0.09 | 0.141 | 0.07 | 0.131 | 0.07 |
| 24 de Mayo de 2021 | 4:20 | 3 | 0.192 | 0.04 | 0.142 | 0.02 | 0.132 | 0.02 |
| 25 de Mayo de 2021 | 3:30 | 4 | 0.194 | 0.04 | 0.144 | 0.04 | 0.132 | 0.00 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

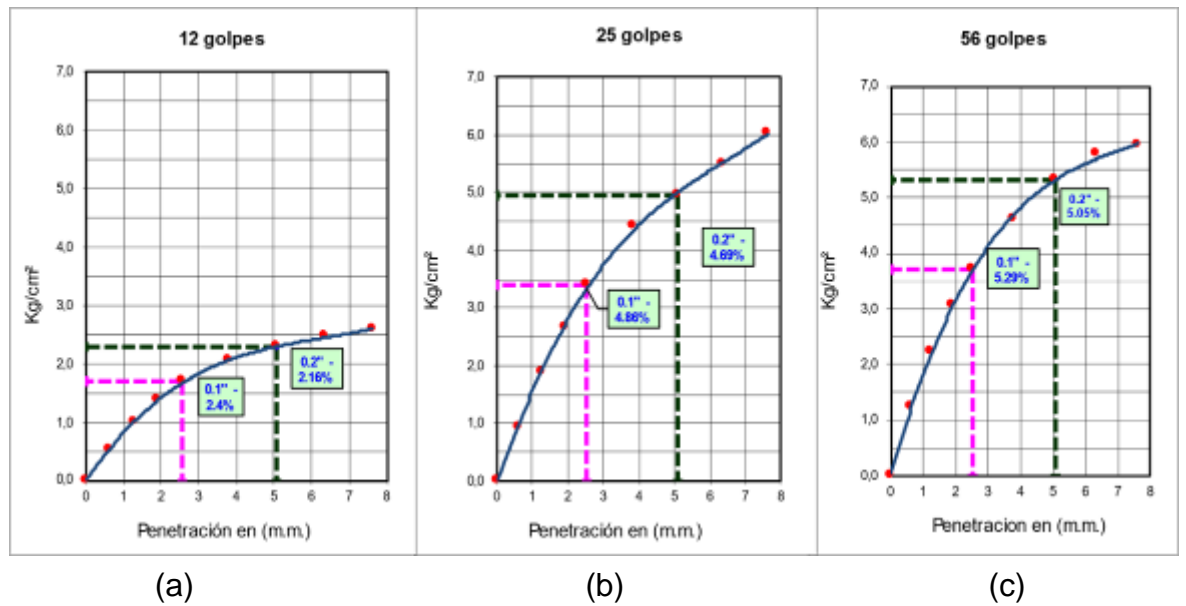
Tabla 23: Ensayo de Penetración CBR en su Estado Natural

PENETRACIÓN

| Penetración Pulgadas | Penetración m.m | Carga | | Carga | | Carga | |
|----------------------|-----------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | | Kg | kg/cm2 | Kg | kg/cm2 | Kg | kg/cm2 |
| 0.025 | 0.63 | 10.1 | 0.51 | 18.4 | 0.94 | 24.4 | 1.24 |
| 0.050 | 1.27 | 19.7 | 1.00 | 37.2 | 1.89 | 43.7 | 2.23 |
| 0.075 | 1.90 | 26.9 | 1.37 | 52.1 | 2.65 | 60.1 | 3.06 |
| 0.100 | 2.54 | 33.2 | 1.69 | 67.1 | 3.42 | 73.1 | 3.72 |
| 0.150 | 3.81 | 40.3 | 2.05 | 86.6 | 4.41 | 90.3 | 4.60 |
| 0.200 | 5.08 | 44.7 | 2.28 | 97.2 | 4.95 | 104.6 | 5.33 |
| 0.250 | 6.35 | 48.6 | 2.47 | 107.8 | 5.49 | 113.5 | 5.78 |
| 0.300 | 7.62 | 51.0 | 2.60 | 118.6 | 6.04 | 116.6 | 5.94 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

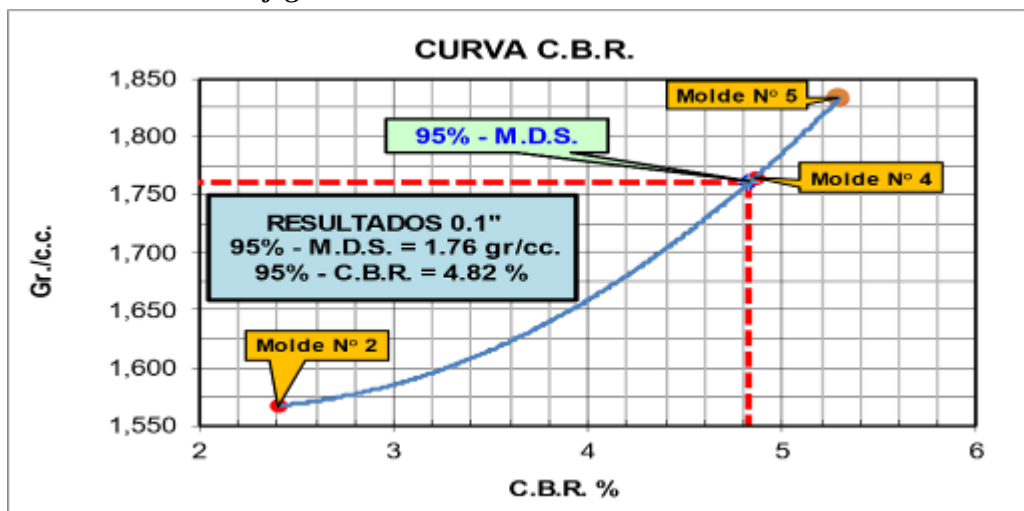
figura 9: Curva de Penetración CBR en su Estado Natural: (a) 12 Golpes; (b) 25 Golpes; (c) 56 Golpes



Fuente: Elaboración propia (2021).

| | | | |
|-----------------------|------------------------|--------------|----------------|
| Condición de Muestra | : 4 días de Saturación | 95% MDS | : 1.76 gr/cc |
| Sobrecarga | : 10.00 lbs | CBR 100% MDS | : 5.29% |
| Hinchamiento Promedio | : 3.43 % | CBR 95% MDS | : 4.82% |

figura 10: Curva CBR en Estado Natural



Fuente: Elaboración propia (2021).

4.4.2. SUELO CON 1% DE CAL VIVA

Tabla 24: Densidad del Suelo Ensayo CBR con 1% de Cal viva

| Molde | Nº | 8 | | 10 | | 14 | |
|------------------------------|---------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| 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. | 12497 | 12735 | 12926 | 13122 | 12985 | 13113 |
| Peso del molde | Gr. | 8596 | 8596 | 8720 | 8720 | 8571 | 8571 |
| Volumen del suelo | c.c. | 2134 | 2134 | 2135 | 2135 | 2130 | 2130 |
| Peso del suelo húmedo | Gr. | 3901 | 4139 | 4206 | 4402 | 4414 | 4542 |
| Densidad húmeda | Gr/c.c. | 1.828 | 1.939 | 1.970 | 2.061 | 2.073 | 2.133 |

HUMEDAD

| Nº de Recipiente | Nº | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------------------|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso del suelo húmedo + Recip. | Gr. | 125.13 | 125.99 | 136.76 | 135.39 | 137.75 | 155.74 |
| Peso del suelo seco + Recip. | Gr. | 116.83 | 109.11 | 127.26 | 116.95 | 128.13 | 137.62 |
| Peso de la Recipiente | Gr. | 48.99 | 39.55 | 49.67 | 35.63 | 49.29 | 54.29 |
| Peso del agua | Gr. | 8.30 | 16.88 | 9.50 | 18.44 | 9.62 | 18.12 |
| Peso del suelo seco | Gr. | 67.84 | 69.56 | 77.59 | 81.32 | 78.84 | 83.33 |
| Humedad | % | 12.23 | 24.27 | 12.24 | 22.68 | 12.20 | 21.74 |
| Densidad seca | Gr/c.c. | 1.628 | 1.561 | 1.755 | 1.680 | 1.847 | 1.752 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla 25: Expansión del Suelo con 1% de Cal viva

EXPANSIÓN

| Fecha | Hora | Tiempo días | Dial (pulg.) | Expansión % | Dial (pulg.) | Expansión % | Dial (pulg.) | Expansión % |
|--------------------|------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 21 de Mayo de 2021 | 6:15 | 0 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 |
| 22 de Mayo de 2021 | 5:20 | 1 | 0.109 | 2.39 | 0.106 | 2.32 | 0.101 | 2.21 |
| 23 de Mayo de 2021 | 6:00 | 2 | 0.112 | 0.07 | 0.108 | 0.04 | 0.104 | 0.07 |
| 24 de Mayo de 2021 | 4:20 | 3 | 0.113 | 0.02 | 0.109 | 0.02 | 0.105 | 0.02 |
| 25 de Mayo de 2021 | 3:30 | 4 | 0.114 | 0.02 | 0.110 | 0.02 | 0.105 | 0.00 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

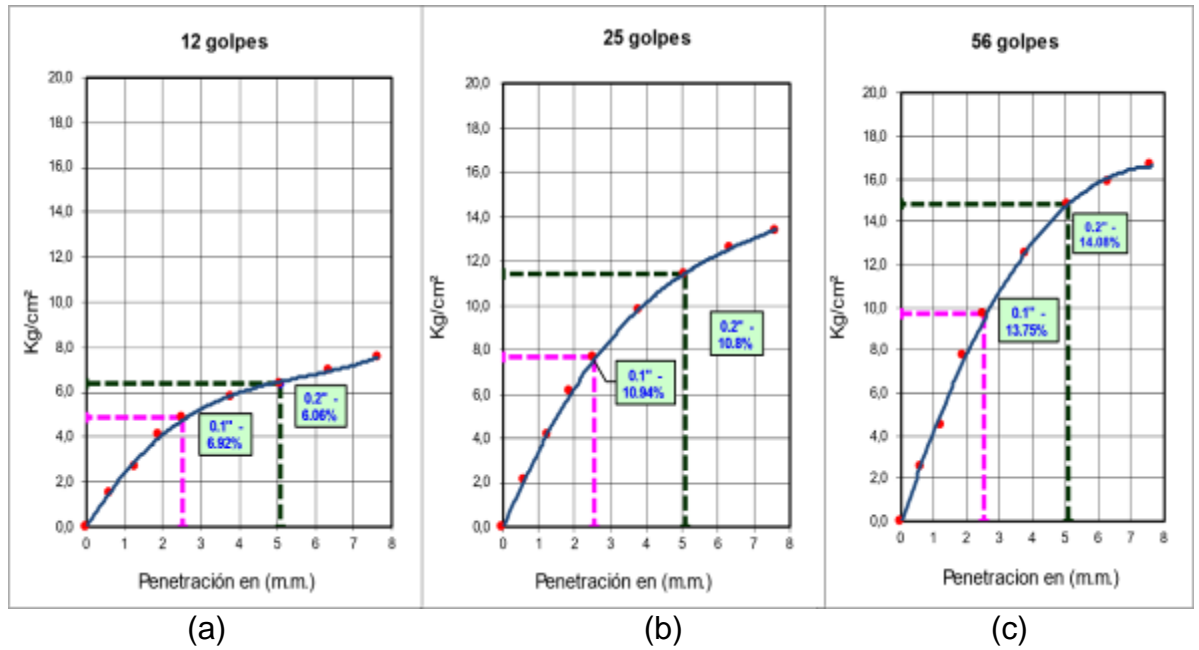
Tabla 26: Ensayo de Penetración CBR con 1% de Cal viva

PENETRACIÓN

| Penetración Pulgadas | Penetración m.m | Carga | | Carga | | Carga | |
|-------------------------|--------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | | Kg | kg/cm2 | Kg | kg/cm2 | Kg | kg/cm2 |
| 0.025 | 0.63 | 29.3 | 1.49 | 42.1 | 2.14 | 50.4 | 2.57 |
| 0.050 | 1.27 | 53.1 | 2.70 | 82.1 | 4.18 | 89.2 | 4.54 |
| 0.075 | 1.90 | 80.4 | 4.09 | 120.1 | 6.12 | 153.4 | 7.81 |
| 0.100 | 2.54 | 95.6 | 4.87 | 151.1 | 7.69 | 189.9 | 9.67 |
| 0.150 | 3.81 | 114.4 | 5.82 | 193.4 | 9.85 | 246.4 | 12.55 |
| 0.200 | 5.08 | 125.6 | 6.40 | 223.6 | 11.38 | 291.7 | 14.85 |
| 0.250 | 6.35 | 136.7 | 6.96 | 247.8 | 12.62 | 312.4 | 15.91 |
| 0.300 | 7.62 | 147.9 | 7.53 | 263.4 | 13.41 | 327.6 | 16.68 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

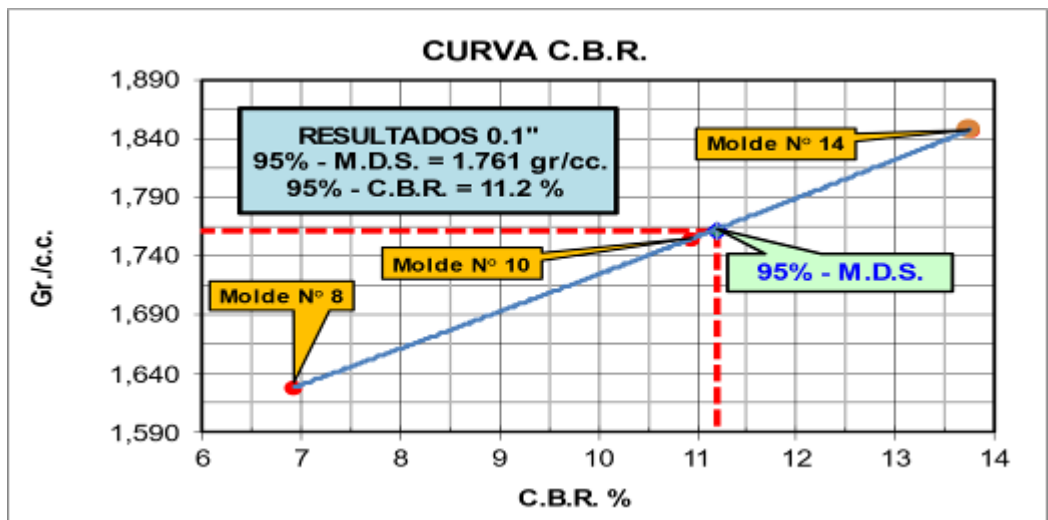
figura 11: Curva de Penetración CBR con 1% de Cal viva: (a) 12 Golpes; (b) 25 Golpes; (c) 56 Golpes



Fuente: Elaboración propia (2021).

Condición de Muestra : 4 días de Saturación 95% MDS : 1.761 gr/cc
 Sobrecarga : 10.00 lbs CBR 100% MDS : **13.75%**
 Hinchamiento Promedio : 2.40 % CBR 95% MDS : **11.20%**

figura 12: Curva CBR con 1% de Cal viva



Fuente: Elaboración propia (2021).

4.4.3. SUELO CON 3% DE CAL VIVA

Tabla 27: Densidad del Suelo Ensayo CBR con 3% de Cal viva

| Molde | Nº | 17 | | 24 | | 27 | |
|--------------------------------|-----------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| 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. | 12535 | 12807 | 12771 | 13003 | 12990 | 13140 |
| Peso del molde | Gr. | 8559 | 8559 | 8643 | 8643 | 8629 | 8629 |
| Volúmen del suelo | c.c. | 2131 | 2131 | 2134 | 2134 | 2133 | 2133 |
| Peso del suelo húmedo | Gr. | 3976 | 4248 | 4128 | 4360 | 4361 | 4511 |
| Densidad húmeda | Gr/c.c. | 1.866 | 1.994 | 1.934 | 2.043 | 2.045 | 2.115 |
| HUMEDAD | | | | | | | |
| Nº de Recipiente | Nº | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Peso del suelo húmedo + Recip. | Gr. | 125.31 | 128.05 | 133.93 | 142.16 | 110.96 | 160.66 |
| Peso del suelo seco + Recip. | Gr. | 116.78 | 110.62 | 125.33 | 124.87 | 104.24 | 140.95 |
| Peso de la Recipiente | Gr. | 45.80 | 39.39 | 53.82 | 48.21 | 48.61 | 47.16 |
| Peso del agua | Gr. | 8.53 | 17.43 | 8.60 | 17.29 | 6.72 | 19.71 |
| Peso del suelo seco | Gr. | 70.98 | 71.23 | 71.51 | 76.66 | 55.63 | 93.79 |
| Humedad | % | 12.02 | 24.47 | 12.03 | 22.55 | 12.08 | 21.02 |
| Densidad seca | Gr/c.c. | 1.666 | 1.602 | 1.726 | 1.667 | 1.825 | 1.748 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla 28: Expansión del Suelo con 3% de Cal viva

EXPANSIÓN

| Fecha | Hora | Tiempo días | Dial (pulg.) | Expansión % | Dial (pulg.) | Expansión % | Dial (pulg.) | Expansión % |
|--------------------|------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 21 de Mayo de 2021 | 6:15 | 0 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 |
| 22 de Mayo de 2021 | 5:20 | 1 | 0.091 | 1.99 | 0.090 | 1.97 | 0.088 | 1.93 |
| 23 de Mayo de 2021 | 6:00 | 2 | 0.094 | 0.07 | 0.092 | 0.04 | 0.090 | 0.04 |
| 24 de Mayo de 2021 | 4:20 | 3 | 0.095 | 0.02 | 0.093 | 0.02 | 0.090 | 0.00 |
| 25 de Mayo de 2021 | 3:30 | 4 | 0.096 | 0.02 | 0.093 | 0.00 | 0.090 | 0.00 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

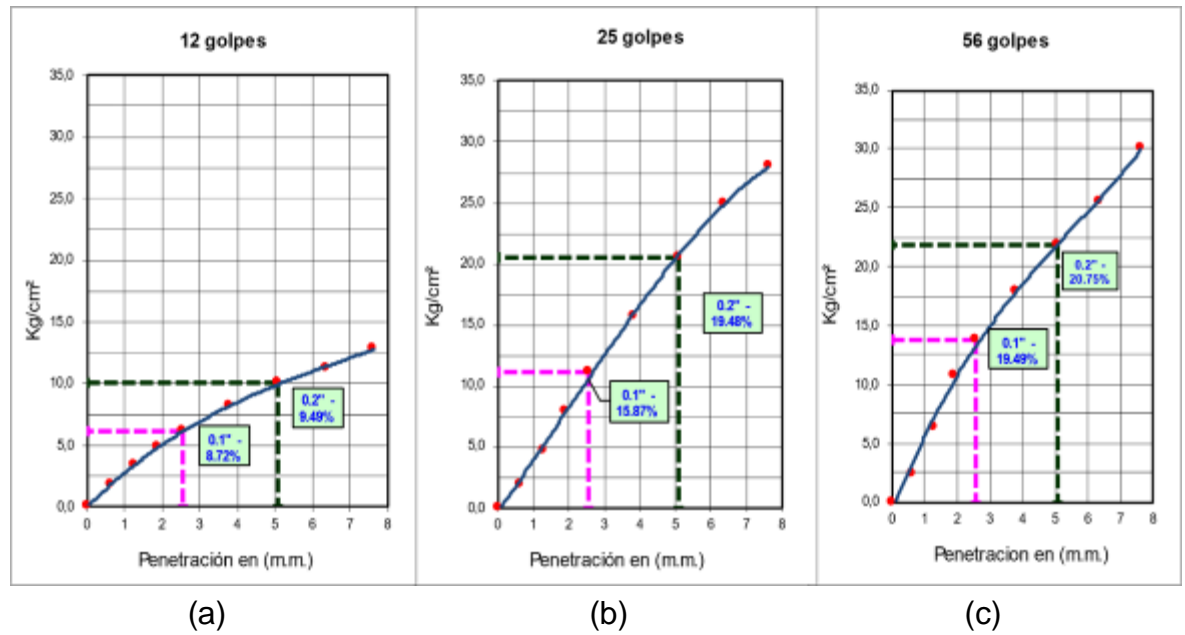
Tabla 29: Ensayo de Penetración CBR con 3% de Cal viva

PENETRACIÓN

| Penetración Pulgadas | Penetración m.m | Carga | | Carga | | Carga | |
|----------------------|-----------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | | Kg | kg/cm2 | Kg | kg/cm2 | Kg | kg/cm2 |
| 0.025 | 0.63 | 36.1 | 1.84 | 37.2 | 1.89 | 46.4 | 2.36 |
| 0.050 | 1.27 | 65.7 | 3.35 | 91.5 | 4.66 | 125.2 | 6.37 |
| 0.075 | 1.90 | 95.6 | 4.87 | 154.4 | 7.86 | 212.2 | 10.80 |
| 0.100 | 2.54 | 120.4 | 6.13 | 219.2 | 11.16 | 269.2 | 13.71 |
| 0.150 | 3.81 | 161.2 | 8.21 | 308.4 | 15.70 | 351.2 | 17.88 |
| 0.200 | 5.08 | 196.5 | 10.01 | 403.5 | 20.54 | 429.8 | 21.88 |
| 0.250 | 6.35 | 221.6 | 11.28 | 489.7 | 24.93 | 499.6 | 25.44 |
| 0.300 | 7.62 | 251.2 | 12.79 | 549.6 | 27.98 | 591.2 | 30.10 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

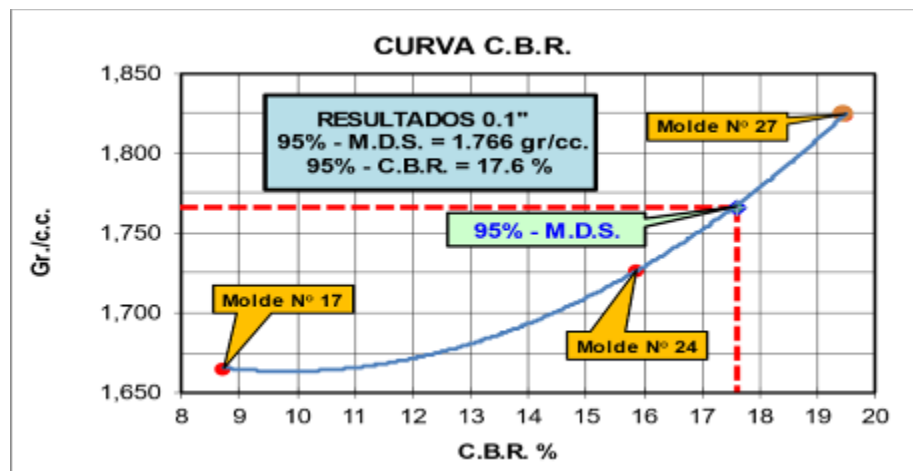
figura 13: Curva de Penetración CBR con 3% de Cal viva:
 (a) 12 Golpes; (b) 25 Golpes; (c) 56 Golpes



Fuente: Elaboración propia (2021).

Condición de Muestra : 4 días de Saturación 95% MDS : 1.766 gr/cc
 Sobrecarga : 10.00 lbs CBR 100% MDS : **19.49%**
 Hinchamiento Promedio : 2.04 % CBR 95% MDS : **17.60%**

figura 14: Curva CBR con 3% de Cal viva



Fuente: Elaboración propia (2021).

4.4.4. SUELO CON 5% DE CAL VIVA

Tabla 30: Densidad del Suelo Ensayo CBR con 5% de Cal viva

| Molde | Nº | 13 | | 19 | | 21 | |
|------------------------------|---------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| 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. | 12651 | 13103 | 12877 | 13253 | 13017 | 13409 |
| Peso del molde | Gr. | 8633 | 8633 | 8641 | 8641 | 8636 | 8636 |
| Volumen del suelo | c.c. | 2127 | 2127 | 2133 | 2133 | 2133 | 2133 |
| Peso del suelo húmedo | Gr. | 4018 | 4470 | 4236 | 4612 | 4381 | 4773 |
| Densidad húmeda | Gr/c.c. | 1.889 | 2.102 | 1.986 | 2.162 | 2.054 | 2.238 |

HUMEDAD

| Nº de Recipiente | Nº | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------------------|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso del suelo húmedo + Recip. | Gr. | 149.80 | 126.66 | 135.89 | 148.49 | 138.60 | 145.48 |
| Peso del suelo seco + Recip. | Gr. | 138.98 | 108.45 | 126.26 | 128.88 | 129.66 | 127.96 |
| Peso de la Recipiente | Gr. | 47.55 | 37.76 | 39.55 | 44.99 | 48.49 | 47.46 |
| Peso del agua | Gr. | 10.82 | 18.21 | 9.63 | 19.61 | 8.94 | 17.52 |
| Peso del suelo seco | Gr. | 91.43 | 70.69 | 86.71 | 83.89 | 81.17 | 80.50 |
| Humedad | % | 11.83 | 25.76 | 11.11 | 23.38 | 11.01 | 21.76 |
| Densidad seca | Gr/c.c. | 1.689 | 1.671 | 1,787 | 1.752 | 1.851 | 1.838 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla 31: Expansión del Suelo con 5% de Cal viva

EXPANSIÓN

| Fecha | Hora | Tiempo días | Dial (pulg.) | Expansión % | Dial (pulg.) | Expansión % | Dial (pulg.) | Expansión % |
|--------------------|------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 21 de Mayo de 2021 | 6:15 | 0 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 |
| 22 de Mayo de 2021 | 5:20 | 1 | 0.087 | 1.91 | 0.086 | 1.88 | 0.082 | 1.80 |
| 23 de Mayo de 2021 | 6:00 | 2 | 0.089 | 0.04 | 0.087 | 0.02 | 0.083 | 0.02 |
| 24 de Mayo de 2021 | 4:20 | 3 | 0.090 | 0.02 | 0.087 | 0.00 | 0.084 | 0.02 |
| 25 de Mayo de 2021 | 3:30 | 4 | 0.090 | 0.00 | 0.087 | 0.00 | 0.084 | 0.00 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

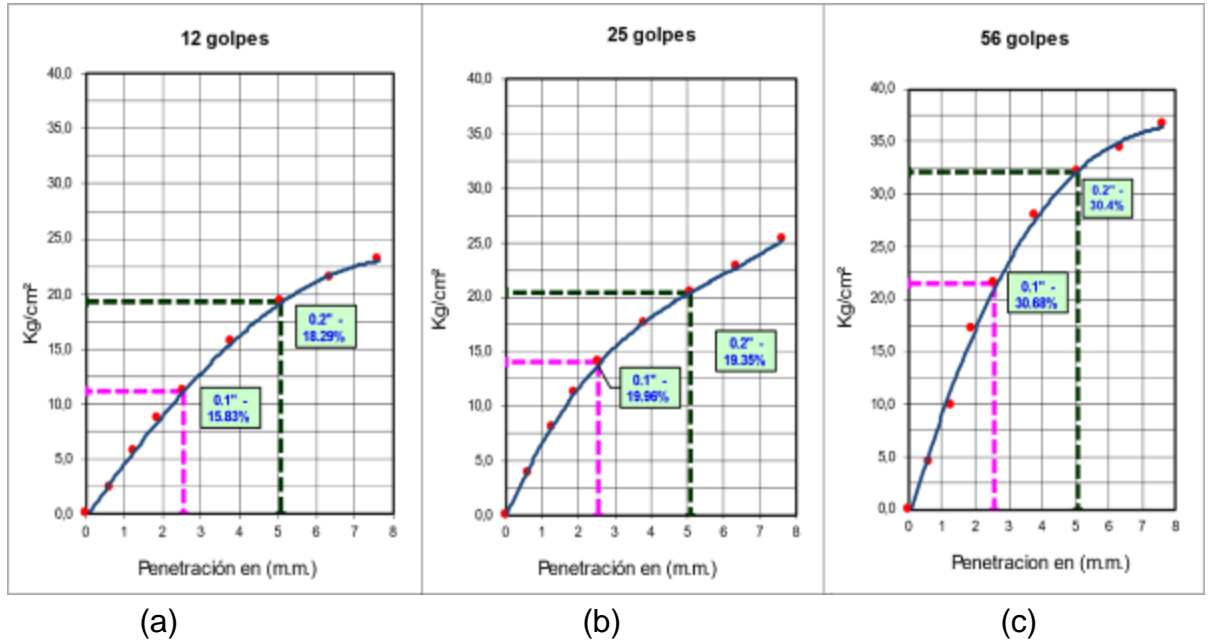
Tabla 32: Ensayo de Penetración CBR con 5% de Cal viva

PENETRACIÓN

| Penetración Pulgadas | Penetración m.m | Carga | | Carga | | Carga | |
|----------------------|-----------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | | Kg | kg/cm2 | Kg | kg/cm2 | Kg | kg/cm2 |
| 0.025 | 0.63 | 46.4 | 2.36 | 76.3 | 3.88 | 88.2 | 4.49 |
| 0.050 | 1.27 | 110.4 | 5.62 | 156.8 | 7.98 | 193.2 | 9.84 |
| 0.075 | 1.90 | 169.8 | 8.65 | 219.8 | 11.19 | 336.5 | 17.13 |
| 0.100 | 2.54 | 218.6 | 11.13 | 275.6 | 14.03 | 423.6 | 21.57 |
| 0.150 | 3.81 | 307.1 | 15.64 | 346.1 | 17.62 | 549.9 | 28.00 |
| 0.200 | 5.08 | 378.9 | 19.29 | 400.8 | 20.41 | 629.7 | 32.06 |
| 0.250 | 6.35 | 420.7 | 21.42 | 445.9 | 22.70 | 674.8 | 34.36 |
| 0.300 | 7.62 | 453.5 | 23.09 | 496.7 | 25.29 | 720.9 | 36.71 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

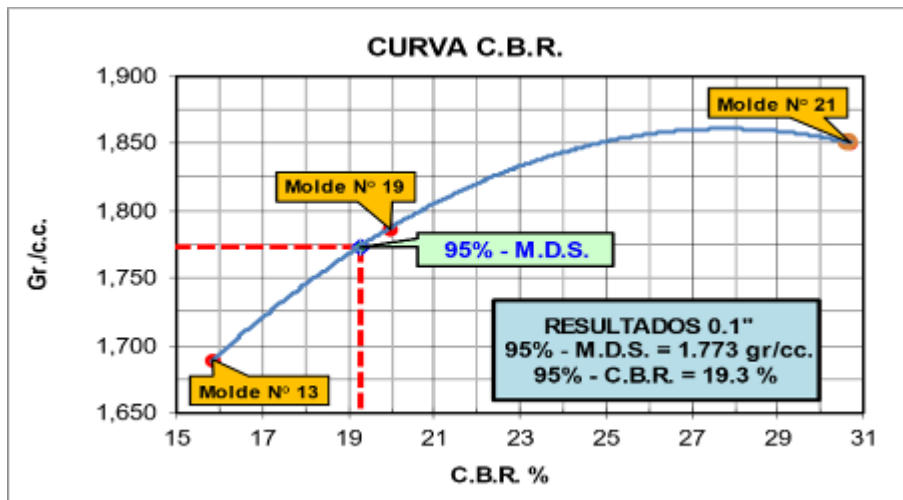
figura 15: Curva de Penetración CBR con 5% de Cal viva: (1) 12 Golpes; (2) 25 Golpes; (3) 56 Golpes



Fuente: Elaboración propia (2021).

Condición de Muestra : 4 días de Saturación 95% MDS : 1.773 gr/cc
 Sobrecarga : 10.00 lbs CBR 100% MDS : **30.68%**
 Hinchamiento Promedio : 1.91 % CBR 95% MDS : **19.30%**

figura 16: Curva CBR con 5% de Cal viva

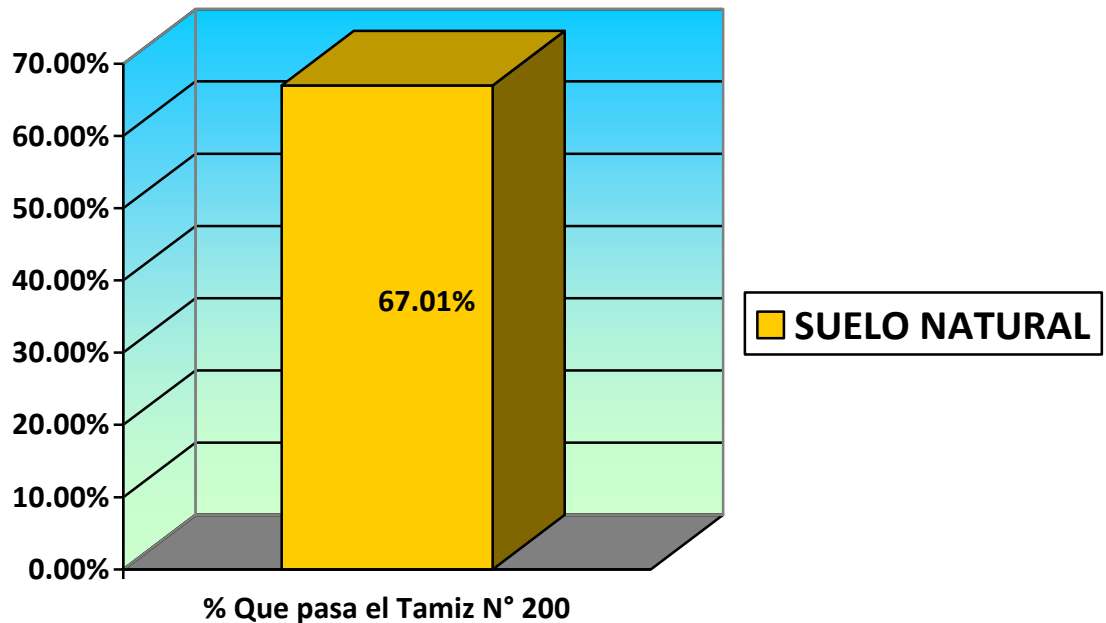


fuentes: Elaboración propia (2021).

- INTERPRETACIÓN

4.5. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

figura 17: % que Pasa el Tamiz N° 200



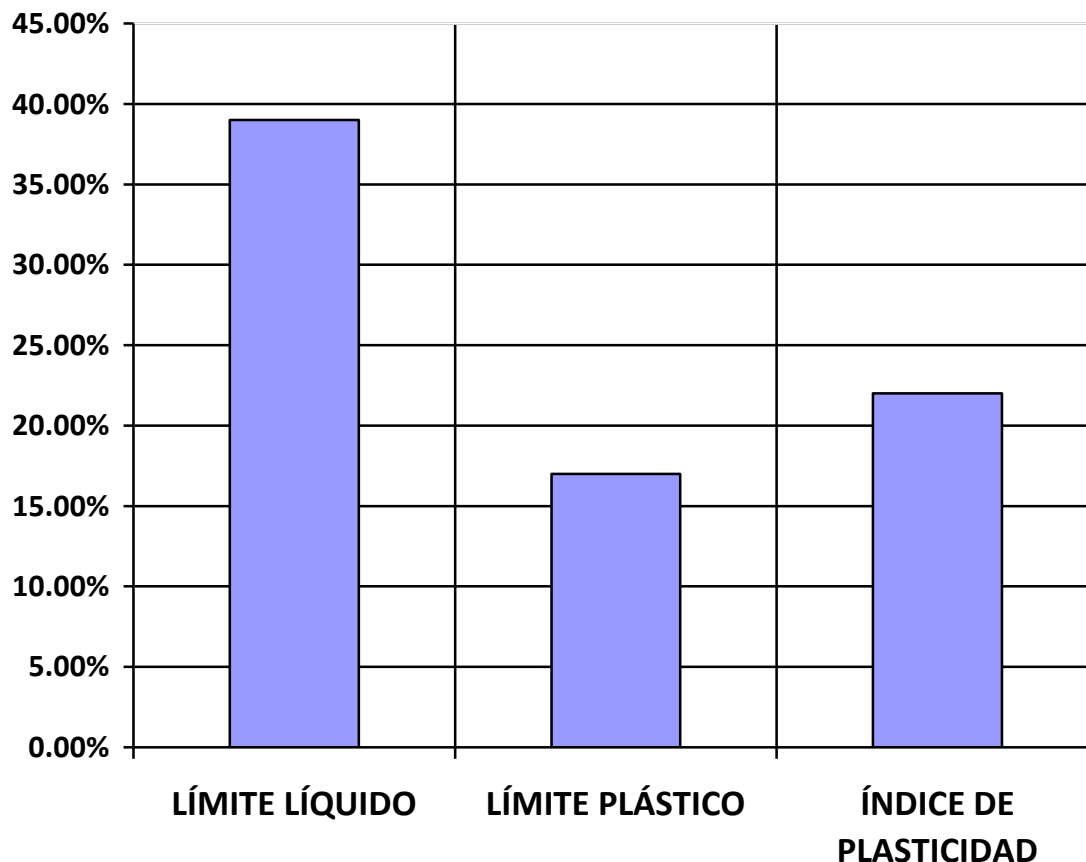
Fuente: Elaboración propia (2021).

De acuerdo a la clasificación AASHTO, **tabla 2** de (Braja, 1999) “**Clasificación de Materiales para Subrasantes de Carreteras**” , el material se encuentra dentro del grupo **LIMO – ARCILLA** (más del 35% de la muestra que pasa la malla N°200), obteniendo un porcentaje que pasa la malla N°200 de **67.01%**, perteneciendo al grupo **A-6**.

De acuerdo a la clasificación SUCS, **tabla 5** de (Braja, 1999) “**Sistema Unificado de Clasificación, Símbolos de Grupo para Suelos Limosos y Arcilloso**”, se obtuvo un suelo **CL**.

4.6. LÍMITES DE ATTERBERG

figura 18: Límites de Atterberg de la Muestra



| LÍMITE LÍQUIDO | LÍMITE PLÁSTICO | ÍNDICE DE PLASTICIDAD |
|----------------|-----------------|-----------------------|
| 39.00% | 17.00% | 22.00% |

Fuente: Elaboración propia (2021).

La **norma (CE.020)** “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y TALUDES” menciona: los suelos que se usen para la construcción de suelo-cal deben estar limpios y no deben tener más de tres por ciento (3%) de su peso de material orgánica. Además, la fracción del suelo que pasa la

malla N° 40 debe tener un índice de Plasticidad comprendido entre 10 y 50.

De acuerdo a los resultados obtenidos que se muestran en la **figura 18**, los datos se encuentran dentro del rango que la norma indica, obteniendo un índice de plasticidad **IP = 22.00%**.

Así mismo la norma (CE.020) “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y TALUDES”, indica: la efectividad de los agentes estabilizadores debe cumplir con lo indicado en el siguiente cuadro:

Tabla 33: Agentes Estabilizantes según tipo de Suelo

| TIPO DE SUELO | Arcilla Finas | Arcillas Gruesas | Limos Finos | Limos Gruesos | Arenas Finas | Arenas Gruesas |
|---------------------------|---------------|------------------|--------------|---------------|--------------|----------------|
| Tamaño de partículas (mm) | <0,0006 | <0,0006 – 0,002 | 0,002 – 0,01 | 0,01 – 0,06 | 0,06 – 0,4 | 0,4 – 2,0 |
| Estabilidad volumétrica | Muy Pobre | Regular | Regular | Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno |
| CAL | SI | SI | SI | | | |
| CEMENTO | NO | NO | NO | NO | SI | SI |
| ASFALTO | | | | | SI | SI |

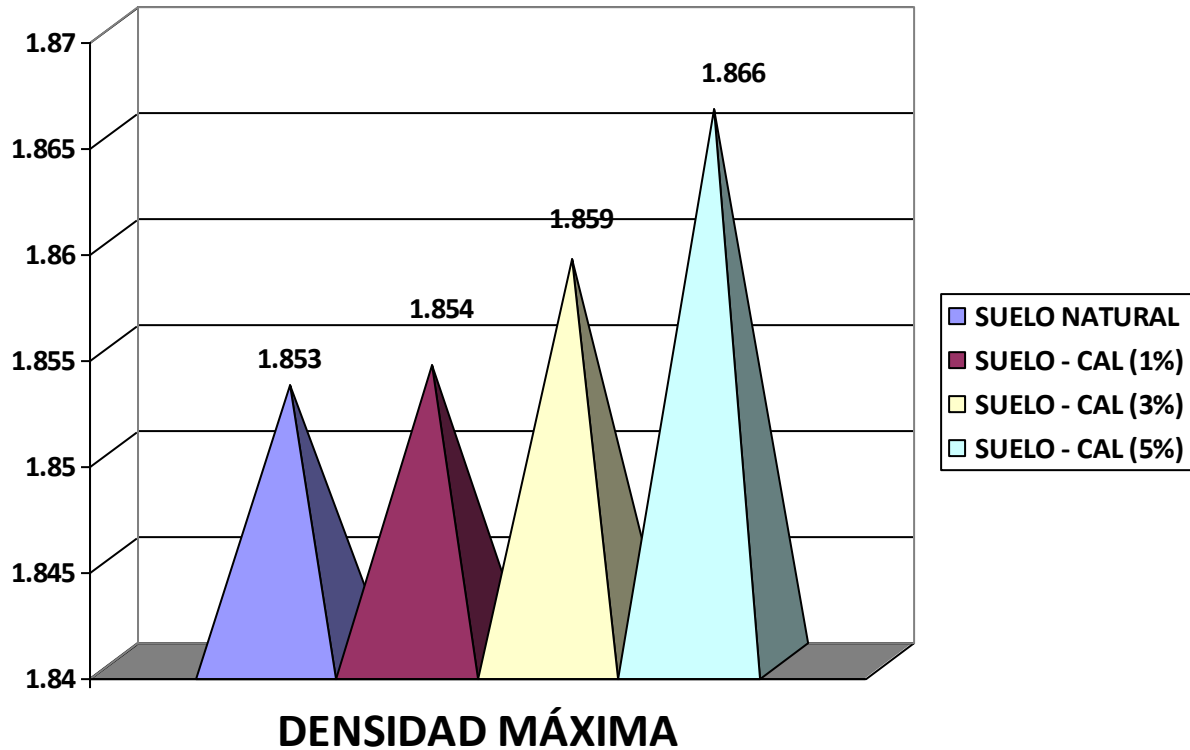
Fuente: (CE.020)

Según el **(MTC, 2014)**, indica: La granulometría del material a estabilizar puede corresponder a los siguientes tipos de suelos A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7.

De acuerdo a la clasificación AASHTO se determinó un suelo **A - 6 (10)**.

4.7. ENSAYO DE PROCTOR

figura 19: Densidad Máxima del Suelo

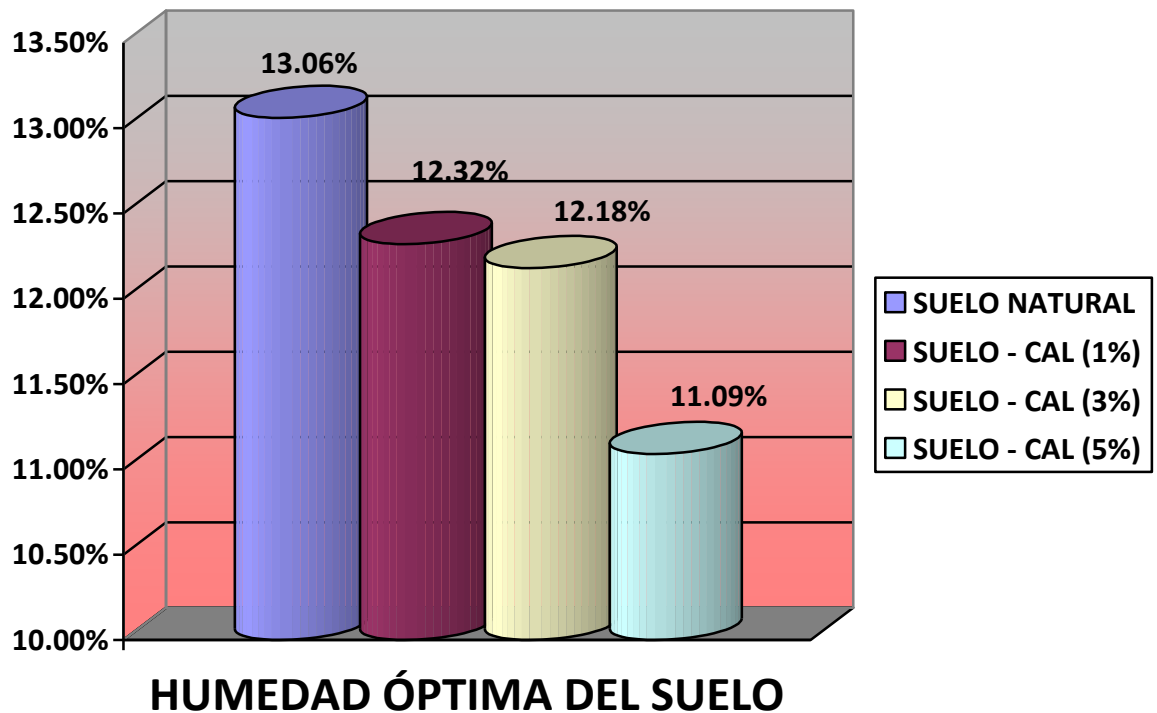


Fuente: Elaboración propia (2021).

De acuerdo a la **Figura 19**, obtenemos los siguientes resultados: El suelo en su estado natural presenta una densidad de 1.853 gr/cm³, para un suelo – cal (1%) una densidad de 1.854 gr/cm³, para un suelo – cal (3%) una densidad de 1.859 gr/cm³, para un suelo – cal (5%) una densidad de 1.866 gr/cm³.

La adición de la cal viva a la muestra de acuerdo a la **Figura 19**, se determina que la cal viva agregada en mayores % aumenta la densidad de la muestra, siendo el máximo el suelo – cal (5%) con una densidad de 1.866 gr/cm³.

figura 20: Humedad Óptima del Suelo



Fuente: Elaboración propia (2021).

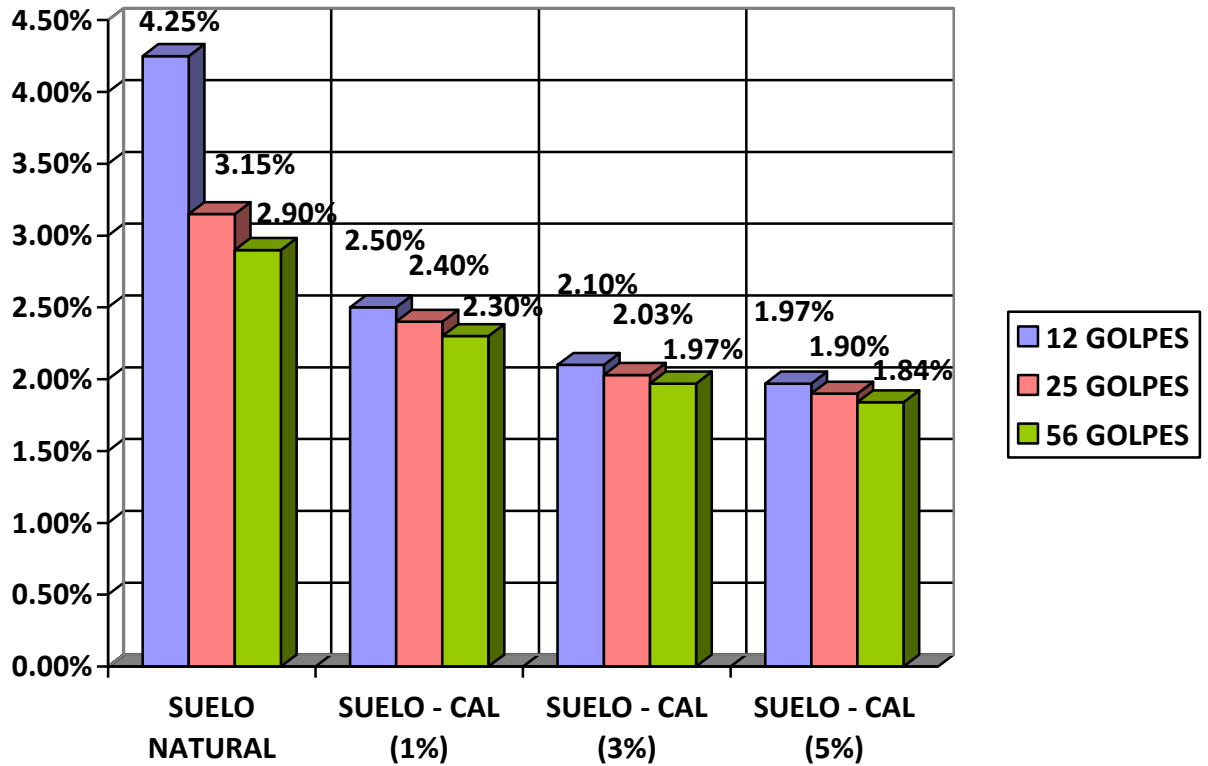
Los % de humedad del suelo, son los valores necesarios óptimos para una adecuada y correcta compactación de la muestra.

Según la **Figura 20** se obtuvieron los siguientes resultados: Para el suelo en su estado natural requiere de una humedad de 13.06%, para el suelo – cal (1%) una humedad de 12.32%, para el suelo – cal (3%) una humedad de 12.18%, y para el suelo – cal (5%) una humedad de 11.09%.

Se determina que el suelo en su estado natural requiere de mayor porcentaje de humedad, mientras que a mayor porcentaje de cal agregada menos humedad requiere para alcanzar la correcta compactación.

4.8. ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA

figura 21: Comparación de los Valores Máximos de Expansión

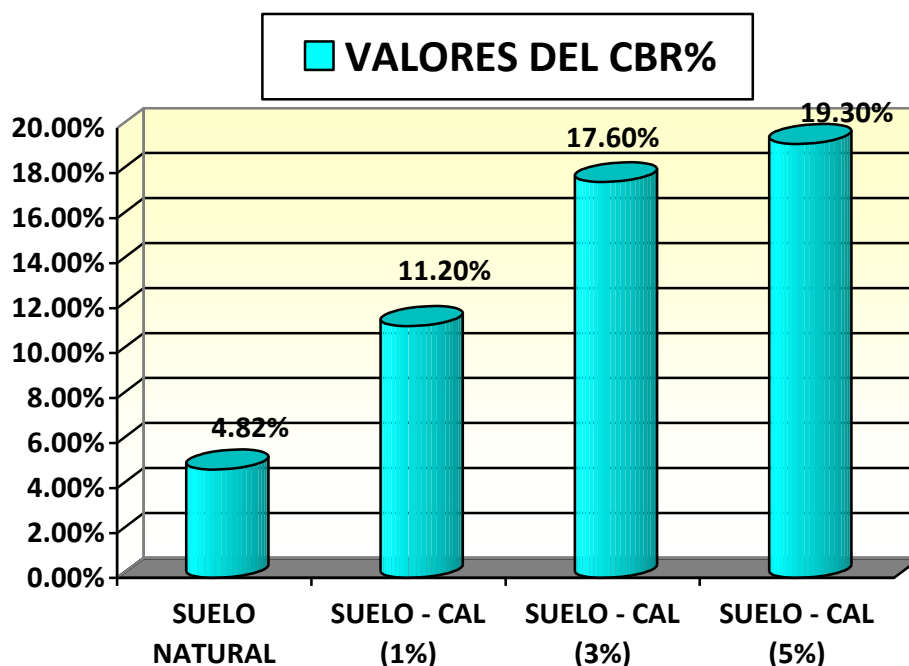


Fuente: Elaboración propia (2021).

De acuerdo a la **Figura 21**: Demuestra que el suelo natural dentro del rango de (12 golpes – 56 golpes) a mayor cantidad de número de golpes de compactación de CBR, la expansión del material es menor a comparación del suelo con el mínimo número de golpes. Siendo para el caso, el suelo natural con 12 golpes de compactación CBR obtuvo una expansión de 4.25%, mientras que la misma con 56 golpes de compactación CBR obtuvo una expansión de 2.90%.

Así mismo, las muestras de suelo - cal viva en todas sus proporciones compactados con el mayor numero de golpes (56 golpes), resultan de expansiones menores. Como también a mayor % de cal viva, disminuye la expansión, aproximándose a cumplir que el suelo no tenga infiltración de agua.

figura 22: Comparación de los Valores de CBR% del Suelo



Fuente: Elaboración propia (2021).

Según la **Figura 22**, se obtuvieron los siguientes resultados: Para un suelo en su estado natural un CBR de **4.82%**, para un suelo – cal (1%) un CBR de **11.20%**, para un suelo – cal (3%) un CBR de **17.60%**, y para un suelo – cal (5%) un CBR de **19.30%**,

Al adicionar Cal viva al suelo en mayores porcentajes, aumentan significativamente su capacidad portante y resistencia, logrando cumplir con las normativas del **(CE. 020)** y el **(MTC, 2014)**.

4.9. RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS

Tabla 34: Resultados Obtenidos de los Ensayos

| ENSAYOS | SUELO | | | |
|---|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| | NATURAL | 1% CAL VIVA | 3% CAL VIVA | 5% CAL VIVA |
| SUCS | CL | - | - | - |
| ASSHTO | A-6 (10) | - | - | - |
| LÍMITE LÍQUIDO (%) | 39 | - | - | - |
| LÍMITE PLÁSTICO (%) | 17 | - | - | - |
| ÍNDICE PLÁSTICO (%) | 22 | - | - | - |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm³) | 1.853 | 1.854 | 1.859 | 1.866 |
| ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | 13.06 | 12.32 | 12.18 | 11.09 |
| CBR 100% | 5.29 | 13.75 | 19.49 | 30.68 |
| CBR 95% | 4.82 | 11.20 | 17.60 | 19.30 |

Fuente: Elaboración propia (2021).

CAPÍTULO V: DISCUSIONES

- DISCUSIONES

En la presente investigación se desarrollaron los resultados buscando mejora en las propiedades físicas y mecánicas del suelo, mediante el tratamiento de estabilizarlo con cal viva como material estabilizante, para ello se realizó la excavación de una calicata para su posterior investigación aplicándolo porcentajes en proporciones de 1%,3% y 5% de cal viva y de esa manera obtener valores en cuanto a los límites de consistencia, Máxima Densidad Seca y Relación de Soporte California (CBR).

Según el (MTC, 2014), indica: **“La granulometría del material a estabilizar corresponde a los siguientes tipos de suelos: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7”**.

- Del ensayo granulométrico de la muestra según la clasificación AASHTO, tabla 2 de la presente investigación **“Clasificación de Materiales para Subrasantes de Carreteras”**, se obtuvo como resultado un suelo que pertenece al grupo **A-6 (10)**.
- Así mismo mediante la clasificación SUCS, tabla 5 de la presente investigación **“Sistema Unificado de Clasificación, Símbolos de Grupo para Suelos Limosos y Arcilloso”**, se obtuvo un suelo **CL**.

Según el (MTC, 2014) y la norma (CE. 020), indican: **“La fracción inferior del tamiz N°40 deberá presentar un límite Líquido inferior a 40 y un índice plástico comprendido entre 10 y 50%”**.

- En cuanto a los ensayos de límites de consistencia, se obtuvieron los siguientes resultados: LL = 39%, LP = 17%, IP = 22%, cumpliendo con los parámetros que la norma nos indica.

Según afirma (Angulo & Zavaleta, 2020), que **“La aplicación de cal a la muestra modifica la plasticidad, aumenta la capacidad de soporte y resistencia al corte y reduce su hinchamiento (expansión)”**.

- Comprobando los resultados, se logra verificar que efectivamente a medida que adicionamos cal viva a la muestra, sufre esos grandes cambios favoreciendo enormemente a su capacidad de soporte y resistencia.

Respecto al óptimo contenido de humedad, a mayor adición de cal menor porcentaje de humedad requiere la muestra para su correcto y adecuado compactado.

Según el (MTC, 2014), indica: **“Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con CBR \geq 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 estudio especial para la estabilización”**.

- La muestra investigada, presentaba una subrasante pobre e inadecuada, lográndose de esa manera hacer el estudio de investigación para su mejora correspondiente. En cumplimiento con la norma, se desarrolló la estabilización con la cal viva, obteniendo de ello resultados esperados y satisfactorios.
- El Suelo en estado natural obtuvo un CBR de: **4.82%**, estando por debajo e incumpliendo del 6% que la norma pone como mínimo para ser apto su uso en capas de subrasantes.

- El suelo adicionado con 1% de cal viva, logró un CBR de: **11.20%**, logrando de esa manera cumplir con la norma del MTC y pudiendo ser apto su uso en capas de subrasante.
- Los suelos adicionados con 3% y 5% de cal viva, obtuvieron un CBR de: **17.60%** y **19.30%** respectivamente, cumpliendo de todas formas con lo especificado por la norma para su uso.

Según la norma **(CE.020)** y el **(MTC, 2014)**, indican: Que por ningún motivo se debe emplear más de 8% de cal en el suelo, ya que se aumenta la resistencia, pero también la plasticidad.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ANEXOS

- CONCLUSIONES

- De la investigación realizada, se confirma que con la adición de cal (1%, 3%, y 5%) mejoran significativamente las propiedades físicas y mecánicas de la muestra, obteniéndose resultados favorecidos en todas sus aplicaciones.
- El suelo de la calle las Lagunas ubicada en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto, es una arcilla inorgánica, de color anaranjado, húmeda, con porcentajes apreciables de partículas finas, de baja plasticidad, clasificada como (CL) A-6 (10), con una capacidad de soporte (CBR) Muy pobre, por debajo lo que la norma (**MTC, 2014**), establece para ser empleado en capas de sub rasantes ($CBR \geq 6\%$).
- Según la clasificación **SUCS** del autor (**Braja, 1999**), se obtuvo como resultado una muestra CL (Arcilla Inorgánica de baja Plasticidad).
- Del Ensayo de Proctor Modificado, se observó que la máxima densidad seca aumenta considerablemente a medida que se aumenta la dosificación de Cal viva; mientras que el óptimo contenido de humedad disminuye a medida que aumenta la dosificación de **Cal** (ver figura 19 y 20).
- Los resultados obtenidos del suelo en estado natural y con la aplicación de cal en sus proporciones de 1%, 3%, y 5% presentan expansión del material, a medida que se aumenta la aplicación de la cal la expansión disminuye considerablemente.

- Los resultados de CBR indican que a medida que aumenta la dosificación de cal a la muestra, su capacidad portante y resistencia aumenta significativamente, presentando para un suelo en su estado natural un CBR = 4.82%, suelo – cal (1%) un CBR = 11.20%, suelo – cal (3%) un CBR = 17.60%, y para el suelo – cal (5%) un CBR = 19.30%.
- Con estos resultados de CBR obtenidos en la presente investigación, muestra que con el 1% de cal aplicada al suelo, se estaría cumpliendo con el parámetro mínimo de CBR establecido por el **(MTC, 2014)** – “Manual de carreteras, sección suelos geología, geotecnia y pavimentos – RD N°10 – 2014 – MTC/14”. Asimismo para las proporciones de 3% y 5% de cal cumpliendo satisfactoriamente.

- **RECOMENDACIONES.**

- Realizar variaciones menores del contenido de cal viva aplicado al suelo para posteriores investigaciones y no exceder el 8% permitido en la norma (CE. 020).
- Ampliar la investigación con otros puntos de calicatas para una comparación y análisis de los resultados obtenidos.
- Tener en consideración la calidad del agua al momento de realizar los ensayos, debido a que el agua que se emplea en obra es distinta a lo que se aplica en laboratorio.

- **BIBLIOGRAFÍA.**

1. **Cuadros, Claudia.** Mejoramiento de las propiedades físico - mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio - 2016. Junín, Universidad Peruana los Andes. Huancayo : s.n., 2017. pág. 83, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

2. **López, José y Grely, Ortiz.** Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la Urbanización San Luis de la ciudad de Abancay. Apurímac, Universidad Tecnológica de los Andes. Abancay : s.n., 2018. pág. 13, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil.

3. **Angulo, Mariselva y Zavaleta, Cintia.** “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS COMO CAPA DE RODADURA EN LA PROLONGACIÓN NAVARRO CAUPER, DISTRITO SAN JUAN – MAYNAS – IQUITOS, 2019”. Loreto, Universidad Científica del Perú. Iquitos : s.n., 2020. pág. 13, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil.

4. **Jara, Robinson.** EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO. Cajamarca, Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca : s.n., 2014. pág. 60, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

5. **Ramos, Mercy y Robledo, Sthefany.** ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA AV. AHUASHIYACU POR MEDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE CAL, EN EL DISTRITO DE LA BANDA DE SHILCAYO, PROVINCIA Y REGIÓN SAN MARTÍN - 2020. San Martín, Universidad Científica del Perú. Tarapoto : s.n., 2020. pág. 82, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

6. **Vásquez, Jaime y Marin, Christian.** EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO EN

CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN SELVA BAJA. APLICACIÓN CARRETERA EX PETROLEROS, LORETO. Loreto, Universidad Científica del Perú. Iquitos : s.n., 2020. pág. 148, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

7. **Niño, Anderson.** ADICIÓN DE CAL PARA MEJORA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN EN CONDOMINIO MONTE - CARMELO, DISTRITO EL CARMEN - CHINCHA - ICA, 2018. Universidad César Vallejo. Lima : s.n., 2018. pág. 72, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

8. **Machco, Eddvien.** Aplicación de cal para mejorar la estabilidad de subrasante en la Calle Luna Pizarro A. H. Cueva de los Tallos, Ventanilla, 2019. Universidad César Vallejo. Lima : s.n., 2019. pág. 57, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

9. **Guamán, Israel.** ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN SUELO ARCILLOSO ESTABILIZADO POR DOS MÉTODOS QUÍMICOS (CAL Y CLORURO DE SODIO). Universidad Técnica de Ambato. Ambato : s.n., 2016. pág. 62, Trabajo experimental previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

10. **Huezo, Heber y Orellana, Alber.** GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN EL SALVADOR. Universidad de el Salvador. San Salvador : s.n., 2009. pág. 220, Tesis para optar al título de Ingeniero Civil.

11. **López, Olga y Zapata, Juan.** Análisis de trabajos previos de la estabilización de un suelo usando cal a nivel de subrasante. Piura. 2021. Piura, Universidad César Vallejo. Piura : s.n., 2020. pág. 63, Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil.

12. **Castillo, Byron.** Estabilización de Suelos Arcillosos de Macas con Valores de CBR menores al 5% y Límites Líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como Subrasantes en Carreteras. Universidad de Cuenca.

Cuenca : s.n., 2017. pág. 90, Tesis previa a la obtención del grado de Máster en Ingeniería en Vialidad y Transporte.

13. **Hernández, Josué, Mejía, David y César, Zelaya.** PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Universidad de el Salvador. 2016. pág. 165, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil.

14. **Ravines, María.** Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras. Universidad de Piura. Piura : s.n., 2010. pág. 12, Tesis para Optar el título de Ingeniero Civil.

15. **Leon, Kenneth.** Funcionalidad del aditivo sólido rocatech 70/30 como aglomerante para una base estabilizada con la tecnología proes en el proyecto Red Vial N°3-Cusco. Universidad Continental. Huancayo : s.n., 2016. pág. 30, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

16. **MTC.** MANUAL DE CARRETERAS SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS. 2014. pág. 98.

17. **Serigos, Pedro.** Rigidez a baja deformación de mezclas de suelo de la formación panpaneano y cemento Portland. Universidad de Buenos Aires. 2009. pág. 8, Tesis de grado en Ingeniería Civil.

18. **Montejo, Alfonso.** Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogota : Agora Editores, 2002. pág. 100.

19. Carreteras. **Española, Asociación.** 2010, Revista técnica de la asociación Española de la carretera, pág. 22.

20. **Lime.** Manual de estabilización de suelo tratado con cal. s.l. : Lime, 2004. pág. 7.

21. **Crespo, Carlos.** Mecánica de suelos y cimentaciones. México : Limusa, 2004. pág. 18.

22. **Braja, M. Das.** Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México : Thomson, 1999. pág. 35.

23. **CE. 020, Norma.** ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y TALUDES.

24. **JUÁREZ BADILLO, EULALIO y RICO RODRÍGUEZ, ALFONSO.**
FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA DE SUELOS - TOMO I. MÉXICO : s.n.,
2005.

- **ANEXOS**

ANEXO 01: FORMATO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Responsables:.....

Fecha:.....

| Tamices ASTM | Abertura en mm | Peso Retenido | % Retenido Parcial | %Retenido Acumulado | % Que pasa |
|--------------|----------------|---------------|--------------------|---------------------|------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

ANEXO 02: FORMATO DE LÍMITES ATTERBERG

Responsables:.....

Fecha:.....

Límite Líquido: Norma ASTM D 4318 – T 89

| Ensayo N ^a | | | |
|--------------------------|--|--|--|
| N ^a de Golpes | | | |
| R + Suelo Húmedo | | | |
| R + Suelo Seco | | | |
| Peso de la Tara | | | |
| Peso de Agua | | | |
| Peso de Suelo Seco | | | |
| % de Humedad | | | |

Límite Plástico: Norma ASTM D 4318 – T 90

| Ensayo N ^a | | | |
|--------------------------|--|--|--|
| N ^a de Golpes | | | |
| R + Suelo Húmedo | | | |
| R + Suelo Seco | | | |
| Peso de la Tara | | | |
| Peso de Agua | | | |
| Peso de Suelo Seco | | | |
| % de Humedad | | | |

ANEXO 03: FORMATO DE PROCTOR MODIFICADO

Responsables:.....

Fecha:.....

Compactación

| Prueba N° | | | | |
|--|--|--|--|--|
| Numero de capas | | | | |
| Numero de golpes | | | | |
| Peso suelo + molde (gr.) | | | | |
| Peso molde (gr.) | | | | |
| Volumen del molde (cm ³) | | | | |
| Peso suelo compactado (gr.) | | | | |
| Densidad humedad (gr/cm ³) | | | | |

Humedad (%)

| N° Recipiente | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Recipiente + suelo húmedo (gr.) | | | | | | | | |
| Recipiente + suelo seco (gr.) | | | | | | | | |
| Peso de recipiente (gr.) | | | | | | | | |
| Peso de agua (gr.) | | | | | | | | |
| Peso de suelo seco (gr.) | | | | | | | | |
| Humedad (%) | | | | | | | | |
| Promedio Humedad (%) | | | | | | | | |
| Densidad Seca (gr/cm ³) | | | | | | | | |

ANEXO 04: FORMATO DE ENSAYO CBR

Responsables:.....

Fecha:.....

| | | | | | | | |
|------------------------------|-----------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| Molde | Nº | | | | | | |
| Capas | Nº | | | | | | |
| Golpes por capa | Nº | | | | | | |
| Condición de muestra | | Hum. Optima | Saturado | Hum. Optima | Saturado | Hum. Optima | Saturado |
| Peso de suelo húmedo + molde | Gr. | | | | | | |
| Peso del molde | Gr. | | | | | | |
| Volumen del suelo | c.c. | | | | | | |
| Peso del suelo húmedo | Gr. | | | | | | |
| Densidad húmeda | Gr/c.c. | | | | | | |

HUMEDAD

| | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|--|--|--|--|--|--|
| Nº de Recipiente | Nº | | | | | | |
| Peso del suelo húmedo + Recip. | Gr. | | | | | | |
| Peso del suelo seco + Recip. | Gr. | | | | | | |
| Peso de la Recipiente | Gr. | | | | | | |
| Peso del agua | Gr. | | | | | | |
| Peso del suelo seco | Gr. | | | | | | |
| Humedad | % | | | | | | |
| Densidad seca | Gr/c.c. | | | | | | |

EXPANSION

| Fecha | Hora | Tiempo días | Dial (pulg.) | Expansión % | Dial (pulg.) | Expansión % | Dial (pulg.) | Expansión % |
|-------|------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

PENETRACION

| Penetración Pulgadas | Penetración m.m | Carga | | Carga | | Carga | |
|----------------------|-----------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | | Kg | kg/cm2 | Kg | kg/cm2 | Kg | kg/cm2 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

ANEXO 05: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT – LM – 240 2020

METROTEC

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 240 - 2020

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

| | | |
|---------------------------------|--|---|
| 1. Expediente | 200126 | 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). |
| 2. Solicitante | UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU | |
| 3. Dirección | Av. José Abelardo Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO. | |
| 4. Equipo de medición | BALANZA ELECTRÓNICA | 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. |
| Capacidad Máxima | 4100 g | |
| División de escala (d) | 0,01 g | |
| Div. de verificación (e) | 0,1 g | |
| Clase de exactitud | II | |
| Marca | OHAUS | |
| Modelo | PAJ4102 | |
| Número de Serie | 8331210483 | |
| Capacidad mínima | 0,5 g | |
| Procedencia | U.S.A. | |
| Identificación | NO INDICA | |
| Ubicación | LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES | |
| 5. Fecha de Calibración | 2020-08-17 | |

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2020-08-26


ELEAZAR CESAR PEREZ RARAZ



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
calidad@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 240 - 2020

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

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 Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones Ambientales

| | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 31,6 °C | 31,9 °C |
| Humedad Relativa | 66 % | 65 % |



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) DM-INACAL: 180467001 | PESAS (Clase de Exactitud: E2) | LM-C-198-2019 / LM-218-2019 |

10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 240 - 2020**

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

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

Temperatura Inicial Final
31,6 °C 31,6 °C

| Medición Nº | Carga L1 = 2 000,00 g | | | Carga L2 = 4 000,00 g | | | |
|--------------------------|-----------------------|---------|--------|--------------------------|---------|--------|-------|
| | I (g) | ΔL (mg) | E (mg) | I (g) | ΔL (mg) | E (mg) | |
| 1 | 2 000,00 | 7 | -2 | 4 000,01 | 4 | 11 | |
| 2 | 2 000,00 | 8 | -3 | 4 000,01 | 4 | 11 | |
| 3 | 2 000,00 | 8 | -3 | 4 000,01 | 3 | 12 | |
| 4 | 1 999,99 | 3 | -8 | 4 000,02 | 8 | 17 | |
| 5 | 2 000,00 | 7 | -2 | 4 000,01 | 4 | 11 | |
| 6 | 2 000,00 | 7 | -2 | 4 000,02 | 9 | 16 | |
| 7 | 2 000,00 | 8 | -3 | 4 000,01 | 3 | 12 | |
| 8 | 1 999,99 | 2 | -7 | 4 000,01 | 3 | 12 | |
| 9 | 2 000,00 | 7 | -2 | 4 000,02 | 8 | 17 | |
| 10 | 2 000,00 | 7 | -2 | 4 000,01 | 4 | 11 | |
| Diferencia Máxima | | | 6 | Diferencia Máxima | | | 6 |
| Error Máximo Permissible | | | ± 200 | Error Máximo Permissible | | | ± 300 |



ENSAYO DE EXCENTRICIDAD



Posición de las cargas

Temperatura Inicial Final
31,6 °C 31,7 °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 g | 0,10 | 5 | 0 | 1 300,00 | 1 300,00 | 5 | 0 | 0 |
| 2 | | 0,10 | 5 | 0 | | 1 300,01 | 8 | 7 | 7 |
| 3 | | 0,10 | 5 | 0 | | 1 300,00 | 4 | 1 | 1 |
| 4 | | 0,10 | 5 | 0 | | 1 300,00 | 6 | -1 | -1 |
| 5 | | 0,10 | 5 | 0 | | 1 300,02 | 9 | 16 | 16 |
| Error máximo permisible | | | | | | | | | ± 200 |

* Valor entre 0 y 10e



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 240 - 2020

Área de Metrología
 Laboratorio de Masas

ENSAYO DE PESAJE

| | | |
|-------------|---------|---------|
| Temperatura | Inicial | Final |
| | 31,7 °C | 31,9 °C |

| Carga L (g) | CRECIENTES | | | | DECRECIENTES | | | | e.m.p ** (± mg) |
|----------------|------------|---------|--------|---------|--------------|---------|--------|---------|----------------------|
| | l (g) | ΔL (mg) | E (mg) | Ec (mg) | l (g) | ΔL (mg) | E (mg) | Ec (mg) | |
| 0,10 | 0,10 | 5 | 0 | | | | | | |
| 0,50 | 0,50 | 5 | 0 | 0 | 0,50 | 8 | -3 | -3 | 100 |
| 1,00 | 1,00 | 5 | 0 | 0 | 1,00 | 8 | -3 | -3 | 100 |
| 10,00 | 10,00 | 4 | 1 | 1 | 10,00 | 7 | -2 | -2 | 100 |
| 50,00 | 50,00 | 4 | 1 | 1 | 50,00 | 7 | -2 | -2 | 100 |
| 100,00 | 100,00 | 4 | 1 | 1 | 100,00 | 7 | -2 | -2 | 100 |
| 500,00 | 500,00 | 4 | 1 | 1 | 500,00 | 6 | -1 | -1 | 100 |
| 1 000,00 | 1 000,00 | 5 | 0 | 0 | 1 000,00 | 6 | -1 | -1 | 200 |
| 2 000,00 | 2 000,00 | 6 | -1 | -1 | 2 000,00 | 6 | -1 | -1 | 200 |
| 3 000,00 | 3 000,01 | 9 | 6 | 6 | 3 000,00 | 4 | 1 | 1 | 300 |
| 4 100,00 | 4 100,00 | 5 | 0 | 0 | 4 100,00 | 5 | 0 | 0 | 300 |

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza. ΔL: Carga adicional. E₀: Error en cero.
 l: Indicación de la balanza. E: Error encontrado. E_c: Error corregido.



Lectura corregida $R_{CORREGIDA} = R + 0,000000407 R$

Incertidumbre expandida de medición $U = 2 \times \sqrt{(0,0000254 \text{ g}^2 + 0,0000000005 R^2)}$

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

ANEXO 06: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT – LM – 237 - 2020

METROTEC

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 237 - 2020

Área de Metrología
Laboratorio de Masa

Página 1 de 4

| | |
|---------------------------------|--|
| 1. Expediente | 200126 |
| 2. Solicitante | UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU |
| 3. Dirección | Av. José Abelardo Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO. |
| 4. Equipo de medición | BALANZA ELECTRÓNICA |
| Capacidad Máxima | 30 000 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 | 2020-08-19 |

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

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2020-08-26


ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
calidad@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 237 - 2020*Área de Metrología*
Laboratorio de Masa

Página 2 de 4

6. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-001 1ra Edición, 2019: "Procedimiento para la calibración de balanzas de funcionamiento no automático clase III y clase IIII" del INACAL-DM.

7. Lugar de calibración**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

Av. José Abelardo Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones Ambientales

| | Inicial | Final |
|----------------------|---------|-------|
| Temperatura (°C) | 31,5 | 31,6 |
| Humedad Relativa (%) | 59,9 | 59,9 |

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) DM - INACAL 180467001 | Pesa (exactitud E2) | LM-C-198-2019 |
| PESAS (Clase de exactitud F2) DM- INACAL LM-033-2019 | Pesa (exactitud M1) | M-1445-2019 |
| PESA (Clase de exactitud M1) TOTAL WEIGHT: M-0070-2019 | Pesa (exactitud M2) | CM-2487-2019 |
| PESA (Clase de exactitud M1) TOTAL WEIGHT: M-0251-2019 | Pesa (exactitud M2) | CM-2486-2019 |

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 237 - 2020

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 | CURSOS | NO TIENE |
| | | NIVELACIÓN | TIENE | | |

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

| | | |
|-------------|---------|---------|
| | Inicial | Final |
| Temperatura | 31,6 °C | 31,6 °C |

| Medición Nº | Carga L1 = 15 000,0 g | | | Carga L2 = 30 000,0 g | | | |
|-------------------------|-----------------------|--------|--------|-------------------------|--------|-------|--------|
| | I (g) | ΔL (g) | E (g) | I (g) | ΔL (g) | E (g) | |
| 1 | 15 000 | 0,3 | 0,2 | 29 997 | 0,4 | -2,9 | |
| 2 | 15 000 | 0,3 | 0,2 | 29 997 | 0,3 | -2,8 | |
| 3 | 15 000 | 0,4 | 0,1 | 29 997 | 0,4 | -2,9 | |
| 4 | 15 000 | 0,3 | 0,2 | 29 998 | 0,8 | -2,3 | |
| 5 | 15 000 | 0,3 | 0,2 | 29 997 | 0,5 | -3,0 | |
| 6 | 15 000 | 0,3 | 0,2 | 29 998 | 0,9 | -2,4 | |
| 7 | 15 000 | 0,4 | 0,1 | 29 997 | 0,4 | -2,9 | |
| 8 | 15 000 | 0,3 | 0,2 | 29 998 | 0,8 | -2,3 | |
| 9 | 15 000 | 0,5 | 0,0 | 29 998 | 0,8 | -2,3 | |
| 10 | 15 000 | 0,3 | 0,2 | 29 997 | 0,3 | -2,8 | |
| Diferencia Máxima | | | 0,2 | Diferencia Máxima | | | 0,7 |
| Error Máximo Permisible | | | ± 20,0 | Error Máximo Permisible | | | ± 30,0 |



ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

| | |
|---|---|
| 2 | 5 |
| 1 | |
| 3 | 4 |

Posición de las cargas

| | | |
|-------------|---------|---------|
| | Inicial | Final |
| Temperatura | 31,6 °C | 31,6 °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) | I (g) | ΔL (g) | E (g) | Ec (g) |
| 1 | | 10 | 0,6 | -0,1 | | 10 000 | 0,6 | -0,1 | 0,0 |
| 2 | | 10 | 0,6 | -0,1 | | 10 000 | 0,5 | 0,0 | 0,1 |
| 3 | 10,0 g | 10 | 0,6 | -0,1 | 10 000,0 g | 10 000 | 0,5 | 0,0 | 0,1 |
| 4 | | 10 | 0,6 | -0,1 | | 10 001 | 0,8 | 0,7 | 0,8 |
| 5 | | 10 | 0,6 | -0,1 | | 10 001 | 0,9 | 0,6 | 0,7 |
| Error máximo permisible | | | | | | | | | ± 20,0 |

* Valor entre 0 y 10g

Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
calidad@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 237 - 2020

Área de Metrología
Laboratorio de Masa

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura Inicial Final
31,6 °C 31,5 °C

| Carga L (g) | CARGA CRECIENTE | | | CARGA DECRECIENTE | | | | ± e.m.p (g)** | |
|----------------|-----------------|--------|-------|-------------------|--------|--------|-------|------------------|--------|
| | l (g) | ΔL (g) | E (g) | Ec (g) | l (g) | ΔL (g) | E (g) | | Ec (g) |
| 10,0 | 10 | 0,5 | 0,0 | | | | | | |
| 20,0 | 20 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 20 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 10,0 |
| 100,0 | 100 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 100 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 10,0 |
| 500,0 | 500 | 0,6 | -0,1 | -0,1 | 500 | 0,6 | -0,1 | -0,1 | 10,0 |
| 1 000,0 | 1 000 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 1 000 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 10,0 |
| 4 999,9 | 5 000 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 5 000 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 10,0 |
| 10 000,2 | 10 000 | 0,5 | -0,2 | -0,2 | 10 000 | 0,6 | -0,3 | -0,3 | 20,0 |
| 15 000,1 | 15 000 | 0,6 | -0,2 | -0,2 | 15 000 | 0,6 | -0,2 | -0,2 | 20,0 |
| 20 000,1 | 20 000 | 0,8 | -0,4 | -0,4 | 19 999 | 0,4 | -1,0 | -1,0 | 20,0 |
| 25 000,0 | 25 000 | 0,7 | -0,2 | -0,2 | 24 999 | 0,4 | -0,9 | -0,9 | 30,0 |
| 30 000,3 | 29 998 | 0,4 | -2,2 | -2,2 | 29 998 | 0,4 | -2,2 | -2,2 | 30,0 |

** 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.



LECTURA CORREGIDA : $R_{CORREGIDA} = R + 2,78 \times 10^{-9} \times R$

INCERTIDUMBRE : $U = 2 \times \sqrt{2,95 \times 10^{-1} g^2 + 7,73 \times 10^{-10} \times R^2}$

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

Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
calidad@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

ANEXO 07: INFORME DE VERIFICACIÓN MT – IV – 197 - 2020

METROTEC

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

INFORME DE VERIFICACIÓN MT - IV - 197 - 2020

Área de Metrología
Laboratorio de Longitud

Página 1 de 3

| | | |
|-----------------------------------|--|---|
| 1. Expediente | 200126 | 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. |
| 2. Solicitante | UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU | |
| 3. Dirección | Av. José Abelardo Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO. | |
| 4. Instrumento de medición | CAZUELA CASAGRANDE | |
| Marca | FORNEY | |
| Modelo | NO INDICA | 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. |
| Procedencia | U.S.A. | |
| Número de Serie | 709 | |
| Código de Identificación | 336111-0004 (*) | |
| Tipo de contador | ANALÓGICO | |
| 5. Fecha de Verificación | 2020-08-18 | El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez. |

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2020-08-26


ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
calidad@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

**INFORME DE VERIFICACIÓN
MT - IV - 197 - 2020***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 Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones ambientales

| | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 30,1 °C | 30,1 °C |
| Humedad Relativa | 68 % | 68 % |

**9. Patrones de referencia**

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Certificado de calibración |
|--|--|----------------------------|
| Regla de acero Clase I INACAL DM/LLA-339-2019 | Regla de acero de 1000 mm con incertidumbre de 0,1 mm | INACAL DM LLA-0399-2019 |
| Magnificador óptico con retícula de medición. INACAL DM/LLA-043-2017 | | |

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **VERIFICADO**.
- (*) Código indicado en una etiqueta adherido al instrumento.

**INFORME DE VERIFICACIÓN
MT - IV - 197 - 2020***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) |
|-------------|------------------|------------|
| 50,69 | 150,19 | 125,10 |

DIMENSIONES DE LA COPA

| Radio de la copa (mm) | Espesor de la copa (mm) | Altura desde la guía del elevador hasta la base (mm) |
|-----------------------|-------------------------|--|
| 53,88 | 1,97 | 47,49 |



Fin del Documento

ANEXO 08: INFORME DE VERIFICACIÓN MT – IV – 198 - 2020



METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

INFORME DE VERIFICACIÓN MT - IV - 198 - 2020

Área de Metrología
Laboratorio de Longitud

Página 1 de 3

| | | |
|-----------------------------------|--|---|
| 1. Expediente | 200126 | <p>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).</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Este informe de verificación no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p> |
| 2. Solicitante | UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU | |
| 3. Dirección | Av. José Abelardo Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO. | |
| 4. Instrumento de medición | CAZUELA CASAGRANDE | |
| Marca | FORNEY | |
| Modelo | NO INDICA | |
| Procedencia | U.S.A. | |
| Número de Serie | 827 | |
| Código de Identificación | 356111-0003 (*) | |
| Tipo de contador | ANALÓGICO | |
| 5. Fecha de Verificación | 2020-08-18 | |

Fecha de Emisión

2020-08-26

Jefe del Laboratorio de Metrología


ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ

Sello



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Ms F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
calidad@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com



INFORME DE VERIFICACIÓN
MT - IV - 198 - 2020

Área de Metrología
Laboratorio de Longitud

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 Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones ambientales

| | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 30,3 °C | 30,4 °C |
| Humedad Relativa | 68 % | 68 % |



9. Patrones de referencia

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Certificado de calibración |
|--|--|----------------------------|
| Regla de acero Clase I INACAL DM/LLA-339-2019 | Regla de acero de 1000 mm con incertidumbre de 0,1 mm | INACAL DM LLA-0399-2019 |
| Magnificador óptico con retícula de medición. INACAL DM/LLA-043-2017 | | |

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **VERIFICADO**.
- (*) Código indicado en una etiqueta adherido al instrumento.



INFORME DE VERIFICACIÓN
MT - IV - 198 - 2020

Área de Metrología
Laboratorio de Longitud

11. Resultados

El equipo cumple con las especificaciones técnicas siguientes:

DIMENSIONES DE LA BASE DE GOMA DURA

| Altura (mm) | Profundidad (mm) | Ancho (mm) |
|-------------|------------------|------------|
| 50,63 | 150,13 | 125,39 |



DIMENSIONES DE LA COPA

| Radio de la copa (mm) | Espesor de la copa (mm) | Altura desde la guía del elevador hasta la base (mm) |
|-----------------------|-------------------------|--|
| 54,14 | 1,98 | 47,34 |

Fin del Documento

ANEXO 09: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT – LT – 108 - 2020

METROTEC

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LT - 108 - 2020

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 1 de 6

| | |
|-----------------|--|
| 1. Expediente | 200126 |
| 2. Solicitante | UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU |
| 3. Dirección | Av. José Abelardo Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO. |
| 4. Equipo | HORNO |
| Alcance Máximo | De 0 °C a 200 °C |
| Marca | PINZUAR |
| Modelo | PG-190 |
| Número de Serie | 198 |
| Procedencia | CHINA |
| Identificación | NO INDICA |
| Ubicación | LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES |

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 aqui declarados.

| Descripción | Controlador / Selector | Instrumento de medición |
|---------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Alcance | 0 °C a 200 °C | 0 °C a 200 °C |
| División de escala / Resolución | 0,1 °C | 0,1 °C |
| Tipo | DIGITAL | TERMÓMETRO DIGITAL |

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 2020-08-17

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2020-08-26


ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú
Telf.: (511) 540-0642
Cél.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
calidad@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LT - 108 - 2020***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 Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones Ambientales

| | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 29,5 °C | 29,7 °C |
| Humedad Relativa | 68 % | 68 % |

El tiempo de calentamiento y estabilización del equipo fue de 120min 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 - 104 - 2018 | TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL CON 12 CANALES | LT - 0669 - 2019 |
| Dirección de Metrología INACAL LT - 272 - 2018 | | |

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 - 108 - 2020

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) | T _{máx} -T _m |
|-----------------|----------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|----------------------------------|
| | | NIVEL SUPERIOR | | | | | NIVEL INFERIOR | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| 00 | 109,9 | 112,0 | 111,3 | 109,2 | 109,4 | 110,4 | 111,9 | 111,6 | 110,6 | 109,4 | 110,7 | 110,7 | 2,8 |
| 02 | 110,2 | 112,0 | 111,4 | 109,4 | 109,6 | 110,8 | 112,0 | 111,7 | 110,9 | 109,9 | 111,0 | 110,9 | 2,7 |
| 04 | 110,2 | 110,8 | 111,8 | 109,6 | 109,8 | 111,2 | 112,4 | 111,2 | 111,0 | 109,9 | 111,0 | 110,9 | 2,9 |
| 06 | 110,2 | 112,2 | 111,5 | 109,5 | 109,8 | 111,1 | 111,9 | 110,8 | 110,9 | 109,6 | 110,6 | 110,8 | 2,7 |
| 08 | 110,2 | 112,1 | 111,4 | 109,3 | 109,5 | 110,8 | 111,9 | 111,3 | 110,8 | 109,7 | 110,7 | 110,8 | 2,8 |
| 10 | 110,2 | 111,6 | 110,9 | 109,1 | 109,1 | 111,5 | 111,7 | 111,0 | 110,5 | 109,0 | 110,9 | 110,5 | 2,7 |
| 12 | 110,2 | 112,1 | 111,1 | 109,0 | 109,1 | 110,5 | 111,8 | 111,4 | 110,5 | 109,3 | 111,4 | 110,6 | 3,1 |
| 14 | 110,1 | 112,0 | 111,3 | 109,3 | 109,3 | 110,7 | 112,7 | 111,5 | 110,7 | 109,4 | 111,4 | 110,8 | 3,5 |
| 16 | 110,2 | 111,9 | 111,4 | 109,3 | 109,3 | 110,8 | 112,9 | 111,7 | 110,9 | 109,6 | 111,4 | 110,9 | 3,7 |
| 18 | 109,9 | 111,7 | 111,2 | 109,1 | 109,1 | 110,6 | 112,2 | 111,4 | 110,7 | 109,3 | 111,3 | 110,7 | 3,2 |
| 20 | 110,0 | 111,9 | 111,4 | 109,3 | 109,5 | 110,9 | 113,3 | 112,2 | 110,9 | 109,7 | 111,6 | 111,1 | 4,1 |
| 22 | 110,2 | 112,4 | 111,8 | 109,5 | 109,8 | 111,2 | 112,9 | 112,5 | 111,3 | 110,0 | 112,1 | 111,4 | 3,5 |
| 24 | 110,2 | 112,2 | 111,7 | 109,6 | 109,5 | 111,2 | 113,2 | 112,2 | 111,2 | 109,7 | 111,8 | 111,2 | 3,8 |
| 26 | 110,2 | 111,8 | 111,5 | 109,4 | 109,5 | 110,8 | 111,9 | 111,4 | 110,8 | 109,4 | 111,3 | 110,8 | 2,6 |
| 28 | 109,9 | 111,6 | 111,1 | 109,0 | 109,1 | 110,5 | 111,9 | 111,4 | 110,5 | 109,0 | 111,1 | 110,5 | 3,0 |
| 30 | 109,9 | 111,7 | 111,2 | 109,1 | 109,3 | 110,7 | 112,5 | 111,5 | 110,7 | 109,7 | 111,2 | 110,8 | 3,5 |
| 32 | 109,9 | 111,7 | 111,1 | 109,0 | 109,1 | 110,5 | 112,0 | 111,5 | 110,7 | 109,3 | 111,3 | 110,6 | 3,1 |
| 34 | 110,0 | 111,9 | 111,4 | 109,1 | 109,5 | 110,8 | 112,5 | 112,0 | 110,7 | 109,8 | 111,6 | 110,9 | 3,5 |
| 36 | 110,2 | 111,8 | 111,3 | 109,1 | 109,4 | 110,7 | 112,5 | 112,5 | 110,7 | 109,3 | 111,2 | 110,9 | 3,5 |
| 38 | 109,9 | 112,0 | 111,4 | 109,1 | 109,3 | 110,8 | 112,3 | 111,6 | 110,8 | 109,4 | 111,4 | 110,8 | 3,3 |
| 40 | 110,2 | 111,6 | 111,1 | 109,0 | 109,2 | 110,5 | 112,0 | 111,4 | 110,7 | 109,3 | 111,1 | 110,6 | 3,1 |
| 42 | 109,9 | 111,8 | 111,4 | 109,3 | 109,3 | 110,7 | 112,8 | 111,8 | 110,8 | 109,7 | 111,3 | 110,9 | 3,6 |
| 44 | 109,9 | 111,7 | 111,2 | 109,1 | 109,3 | 111,5 | 111,9 | 111,4 | 110,5 | 109,1 | 111,1 | 110,7 | 2,9 |
| 46 | 109,9 | 111,3 | 111,0 | 109,0 | 109,1 | 110,4 | 112,2 | 111,4 | 110,5 | 109,1 | 111,2 | 110,5 | 3,3 |
| 48 | 109,9 | 111,7 | 111,1 | 109,1 | 109,3 | 110,7 | 112,5 | 111,5 | 110,6 | 109,2 | 111,4 | 110,7 | 3,5 |
| 50 | 110,0 | 112,0 | 111,3 | 109,1 | 109,5 | 110,7 | 112,9 | 111,8 | 110,7 | 109,5 | 111,4 | 110,9 | 3,9 |
| 52 | 110,2 | 111,7 | 111,4 | 109,1 | 109,3 | 110,8 | 113,0 | 111,9 | 110,7 | 109,4 | 111,5 | 110,9 | 4,0 |
| 54 | 110,2 | 111,7 | 111,2 | 109,0 | 109,2 | 110,7 | 112,5 | 111,7 | 110,7 | 109,4 | 111,4 | 110,8 | 3,6 |
| 56 | 110,1 | 111,5 | 111,2 | 109,1 | 109,3 | 110,7 | 112,1 | 111,3 | 110,8 | 109,2 | 111,4 | 110,7 | 3,1 |
| 58 | 110,0 | 111,8 | 111,3 | 109,3 | 109,2 | 110,8 | 112,2 | 111,8 | 110,7 | 109,7 | 111,4 | 110,8 | 3,1 |
| 60 | 109,9 | 111,9 | 111,5 | 109,4 | 109,6 | 111,0 | 112,3 | 111,9 | 110,8 | 109,5 | 111,5 | 111,0 | 3,0 |
| T.PROM | 110,1 | 111,8 | 111,4 | 109,2 | 109,4 | 110,9 | 112,4 | 111,7 | 110,7 | 109,5 | 111,3 | 110,8 | |
| T.MAX | 110,2 | 112,4 | 111,8 | 109,6 | 109,8 | 111,5 | 113,3 | 112,5 | 111,3 | 110,0 | 112,1 | | |
| T.MIN | 109,9 | 110,8 | 110,9 | 109,0 | 109,1 | 110,4 | 111,7 | 110,8 | 110,5 | 109,0 | 110,6 | | |
| DTT | 0,3 | 1,6 | 0,9 | 0,6 | 0,7 | 1,1 | 1,6 | 1,7 | 0,8 | 1,0 | 1,6 | | |



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LT - 108 - 2020***Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura*

Página 4 de 6

| PARÁMETRO | VALOR (°C) | INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C) |
|---|-----------------|-----------------------------------|
| Máxima Temperatura Medida | 113,3 | 0,6 |
| Mínima Temperatura Medida | 109,0 | 0,3 |
| Desviación de Temperatura en el Tiempo | 1,7 | 0,2 |
| Desviación de Temperatura en el Espacio | 3,2 | 0,4 |
| Estabilidad Medida (±) | 0,8 | 0,04 |
| Uniformidad Medida | 4,1 | 0,4 |

- 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 Isotermo : - 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.

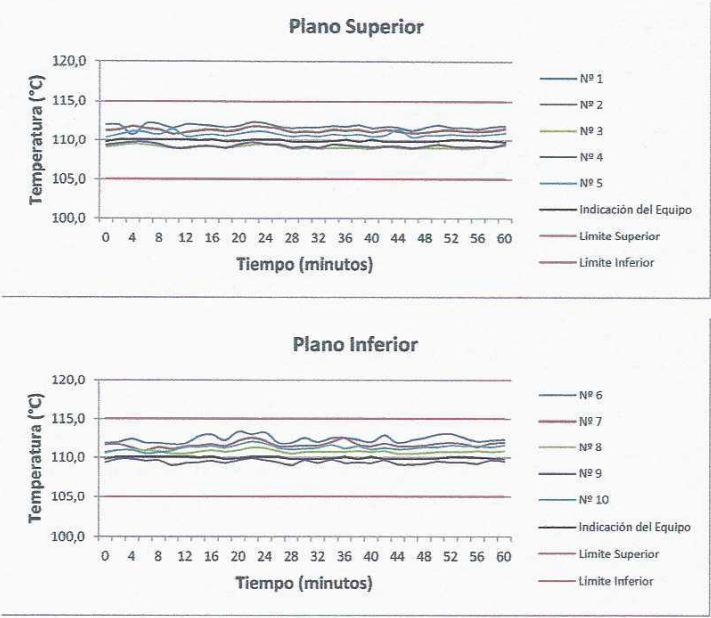




CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LT - 108 - 2020

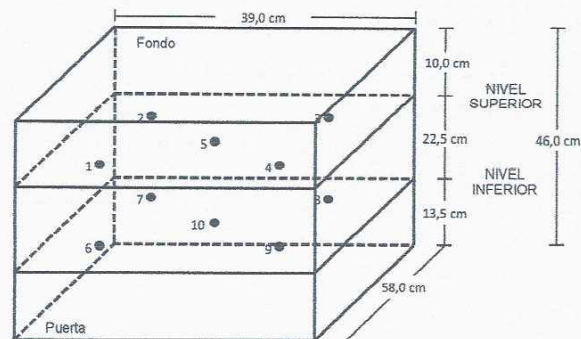
Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO
TEMPERATURA DE TRABAJO: 110 °C ± 5 °C



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LT - 108 - 2020***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 6 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

ANEXO 10: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT – LF – 125 - 2020

METROTEC

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LF - 125 - 2020

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

| | | |
|--------------------------------|--|---|
| 1. Expediente | 200126 | 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). |
| 2. Solicitante | UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU | |
| 3. Dirección | Av. José Abelardo Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO. | |
| 4. Equipo | PRENSA CBR | 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. |
| Capacidad | 5000 kgf | |
| Marca | FORNEY | |
| Modelo | LA-3626 | |
| Número de Serie | 2465 | 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. |
| Procedencia | U.S.A. | |
| Identificación | NO INDICA | |
| Indicación | DIGITAL | Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite. |
| Marca | HIWEIGH | |
| Modelo | 315 | |
| Número de Serie | NO INDICA | |
| Resolución | 0,1 kgf | |
| Ubicación | LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES | El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez. |
| 5. Fecha de Calibración | 2020-08-17 | |

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2020-08-26


ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mc F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
calidad@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 125 - 2020*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 Quiñonez km. 2,5 Res. San Juan, San Juan Bautista - Maynas - LORETO.

8. Condiciones Ambientales

| | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 20,6 °C | 20,5 °C |
| Humedad Relativa | 67 % HR | 67 % HR |

**9. Patrones de referencia**

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Informe/Certificado de calibración |
|---|--|------------------------------------|
| Celdas patrones calibradas en HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania | Celda de carga calibrado a 20 tnf con incertidumbre del orden de 0,5 % | LEDI-PUCP INF-LE 012-20B |

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- El equipo trabaja con una celda de carga, Marca: NO INDICA, Modelo: F-555-A y Serie: 5G4386

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú

Telf.: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282

RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

calidad@metrologiatecnicas.com

WEB: www.metrologiatecnicas.com

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LF - 125 - 2020

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

| Indicación del Equipo | | Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia | | | |
|-----------------------|-------------|--|-------------|-------------|----------------------|
| % | F_1 (kgf) | F_1 (kgf) | F_2 (kgf) | F_3 (kgf) | $F_{promedio}$ (kgf) |
| 10 | 500,0 | 500,5 | 500,2 | 500,4 | 500,4 |
| 20 | 1000,0 | 999,7 | 999,2 | 999,5 | 999,5 |
| 30 | 1500,0 | 1499,1 | 1498,6 | 1498,8 | 1498,8 |
| 40 | 2000,0 | 1998,5 | 1998,2 | 1998,3 | 1998,3 |
| 50 | 2500,0 | 2498,0 | 2497,7 | 2497,8 | 2497,8 |
| 60 | 3000,0 | 2997,5 | 2997,2 | 2997,1 | 2997,3 |
| 70 | 3500,0 | 3497,0 | 3496,6 | 3496,1 | 3496,6 |
| 80 | 4000,0 | 3996,4 | 3996,2 | 3996,0 | 3996,2 |
| 90 | 4500,0 | 4495,7 | 4495,2 | 4495,3 | 4495,4 |
| 100 | 5000,0 | 4995,0 | 4994,6 | 4994,5 | 4994,7 |
| 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 a (%) | |
| 500,0 | -0,07 | 0,06 | --- | 0,02 | 0,21 |
| 1000,0 | 0,05 | 0,05 | --- | 0,01 | 0,21 |
| 1500,0 | 0,08 | 0,03 | --- | 0,01 | 0,21 |
| 2000,0 | 0,08 | 0,02 | --- | 0,01 | 0,21 |
| 2500,0 | 0,09 | 0,01 | --- | 0,00 | 0,21 |
| 3000,0 | 0,09 | 0,01 | --- | 0,00 | 0,21 |
| 3500,0 | 0,10 | 0,03 | --- | 0,00 | 0,21 |
| 4000,0 | 0,10 | 0,01 | --- | 0,00 | 0,21 |
| 4500,0 | 0,10 | 0,01 | --- | 0,00 | 0,21 |
| 5000,0 | 0,11 | 0,01 | --- | 0,00 | 0,21 |

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.

ANEXO 11: PANEL FOTOGRÁFICO

figura 23: Proceso de Extracción de la Muestra para los ensayos respectivos



figura 24: Proceso de Análisis Granulométrico.



figura 25: Proceso de Ensayo Límite Líquido



figura 26: Proceso de Ensayo Límite Plástico



figura 27: Proceso de Ensayo Proctor Modificado



figura 28: Proceso de Ensayo CBR



ANEXO 12: MATRIZ DE CONSISTENCIA

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLE | INDICADORES (X, Y) | METODOLOGÍA Y DISEÑO |
|--|---|---|---|---|--|
| <p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es el efecto de la cal viva como material estabilizante, en las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de suelo arcilloso en el AA. HH Las Colinas, Calle Lagunas - San Juan Bautista - 2021?</p> | <p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar el efecto de la cal viva como material estabilizante, en las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de suelo arcilloso en el AA. HH Las Colinas, ¿Calle Lagunas - San Juan Bautista - 2021</p> | <p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Hi: Adicionando cal viva (1%, 3%, y 5%), en el suelo arcilloso de la subrasante de la calle Laguna, influye significativamente en sus propiedades físicas y mecánicas (límites de Atterberg, la densidad seca máxima y el valor relativo de soporte).</p> | <p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>X1: Estabilización con cal viva.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Propiedades de la cal • Porcentaje de cal. • Peso de cal. | <p>METODOLOGÍA</p> <p>Investigación Aplicada. Enfoque Cuantitativo.</p> |

| PROBLEMAS ESPECÍFICOS | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | | VARIABLE DEPENDIENTE | | DISEÑO |
|--|---|--|---|---|--|
| <p>➤ ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de suelos arcillosos en su estado natural y estabilizada con cal en el AA. HH Las Colinas, Calle Laguna - distrito de San Juan Bautista - 2021?</p> | <p>➤ Definir las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de suelos arcillosos en su estado natural y estabilizada con cal en el AA. HH Las Colinas, Calle Laguna - distrito de San Juan Bautista - 2021</p> | <p>Ho: Adicionando cal viva (1%, 3%, y 5%), en el suelo arcilloso de la subrasante de la calle Laguna, no influye significativamente en sus propiedades físicas y mecánicas (límites de Atterberg, la densidad seca máxima y el valor relativo de soporte).</p> | <p>Y1: Subrasante de Suelo Arcilloso</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Propiedades del Suelo • Límites de Consistencia del Suelo • Ensayo Proctor Modificado • CBR. | <p>Experimental, prospectivo y longitudinal.</p> |

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| <p>➤ ¿Cuál es el óptimo contenido de cal viva como estabilizante, en las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de un suelo arcilloso en el AA. HH Las Colinas, Calle Laguna - distrito de San Juan Bautista - 2021?</p> | <p>➤ Determinar el óptimo contenido de cal viva como estabilizante, en las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de un suelo arcilloso en el AA. HH Las Colinas, Calle Laguna - distrito de San Juan Bautista – 2021</p> | | | | |
|---|--|--|--|--|--|