

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Análisis de la influencia del silicato sódico en propiedades
físico-mecánicas de subrasantes arcillosas**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Julissa Nataly Olano Tume

ASESOR

Atilio Ruben Lopez Carranza

<https://orcid.org/0000-0002-3631-2001>

Chiclayo, 2025

Análisis de la influencia del silicato sódico en propiedades físico-mecánicas de subrasantes arcillosas

PRESENTADA POR
Julissa Nataly Olano Tume

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Rojas Oblitas Joaquin Hernan
PRESIDENTE

Anibal Teodoro Diaz Orrego
SECRETARIO

Atilio Ruben Lopez Carranza
VOCAL

Dedicatoria

A mis padres Luz y Juan, por todo su esfuerzo y el apoyo incondicional, gracias por inculcarme el valor del esfuerzo y perseverancia y por estar presentes en cada momento de mi vida.

A mi hermana Jenny, por ser un ejemplo a seguir y motivarme cada día a ser mejor.
A mi familia quienes han sido pieza fundamental en este largo camino y por sus palabras de aliento.

Gracias por creer en mí y compartir este triunfo a mi lado.

Agradecimientos

A dios, por brindarme salud, paciencia y la fuerza de poder llegar a este punto de mi vida.

A mis amigos, gracias por su apoyo constante y motivación.

A todas las personas que me dedicaron todos sus conocimientos para poder culminar con éxito esta etapa profesional.

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----|---|-----|
| 1 | tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet | 9% |
| 2 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 4% |
| 3 | upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet | 4% |
| 4 | repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet | 3% |
| 5 | repository.usta.edu.co Fuente de Internet | 1% |
| 6 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | <1% |
| 7 | Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante | <1% |
| 8 | Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante | <1% |
| 9 | repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet | <1% |
| 10 | repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet | <1% |
| 11 | paper.researchbib.com Fuente de Internet | <1% |
| 12 | coek.info Fuente de Internet | <1% |

Índice

| | |
|-------------------------------------|------------|
| Resumen..... | 11 |
| Abstract | 12 |
| Introducción | 13 |
| Revisión de literatura | 15 |
| Materiales y métodos..... | 35 |
| Resultados y discusión..... | 60 |
| Conclusiones | 102 |
| Recomendaciones..... | 104 |
| Referencias..... | 105 |
| Anexos..... | 107 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Clasificación de suelos según IP. [20] | 27 |
| Tabla 2: Tamices para el análisis granulométrico..... | 29 |
| Tabla 3: Número de golpes en Límite Líquido | 31 |
| Tabla 4: Número de Puntos de Investigación según CE0.010..... | 36 |
| Tabla 5: Cantidad General de Ensayos. Elaboración Propia. | 37 |
| Tabla 6: Variables de Operacionalización | 38 |
| Tabla 7: Cuadro de Operacionalización | 38 |
| Tabla 8: Instrumento de Datos | 39 |
| Tabla 9: Descripción de la ubicación de las 03 Calicatas..... | 40 |
| Tabla 10: Composición químico del agente estabilizador..... | 59 |
| Tabla 11: Datos de la Humedad de C01. Elaboración: Propia | 60 |
| Tabla 12: Datos de la Humedad de C02. Elaboración: Propia | 60 |
| Tabla 13: Datos de la Humedad de C03. Elaboración: Propia | 61 |
| Tabla 14: Contenido de Humedad en muestras naturales. Elaboración Propia..... | 61 |
| Tabla 15: Distribución Granulométrica de las muestras naturales..... | 65 |
| Tabla 16: Límites de Consistencia de muestras naturales. | 66 |
| Tabla 17: Clasificación de las muestras naturales AASHTO Y SUCS..... | 67 |
| Tabla 18: Sales Solubles de las muestrales naturales..... | 67 |
| Tabla 19: Gravedad Especifica de las muestras naturales..... | 68 |
| Tabla 20: Proctor Modificado en las muestras naturales..... | 71 |
| Tabla 21: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C01. Elaboración Propia. | 75 |
| Tabla 22: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C02. Elaboración Propia. | 76 |
| Tabla 23: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C03. Elaboración Propia. | 77 |
| Tabla 24: Resultados de Proctor con 6.5% de silicato de sodio C-01..... | 78 |
| Tabla 25: Resultados de Proctor con 8.5% de silicato de sodio C-01..... | 79 |
| Tabla 26: Resultados de Proctor con 10.5% de silicato de sodio C-01..... | 80 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 27: Resultados de Proctor con 6.5% de silicato de sodio C-02..... | 81 |
| Tabla 28: Resultados de Proctor con 8.5% de silicato de sodio C-02..... | 81 |
| Tabla 29: Resultados de Proctor con 10.5% de silicato de sodio C-02..... | 82 |
| Tabla 30: Resultados de Proctor con 6.5% de silicato de sodio C-03..... | 83 |
| Tabla 31: Resultados de Proctor con 8.5% de silicato de sodio C-03..... | 84 |
| Tabla 32: Resultados de Proctor con 10.5% de silicato de sodio C-03..... | 85 |
| Tabla 33: Resumen de CBR con 6.5% de silicato de sodio C-01..... | 86 |
| Tabla 34: Resumen de CBR con 8.5% de silicato de sodio C-01..... | 87 |
| Tabla 35: Resumen de CBR con 10.5% de silicato de sodio C-01..... | 87 |
| Tabla 36: Promedio de CBR con adiciones de silicato de sodio C-01..... | 87 |
| Tabla 37: Resumen de CBR con 6.5% de silicato de sodio C-02..... | 88 |
| Tabla 38: Resumen de CBR con 8.5% de silicato de sodio C-02..... | 88 |
| Tabla 39: Resumen de CBR con 10.5% de silicato de sodio C-02..... | 89 |
| Tabla 40: Promedio de CBR con adiciones de silicato de sodio C-02..... | 89 |
| Tabla 41: Resumen de CBR con 6.5% de silicato de sodio C-03..... | 90 |
| Tabla 42: Resumen de CBR con 8.5% de silicato de sodio C-03..... | 90 |
| Tabla 43: Resumen de CBR con 10.5% de silicato de sodio C-03..... | 90 |
| Tabla 44: Promedio de CBR con adiciones de silicato de sodio C-03..... | 91 |
| Tabla 45: Datos para el agente estabilizador (cemento)..... | 92 |
| Tabla 46: Precio Unitario del Cemento..... | 93 |
| Tabla 47: Datos para el agente estabilizador (cal)..... | 93 |
| Tabla 48: Precio Unitario de la Cal..... | 94 |
| Tabla 49: Precio Unitario del silicato de sodio..... | 95 |
| Tabla 50: Costos de los agentes estabilizadores..... | 95 |
| Tabla 51: Índice de Plasticidad. Según MTC..... | 96 |
| Tabla 52: Categorías de subrasante. Según la MTC. [20]..... | 99 |
| Tabla 53: Resultados de muestra patrón y experimenta. Elaboración Propia..... | 100 |

Lista de ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1: Simbología AASHTO | 20 |
| Ilustración 2: Clasificación SUCS..... | 21 |
| Ilustración 3: Tipología según SUCS | 22 |
| Ilustración 4: Ficha Técnica del Silicato de Sodio [26] | 26 |
| Ilustración 5: Presiones vs Penetraciones | 34 |
| Ilustración 6: Tipo de Suelos Predominantes de Chiclayo | 36 |
| Ilustración 7: Proceso de demostración de hipótesis..... | 37 |
| Ilustración 8: Ubicación de las 03 calicatas, en Google Earth..... | 40 |
| Ilustración 9: Obtención de Calicata N°01 | 41 |
| Ilustración 10: Obtención Calicata N°02..... | 42 |
| Ilustración 11: Obtención Calicata N°03 | 42 |
| Ilustración 12: Ejecución en campo de calicatas..... | 43 |
| Ilustración 13: Perfil Estratigráfico de C-01. Fuente Propia. | 44 |
| Ilustración 14: Perfil Estratigráfico de C-02. Fuente Propia. | 45 |
| Ilustración 15: Perfil Estratigráfico de C-03. Fuente Propia. | 46 |
| Ilustración 16: Peso de Tara C01 | 47 |
| Ilustración 17: Peso Húmedo de Calicata 01 | 48 |
| Ilustración 18: Peso de Tara C02 | 48 |
| Ilustración 19: Peso Húmedo de Calicata 02 | 49 |
| Ilustración 20: Peso de Tara C03 | 49 |
| Ilustración 21: Peso Húmedo de Calicata 03 | 50 |
| Ilustración 22: Muestra en el Horno..... | 50 |
| Ilustración 23: Taras para el Ensayo Granulométrico | 51 |
| Ilustración 24: Proceso del Ensayo de Límites. | 52 |
| Ilustración 256: Proceso para Límite Plástico | 53 |
| Ilustración 26: Peso del molde..... | 54 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 27: Mezclando el suelo natural con % agua | 54 |
| Ilustración 28: Compactando para el Ensayo de Proctor..... | 55 |
| Ilustración 29: Compactando para CBR. | 56 |
| Ilustración 30: Proceso de Curado. | 56 |
| Ilustración 31: Ensayo de CBR. | 57 |
| Ilustración 32: Pesamos 50gramos de la muestra natural..... | 57 |
| Ilustración 33: Removiendo el aire atrapado. | 58 |
| Ilustración 34: Contenido de sales. | 58 |
| Ilustración 35: Contenido de Humedad en muestras naturales. Elaboración Propia. | 61 |
| Ilustración 36: Curva granulométrica de la C-01. | 62 |
| Ilustración 37: Curva granulométrica de la C-02. | 63 |
| Ilustración 38: Curva granulométrica de la C-03. | 64 |
| Ilustración 39: Resumen de Granulometría por Tamizado..... | 65 |
| Ilustración 40: Límites de Consistencia de muestras naturales..... | 66 |
| Ilustración 41: Sales Solubles de las muestrales naturales. | 68 |
| Ilustración 42: Gravedad Especifica de las muestras naturales. | 69 |
| Ilustración 43: Curva de Compactación de C-01. | 69 |
| Ilustración 44: Curva de Compactación C-02..... | 70 |
| Ilustración 45: Curva de Compactación C-03..... | 70 |
| Ilustración 46: Proctor Modificado en las muestras naturales. | 71 |
| Ilustración 47: Gráfica de CBR-C-01..... | 72 |
| Ilustración 48: Gráfica de CBR-C-02..... | 73 |
| Ilustración 49: Gráfica de CBR-C-03..... | 73 |
| Ilustración 50: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C01. | 75 |
| Ilustración 51: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C02. | 76 |
| Ilustración 52: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C03. Elaboración Propia..... | 77 |
| Ilustración 53: Curva de compactación con 6.5% de silicato de sodio C-01..... | 78 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 54: Curva de compactación con 8.5% de silicato de sodio C-01..... | 79 |
| Ilustración 55: Curva de compactación con 10.5% de silicato de sodio C-01..... | 80 |
| Ilustración 56: Curva de compactación con 6.5% de silicato de sodio C-02..... | 81 |
| Ilustración 57: Curva de compactación con 8.5% de silicato de sodio C-02..... | 82 |
| Ilustración 58: Curva de compactación con 10.5% de silicato de sodio C-02..... | 83 |
| Ilustración 59: Curva de compactación con 6.5% de silicato de sodio C-03..... | 84 |
| Ilustración 60: Curva de compactación con 8.5% de silicato de sodio C-03..... | 85 |
| Ilustración 61: Curva de compactación con 10.5% de silicato de sodio C-03..... | 86 |
| Ilustración 62: Comparativa de CBR y Desv. Estándar C-01..... | 88 |
| Ilustración 63: Comparativa de CBR y Desv. Estándar C-02..... | 89 |
| Ilustración 64: Comparativa de CBR y Desv. Estándar C-03..... | 91 |

Resumen

La presente investigación realizada tuvo como propósito principal examinar el impacto del silicato de sodio en la estabilización de las subrasantes arcillosas. Es por ello que se llevaron a cabo los estudios según el Manual de Ensayos de la MTC como el Análisis de Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR. Se estableció como muestra patrón a tres calicatas para así tener sus propiedades físico-mecánicas del suelo y también la caracterización de una muestra experimental con la adición de 03 porcentajes de silicato de sodio (6.5%, 8.5% y 10.50%). Los resultados de esta incorporación indica que a medida que se aumente el porcentaje del silicato de sodio hace que su índice de plasticidad disminuya en sus tres calicatas, respecto a su máxima densidad seca también se observó que aumento de 1.848 gr/cm³ a 1.871 gr/cm³ con el porcentaje de 10.50% de silicato de sodio y para el valor del CBR con el mismo porcentaje óptimo de adición hace que este aumente de 2.00% a 14.00% haciendo que este aumente su valor de 7 veces más que la muestra patrón, pasando de una subrasante insuficiente a una subrasante buena. Es por ello que se concluye que este agente estabilizador tiene resultados óptimos para la estabilización de subrasantes arcillosas.

Palabras Clave: Estabilización de subrasante, Mejoramiento de Subrasante, Suelos Arcillosos, Silicato de sodio, CBR.

Abstract

The main purpose of the present research carried out was to examine the impact of sodium silicate on the stabilization of clay subgrades. That is why the studies were carried out according to the TCM Test Manual such as Granulometry Analysis, Atterberg Limits, modified Proctor and CBR. Three pits were established as a standard sample in order to have their physical-mechanical properties of the soil and also the characterization of an experimental sample with the addition of 03 percentages of sodium silicate (6.5%, 8.5% and 10.50%). The results of this incorporation indicate that as the percentage of sodium silicate increases, its plasticity index decreases in its three pits. Regarding its maximum dry density, it was also observed that it increased from 1,848 gr/cm³ to 1,871 gr/cm³. cm³ with the percentage of 10.50% of sodium silicate and for the CBR value with the same optimal percentage of addition, it increases from 2.00% to 14.00%, causing its value to increase 7 times more than the standard sample, passing from an insufficient subgrade to a good subgrade. That is why it is concluded that this stabilizing agent has optimal results for the stabilization of clay subgrades.

Keywords: Subgrade Stabilization, Subgrade Improvement, Clay Soils, Sodium Silicate, CBR.

Introducción

La estabilización de suelos es una técnica que se emplea con el fin de poder mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo que carece de condiciones necesarias, por ello se realiza mejoramientos al suelo y se utilizan materiales prestados, y en otros casos estabilizadores para que mejore sus propiedades.

Los problemas a los cuales se enfrenta la red vial son los suelos con presencia de baja capacidad portante, poca resistencia los cuales generan complicaciones y costos elevados al momento de pavimentar. Entonces por ello sabemos que en la actualidad hay diferentes tipos de insumos para estabilizar los suelos arcillosos, lo más conocidos tenemos la cal y el cemento Portland, así como asfalto, resinas, polímeros, entre otros. Sin embargo, debemos de conocer que el proceso de fabricación de la cal, como del cemento son muy contaminantes, ya que emiten gases como el CO₂ hacia el medio ambiente los cuales producen el efecto invernadero, entonces a tales dichos problemas se buscan opciones más amigables con el medio ambiente, pero para conocer estos agentes estabilizadores tenemos que saber sus características físicas, mecánicas, su composición del suelo y estos se obtendrán mediante técnicas de laboratorio y ensayos.

Sabemos que en el Perú se cuenta con normas establecidas que expliquen sus procedimientos y los requisitos para los diferentes tipos de estabilización ya sea física o química y estos en conjunto van a mejorar sus propiedades mecánicas de los suelos como la resistencia, permeabilidad, durabilidad, comprensibilidad y estabilidad volumétrica, para que a futuro se puedan evitar fallas estructurales, pero teniendo claro que estas técnicas son altamente costosas.

[1]

Es por ello que INDECI menciona que la ciudad de Chiclayo, los suelos predominantes en este distrito son: además de las arcillas de media y alta plasticidad ya mencionadas, se cuenta con arenas arcillosas, limosas y pobremente graduadas, siendo el grado de expansión de sus suelos de media a alta, con una baja capacidad portante, estando en un promedio de 0.50 a 1.00 kg/cm², siendo estos suelos los más críticos. [2]

Según la zonificación geotécnica realizada en la provincia de Chiclayo [3] se observa que en el distrito de José L. Ortiz el cual se ubica en esta zona, es uno de los más perjudicados por la presencia de suelos arcillosos como media y alta plasticidad en los distintos % de 17 y 76 y su contenido de humedad es sumamente alto ya que está rodeado entre 70 – 90 % de saturación. Entonces por dicha presencia tenemos claro que estos van a afectar en su totalidad el estado de los pavimentos al momento de ser construidos. [3]

Es por ello frente a lo descrito anteriormente se pregunta ¿Cómo influye el silicato sódico en las propiedades físico-mecánicas de subrasantes arcillosas?, Teniendo como justificación,

según la manera Técnica, la presencia de arcillas en el suelo del distrito de José L. Ortiz es un tema muy importante porque los suelos finos tienen un distinto comportamiento a los de granular y será necesario mejorar sus propiedades mediante los estabilizadores como el silicato de sodio y que pueda cumplir los requisitos normados y así establecerse en obras necesarias.

Según su Justificación Social, al mejorar las subrasantes arcillosas, la comunidad en general de los alrededores se va a beneficiar porque esto mejorara el tránsito vehicular como personal, su calidad de vida de los pobladores, y como Justificación Económica, como sabemos los estabilizadores más comunes en nuestro país son la cal y el cemento, etc. y estos suelen ser muy costosas, por ello este proyecto tiene como finalidad buscar mejorar el suelo con el silicato sódico y a su vez reducir los costos de ejecución de estabilización de subrasantes y utilizarlo de manera eficiente.

Es por ello que se define como: Objetivo Principal: Analizar la influencia del silicato sódico en las propiedades físico-mecánicas de las subrasantes arcillosas. Y Objetivos Específico:

Determinar las propiedades físicas de la muestra patrón por medio de ensayos de Plasticidad, Contenido de Humedad, Tamaño de partículas y contenido de sales; Realizar la propiedad física de la muestra experimental con los Límites de Atterberg con los porcentajes de 6.5% - 8.5% 10.5% del silicato sódico; Determinar el porcentaje óptimo de humedad y su máxima densidad seca de la muestra patrón, así como de la muestra experimental con la adición del silicato sódico con porcentajes 6.5% - 8.5% 10.5% por medio del Ensayo Proctor Modificado; Evaluar los valores de CBR de la muestra patrón y también de la muestra experimental con la adición de silicato sódico con porcentajes 6.5% - 8.5% 10.5%; Determinar el porcentaje óptimo de la muestra experimental con la adición del silicato sódico; Obtener la composición técnica del aditivo influyente a través de los ensayos de fluorescencia y difracción de rayos X; Analizar el costo y beneficio entre el uso del silicato de sodio y los agentes estabilizadores convencionales en la estabilización de suelos.

Revisión de literatura

Antecedentes

"Alaa HJ Al-Rkaby, en este artículo hace una investigación sobre las características geotécnicas de suelos mejorados con geo polímeros sostenibles. Por lo tanto, se ha buscado encontrar alternativas ecológicas para reemplazar el (OPC) y la cal. Se destaca el uso de geo polímeros como una nueva alternativa respetuosa con el medio ambiente para estabilizar suelos. Estos geos polímeros se producen a partir de volantes de tipo C, que contienen un aumento de contenido de calcio, y se activan con una solución de NaOH y silicato sódico." [4]

" Neeladharan, el artículo describe un estudio su objetivo es observar su resistencia del suelo débil mediante la adición de diferentes porcentajes con polvo de mármol (5%, 10%, 15%, 20%) y silicato de sodio (2.5%, 5%, 7.5%). Se utilizó una metodología experimental y se realizaron pruebas de resistencia al corte en muestras de suelo. Los resultados mostraron que el valor CBR (California Bearing Ratio) aumentó con la adición del PM hasta un 15 % y silicato de sodio hasta un 10 %. Sin embargo, el valor CBR disminuyó. Como conclusión, se recomienda agregar un 15% de PM y un 10% de silicato sódico para tener mejor resultado en términos de resistencia del suelo. En resumen, el estudio encontró que la adición de PM y silicato sódico en ciertos porcentajes mejora la resistencia del suelo débil, y se sugiere utilizar un 15% del PM y un 10% de silicato sódico como la mejor combinación. " [5]

" Pouya Javadzadeh, en este artículo se introdujo silicato de sodio al suelo orgánico con el objetivo de examinar sus impactos en la fuerza al corte del suelo. Por ello se emplearon diversos tipos de suelo, como arena, arcilla y turba. Se probaron distintas concentraciones de silicato de sodio (5%, 9%, 12%, 15%) para estabilizar los suelos. El tiempo de curado utilizado en el estudio fue de 3 días, 7 días y 28 días. Después de llevar a cabo los correspondientes ensayos para evaluar la fuerza al corte del suelo y comparar los efectos del en suelos orgánicos, se observó un incremento en la fuerza al corte del suelo tras la incorporación gradual del silicato de sodio. Por ende, en suelos orgánicos, es posible reemplazar la cal y mezclarla con arena y arcilla en distintas proporciones. " [6]

" Nitin Mane, Prof M. S. Rajashekar Este artículo describe como el suelo de algodón negro contiene arcillas o limos muy finos que por su cambio de volumen esto generas grietas

secas que dependen del contenido de humedad de saturación, así como la resistencia como UCS, CBR son tan bajas. Es por ello que se necesita mejorar sus propiedades y para estabilizarlo le añadieron lodo rojo variando su % de mezcla de 10 a 40 %. También se usa silicato de sodio para darle una mejor unión a sus partículas. Como conclusión se obtuvo que mejora un 8% de CBR con el silicato de sodio, y su valor máximo de CBR de 3.9%. "[7]

" Hossein Moayedi, Bujang B K Huat, Sina Kazemian y Saman Daneshmand este artículo nos presenta como involucra una serie de experimentos que utilizan una composición de lechada de metales que son para tratar suelos orgánicos, este fin hace que mejore su comprensión del comportamiento del suelo después de estabilizarlo. Se ha llevado una serie de pruebas de acuerdo con su composición del sistema de silicato de sodio para que así se pueda encontrar sus efectos sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo orgánico. Como resultados se obtuvieron que se logra aumentar en 220% de resistencia." [8]

" S. Azeman, A. Prasad, B. B. K. Huat, J. Bolouri Bazaz, T. A. Mohammed, F. N. Abdul Aziz, se investiga los efectos de la naturaleza con el pH sobre la resistencia con el cemento, la lechada de cemento y el silicato de sodio, eso evalúa los cambios en su contenido humedad, SEM las muestras con diferente PH. Como resultado se indicó que las mezclas tratadas con cemento-silicato tiene mayor resistencia que las mezclas de cemento y así aumente el valor del pH. Aunque se sabe que el cemento-silicato son tan eficientes para que se reduzca la humedad y sus vacíos." [9]

"Pramod Kilabanur, Tanveer Ahmad, Dorothy Bhagabati, Nitesh Kumar, Yasaswini S. en este artículo nos habla sobre la estabilización del suelo que como se sabe mejora los métodos mecánicos, químicos, físicos, biológicos como sus propiedades del suelo natural, por ello en esta investigación se evalúa idoneidad de Envirobase y silicato de sodio con cal en algunas propiedades, también se analiza las propiedades de índice y resistencia como la compactación y CBR y como finalidad se observó que con la adición de Envirobase aumenta su proporción de CBR y con el silicato de sodio con cal se redujo su índice de plasticidad." [10]

"Aguilar y Cárdenas; en este estudio se propone utilizar silicato de sodio como estabilizante en el suelo de la subrasante para abordar el problema común de los

asentamientos diferenciales en las fundaciones. Se llevó a cabo una caracterización de las propiedades geotécnicas del suelo antes y después de la aplicación del estabilizante en un laboratorio de mecánica de suelos. Se evaluaron diferentes dosificaciones de silicato de sodio (4%, 6%, 8% y 10%) para determinar la proporción óptima que mejoraría el suelo. Se utilizaron indicadores como el ensayo de Proctor modificado y el CBR para comparar y medir la efectividad de la propuesta de mejoramiento. Los resultados obtenidos mencionan que entre el 4% y 10% siendo el porcentaje óptimo de silicato a adicionar y este obtendrá la máxima densidad seca." [11]

"Chávez López, menciona en su tesis de investigación evalúa la estabilización de un suelo arcilloso utilizando silicato de sodio como químico estabilizador. El objetivo es mejorar las propiedades geo-mecánicas del suelo para obtener una plataforma de rodadura sólida, reduciendo los alabeos y ondulaciones. Esto beneficiaría a los usuarios que transitan regularmente por el área, ahorrando tiempo y dinero en desplazamientos y mejorando el cuidado de los vehículos. El suelo en estudio es principalmente arcilloso, con contenido de humedad debido a las condiciones climáticas de la zona. Se realizaron ensayos de granulometría, límites de consistencia, Proctor modificado y CBR en muestras naturales y tratadas con diferentes porcentajes de silicato de sodio (4, 6, 8 y 10) para determinar la cantidad óptima del estabilizador. Los resultados indican que el silicato de sodio estabiliza el suelo arcilloso, mejorando su capacidad portante (CBR), pasando de ser insuficiente o regular (CBR 6.00%) a excelente (CBR 39.75% con 7.77% de silicato de sodio, superior al 30% requerido)." [12]

"En esta investigación se evaluó el efecto de la fibra de carrizo y el silicato sódico en la subrasante de la avenida Sol de Naranjal en San Martín de Porres en 2022. Se llevaron a cabo diversos ensayos, como el límite de Atterberg, Proctor modificado, CBR y granulometría. El diseño de la investigación fue experimental (cuasi) y se empleó un enfoque cuantitativo de nivel explicativo. Los resultados obtenidos al incorporar la fibra de carrizo en porcentajes del 3%, 5% y 7%, y el silicato sódico en porcentajes del 2%, 4% y 6% fueron los siguientes: El límite de consistencia mejoró del 4.40% al 1.30% con un 2% de silicato sódico y del 4.40% al 4.15% con un 3% de fibra de carrizo. El contenido de humedad presentó mejoras del 7.3% al 7.1% en OCH (Óptima de Contenido de Humedad) y la MDS (Máxima Densidad Seca) pasó de 1.617 gr/cm³ a 1.594 gr/cm³, ambos resultados obtenidos con un 6% de fibra de carrizo y silicato sódico. La resistencia mejoró en un 15.40% al 95%

y un 20.10% en CBR (Índice de Soporte California) al 100% con un 6% de silicato sódico, y en un 15.40% al 95% y un 18.60% en CBR al 100% con un 3% de fibra de carrizo. En conclusión, la incorporación de fibra de carrizo y silicato sódico mejoró la resistencia de la subrasante en la avenida Sol de Naranjal." [13]

"En este proyecto se van a evaluar sus prop. mecánicas y caract. físicas después de la implementación de agentes estabilizantes (cal, cemento, aceite sulfonado y silicato de sodio), presente en la vereda Las Leonas, ubicada entre los municipios de Prto López y Prto Gaitán en el dpto del Meta. El proyecto consta de cuatro etapas: en la primera etapa se recopiló la información pertinente para el desarrollo del proyecto; en la segunda etapa se caracterizó el suelo presente en la vía bajo las especificaciones del (INVIAS); en la tercera etapa se aplicaron los agentes estabilizantes en diferentes dosis sobre la superficie de rodadura. Se alcanzó una maduración de 20 días, al igual que en la etapa dos, se evaluaron las prop. y se determinaron los cambios obtenidos. Finalmente, en la cuarta etapa se hizo el análisis del comportamiento de c/u de los estabilizantes, donde logra obtener mejores resultados en el comportamiento físico-mecánico del suelo con presencia de arcilla en la región de la Orinoquía." [15]

Bases teóricas

DEFINICIÓN DEL SUELO

La palabra “suelo”, a lo largo del tiempo, ha sido definido de muchas formas dependiendo de la especialidad que se utilice. Entre ellas las más comunes según los geólogos y los ingenieros civiles. [16]

Según el geólogo N. J. Chioffi va a definir al suelo como el material resultante de la descomposición y desintegración de la roca por el ataque de los agentes atmosféricos (Crespo Villalaz, 2004). [16]

El ingeniero Crespo Villalaz menciona que el suelo es una capa muy delgada que está encima de la corteza terrestre del material y esta va a provenir de una desintegración y algunas alteraciones físicas o químicas de las rocas y de algunos residuos de los seres vivos. (Crespo Villalaz, 2004). [16]

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Estos se van a encontrar bajo 2 sistemas que son los más comunes al momento de clasificar los suelos.

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO

CONCEPTUALIZACIÓN

Se divide en siete grupos de suelos, desde A-1 hasta A-7, los suelos que se clasifican bajo los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares donde el 35% y menos de las partículas van a pasar por el tamiz N° 200; y los que pasan más del 35% por el mismo tamiz se van a clasificar en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

SIGNOS CONVENCIONALES PARA PERFIL DE CALICATAS – CLASIFICACIÓN AASHTO

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

Ilustración 1: Simbología AASHTO

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS

Según el SUCS, los suelos se van a clasificar en tres grupos:

- Los suelos gruesos se van a dividir en gravas y arena, y estos se tienen que separar de acuerdo al tamiz N° 04, si un suelo se considera dentro del grupo de la grava es porque pasa más del 50% y si observamos que se retiene en el tamiz N°04 este pertenece al grupo arena. [17]
- En los suelos finos, según SUCS se divide en: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O). Todos estos se van a dividir según su LL, en dos grupos cuya frontera es $Ll = 50\%$. Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L. Si es mayor de 50 se añade la letra H." [17]
- Los suelos orgánicos constan de materia orgánica y son los suelos más inservibles para la cimentación. [17]

**SIGNOS CONVENCIONALES PARA PERFIL DE CALICIAS –
CLASIFICACIÓN SUCS**

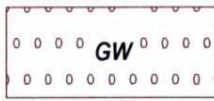


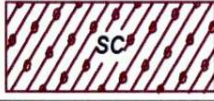




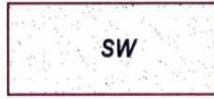

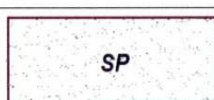



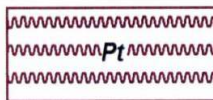
| | | | |
|---|---|--|--|
|  | Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variación en tamaños granulares |  | Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo |
|  | Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino |  | Arena arcillosa, mezcla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

Ilustración 2: Clasificación SUCS

TIPOLOGÍA DE SUELOS SEGÚN SUCS

| DIVISIONES PRINCIPALES | | SÍMBOLOS | NOMBRES TÍPICOS | IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO | | |
|---|---|---|--|--|--|--|
| SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz Nº 200. | GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz Nº 4 (4.76mm) | Gravas Limpias (sin o con pocos finos) | GW Grava bien graduada, mezclas gravosas, poco o ningún fino. | Determinar el porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz Nº 200), los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% GW, GP, SW, SP >12% GM, GC, SM, SC 5 al 12% casos límite que requieren usar doble símbolo | | |
| | | Gravas con Finos (apreciable cantidad de finos) | GP Grava mal graduada, mezclas grava - arena, poco o ningún fino. | | | |
| | | Arenas Limpias (pocos o sin finos) | GM Grava limosa, mezclas grava, arena, limo. | | Cu>4, Cc entre 1 y 3. No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. | |
| | | | GC Grava arcillosa, mezclas grava - arena arcillosas. | | Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4. Encima de la línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo. | |
| | ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz Nº 200. | Arenas Limpias (pocos o sin finos) | SW Arena bien graduada. | | Cu>6, Cc entre 1 y 3. | |
| | | | SP Arena mal graduada, arenas gravosas, poco o ningún fino. | | Cu>6, Cc entre 1 y 3. | |
| | | Arenas con Finos (apreciable cantidad de finos) | SM Arenas limosas, mezclas arena y limo. | | Cu>6, Cc entre 1 y 3. Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW. | |
| | | | SC Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla. | | Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren de doble símbolo. | |
| | | | Limos y Arcillas Limite Líquido menor de 50 | | ML Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad. | |
| | | | | | CL Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas. | |
| Limos y Arcillas Limite Líquido mayor de 50 | OL Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad. | | | | | |
| | MH Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con rica o diatomeas, limos elásticos. | | | | | |
| | CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas. | | | | | |
| | OH Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos. | | | | | |
| Suelos muy Orgánicos | | P | Turba y otros suelos de alto contenido orgánico. | | | |

Ilustración 3: Tipología según SUCS

SUELOS ARCILLOSOS

Se les denomina arcilla a las partículas sólidas con un diámetro inferior a 0,005 milímetros y cuya masa se vuelve plástica al mezclarse con agua. En su forma química, es alúmina porque contiene magnesio hidratado. Y su estructura suele ser cristal y complicada, a la vez que sus átomos están en láminas. [16]

Según Crespo Villalaz, las arcillas por su arreglo reticular de los minerales de arcilla se pueden clasificar en tres grupos básicos, que son:

- El caolínico: están formados por láminas silícica y alumínica que son indefinidos y su unión no permiten penetración de las moléculas de H₂O entre ellas, por eso estas logran producir una capa neutral. [16]
- El montmorilonítico: la superposición indefinida de la lámina alumínica con las silicias van a llegar a formarse, pero también con unión hace que sus retículas sean débiles, pero el agua hace que su penetración sea más fácil. [16]
- El ilítico: como contiene iones estos forman grumos y por ello va a reducir sus áreas expuestas al agua. [16]

ESTABILIZACION

Según la Norma CE. 020 suelos y Taludes, la estabilización es un proceso físico o químico, mediante el cual se mejora las condiciones mecánicas de un suelo. [18]

Los autores Galindo y Avellaneda se menciona en su tesis que la estabilización se refiere a una serie de fenómenos físico-químicos que modifican las propiedades geotécnicas de los suelos existentes, haciendo que el suelo sea apto para su uso. Las técnicas de estabilización tienen como objetivo mejorar las propiedades geotécnicas de los suelos existentes que no cumplen con los estándares establecidos en las normativas vigentes, ya sea por su baja capacidad portante, o bien la cual se garantiza la capa estructural del pavimento. El uso de agentes químicos estabilizantes, como aglutinantes de suelos, es reconocido como una técnica de estabilización. Estos agentes, disueltos en agua, son líquidos que poseen características químicas que les permiten adherirse, lo que los hace adecuados para su uso en suelos cohesivos, logrando que lleguen a todas las partículas del suelo. [19]

CRITERIOS GEOTÉCNICOS PARA ESTABLECER LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Según el Manual de Carreteras [10] indica que hay criterios que se van a considerar para poder establecer un suelo:

- Para la estabilización de suelos, cuando esta sea a isotropía, o si presenta zonas de humedad o hinchas. Se puede dar una estabilización mecánica, estabilización con productos que mejor las propiedades del suelo, estabilización que actúan (químicas, químicas). [20]
- Y el vapor que se crea de la estructura es cualquier o hinchas puede que se humedad penetre la capa granular. [20]
- Es por eso que cuando se considera su calidad tiene que tener relación con la napa freática. [20]
- Si se encuentra en una zona sobre los 4000msnm, tenemos que tener en cuenta en evaluar la acción de las heladas en los suelos. [20]
- Si queremos estabilizar, como punto importante es determinar el tipo de suelo. [20]
- Y por ultimo tenemos que considerar los factores que tengan el mejor método de estabilización como: tipo de suelo, uso propuesto, tipo de aditivo, experiencia del tipo, disponibilidad de aditivo, disponibilidad del equipo y los costos al momento de comparar. [20]

TIPOS DE ESTABILIZACIÓN

Según el Manual de Carreteras la estabilización de suelos es la mejora de las propiedades físicas, mecánicas y también químicas. [20]

ESTABILIZACIÓN MECÁNICA:

Se mejora el material del suelo existente, pero sin que se cambien su estructura ni su composición de ella misma. Y se logra esto solo mediante la compactación donde se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo. [20]

ESTABILIZACIÓN FÍSICA:

- COMBINACIÓN DE SUELOS: se combina los materiales del suelo que ya existe con los nuevos materiales prestados. Donde el suelo que ya existe se escarificará, en una profundidad de 15 cm y luego se coloca el material de aporte. [20]
- SUSTITUCIÓN DE SUELOS: Se observa la subrasante mejorada con material adicionado, se puede presentar dos situaciones, que la capa se construya de forma directa sobre el suelo que ya existe o, sino que se debe excavar y ahí reemplazar por el material de adición. [20]

ESTABILIZACIÓN QUÍMICA:

Se realizará en suelos tipo arena, arcillosos y se añade aditivos, y cuando se mezcla este producirá una Rx Química que se llama intercambio iónico y cementación. [21]

SILICATO DE SODIO

Según M. Kermani en su artículo su propósito fue conocer que el agente estabilizante $\text{Na}_2(\text{SiO}_3)$ está compuesto por componentes de cuarzo, luego se somete a altas temperaturas y su función principal es disolverse en líquidos. Este químico, conocido como solución acuosa, puede encontrarse en diferentes estados de la materia, debido a que no presenta una característica específica. Y tiene un manejo sencillo, ya que no es peligroso y su densidad es de 2.40 gr/cm³. [22]

| Rango | Especificaciones Técnicas | Método |
|---|---------------------------|--------------------------|
| Aspecto | Líquido viscoso | PROQUINSA: PROC- 02-2018 |
| Olor | Inodoro | PROQUINSA: PROC- 02-2018 |
| Na ₂ O | 14,2 % - 14,60 % | UNE 55-627-83 |
| SiO ₂ | 28,5 % - 29,5 % | PROQUINSA: PROC- 03-2018 |
| Rango | 1,98 – 2,10 | UNE 55-624:1982 |
| Densidad (20°C) | 49,5°Be – 50,5 °Be | NTP 311.086 (Rev. 2012) |
| Viscosidad (20°C) | 300 cPs - 900 cPs | UNE-EN ISO 12058-1 |
| Sólidos Totales | 42,7 % - 44,0 % | NTP 311 155 - 1975 |
| pH solución acuosa al 1% (20°C) | 13 | PROQUINSA: PROC- 01-2018 |
| Aplicaciones | | |
| <p>En la industria de detergentes: Aumenta la humectación, es emulsificante, defloculante, incrementa la alcalinidad del proceso, tiene efecto amortiguador, secuestrante y suavizante.</p> <p>En la industria cerámica: como defloculante en la elaboración de la Barbotina. Mantiene la fluidez del material.</p> | | |

Ilustración 4: Ficha Técnica del Silicato de Sodio [26]

PROPIEDADES FÍSICAS

Textura del suelo:

- Ensayo de análisis granulométrico: Se utiliza para determinar la proporción de arena, limo y arcilla en una muestra de suelo. Esto permite clasificar el suelo en diferentes clases texturales, como arenoso, limoso, arcilloso o franco. [16]

Estructura del suelo:

- Observación visual y táctil: Se puede evaluar la estructura del suelo simplemente observando y tocando una muestra de suelo para determinar si es granular, en bloque, laminar, etc. [16]

Humedad del suelo:

- Ensayo de contenido de humedad: Se utiliza para medir la cantidad de agua presente en una muestra de suelo. Se seca la muestra y se compara el peso seco con el peso húmedo para calcular el contenido de humedad. [16]

Color del suelo:

- Observación visual: El color del suelo se evalúa visualmente y se puede comparar con una carta de colores estandarizada para obtener una descripción del color del suelo. [16]

Plasticidad

- Como señala el autor Vitálar, Crespo [16] Es la propiedad donde el suelo se puede deformar, pero hasta un límite sin que llegue a romperse hasta cierto
- Los límites de Atterberg tienen cuatro estados de consistencia como:
 - Límite Líquido
Se representa en porcentajes con respecto al peso seco de la muestra, y este puede cambiar de estado líquido al plástico. [16]
 - Límite Plástico
Se representa en porcentajes con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, y esta muestra pasa de un estado semisólido a un estado plástico. [16]
 - Índice de plasticidad
Es la diferencia entre los límites líquidos y plásticos, dando un índice el margen de humedad. [16]
 - Límite de contractibilidad
Es el % de humedad respecto al peso seco de la muestra, dando al reducir la cantidad de agua un límite más variable en el volumen del suelo. [16]
- Según el Manual de Carreteras, Sección de Suelos y Pavimentos, clasifica al suelo según su IP y especifica que cuando el IP sea mayor o igual a 20 es un suelo muy arcilloso, si su índice es inferior a 7 es un suelo poco arcilloso y si el índice es igual a otro es un suelo que no posee arcilla. [20]

| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | PLASTICIDAD | CARACTERÍSTICAS |
|-----------------------|------------------|---------------------------|
| IP > 20 | Alta | Suelos muy arcillosos |
| IP ≤ 20 IP > 7 | Media | Suelos arcillosos |
| IP < 7 | Baja | Suelos poco arcillosos |
| IP = 0 | No plástico (NP) | Suelos exentos de arcilla |

Tabla 1: Clasificación de suelos según IP. [20]

PROPIEDADES MECÁNICAS

Resistencia al esfuerzo cortante:

- En este ensayo, se aplica una fuerza para cortar una muestra de suelo a lo largo de una superficie específica y se mide la resistencia que ofrece el suelo a esa fuerza. El ensayo de corte directo implica la aplicación de una carga vertical sobre una muestra de suelo, mientras se aplica una fuerza horizontal para provocar el corte. La relación entre la fuerza aplicada y la deformación resultante se utiliza para calcular la resistencia al corte del suelo arcilloso.

Coefficiente de fricción interna:

- Este coeficiente indica la resistencia al deslizamiento entre las partículas de un suelo. Puede determinarse mediante el ensayo de corte directo.

Permeabilidad:

- La permeabilidad se refiere a la capacidad de un suelo para permitir el flujo de agua a través de él. El ensayo de permeabilidad se utiliza para evaluar esta propiedad.

Ángulo de fricción:

- El ángulo de fricción es un parámetro que se utiliza para describir la resistencia al corte de un suelo. Se mide en ensayos de corte directo y corte triaxial.

ENSAYOS DE LABORATORIO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO, MTC E 107 [23]

Este ensayo describe cómo se va a obtener los % del suelo que pasan por diferentes tamices, hasta la malla N°200.

- EQUIPOS:

- Balanza de 0.01g.
- Estufa para mantener temperaturas hasta 5°C.

- MATERIALES:

| TAMICES | ABERTURA (mm) |
|---------|---------------|
| 3" | 75,000 |
| 2" | 50,800 |
| 1 1/2" | 38,100 |
| 1" | 25,400 |
| 3/4" | 19,000 |
| 3/8" | 9,500 |
| N° 4 | 4,760 |
| N° 10 | 2,000 |
| N° 20 | 0,840 |
| N° 40 | 0,425 |
| N° 60 | 0,260 |
| N° 140 | 0,106 |
| N° 200 | 0,075 |

Tabla 2: Tamices para el análisis granulométrico

- CÁLCULOS:

- El % que pasa por la malla N°200.

$$\% \text{ pasa malla N}^\circ 200 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso retenido malla N}^\circ 200}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- La cantidad de partículas retenidas en %.

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido en tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- El % de muestra que pasa.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ retenido acumulado}$$

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO, MTC E 108 [23]

El contenido de humedad de un suelo es la relación que existe entre el peso del agua y su peso de partículas sólidas y se expresa mediante porcentajes, entonces se analiza la cantidad de agua que hay en el suelo. [23]

- EQUIPOS:
 - Horno secado con T° 5°C.
 - Balanza con margen de error (± 0.01 gr).

- MATERIALES:
 - Tara o recipientes resistentes al calor

- CÁLCULOS:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

- Donde:
 - W = es el contenido de humedad (%)
 - M_{cws} = es el peso del recipiente + suelo húmedo (gr)
 - M_{cs} = es el peso del recipiente + suelo seco (gr)
 - M_c = es el peso del recipiente (gr)
 - M_w = es el peso del agua (gr)
 - M_s = es el peso de partículas sólidas (gr)

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110 [23]

Se expresa en %, donde el suelo se hallará en su tope de los límites de los estados líquidos y plásticos. Por ello el contenido del surco separador de las dos mitades de la mezcla del suelo se va a cerrar y tendrá una distancia de ½ pulg. y así se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1cm y su razón con dos caídas por cada segundo. [23]

- EQUIPOS:

- Horno para el secado con T° 5°C.
- Balanza con margen de error (± 0.01 gr).
- Acanalador.
- Copa Casagrande.
- Calibrador.
- Estufa.

- MATERIALES:

- Espátula.

- CÁLCULOS:

$$\text{Límite líquido} = W^n \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

$$\text{Límite líquido} = kW^n$$

- Donde:

- $N =$

Número de golpes a los que cierra la ranura de la copa Casagrande

- $W^n =$ *Contenido de humeado del suelo*

- $k =$ *factor para determinar el LL*

Tabla A - 1

| N (Numero de golpes) | K (Factor para límite líquido) |
|----------------------|--------------------------------|
| 20 | 0,974 |
| 21 | 0,979 |
| 22 | 0,985 |
| 23 | 0,990 |
| 24 | 0,995 |
| 25 | 1,000 |
| 26 | 1,005 |
| 27 | 1,009 |
| 28 | 1,014 |
| 29 | 1,018 |
| 30 | 1,022 |

Tabla 3: Número de golpes en Límite Líquido

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD, MTC E 111 [23]

Separa en partes de grano fino de suelos y así se señala que su parte de grano de los materiales. El LL, LP y IP se relacionan mediante su comportamiento como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte. [23]

- EQUIPOS:

- Tamiz N°40.
- Horno o Estufa.
- Vidrio grueso esmerilado para superficie de trabajo.
- Recipientes para almacenaje.

- MATERIALES:

- Espátula.
- Agua destilada.

- CÁLCULOS:

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso suelo secado al horno}} \times 100$$

$$\text{Índice de plasticidad} = L.L - L.P$$

- Donde:

L.L = límite Líquido

L.P = límite plástico

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO), MTC E 115 [23]

Se determina la relación del H₂O y su curva de compactación y tendrá una compactación en un molde de cuatro pul. [23]

- EQUIPOS:

- Molde 4".
- Pisón manual.
- Ensamblaje de molde: el molde tendrá un collar ensamblado en conjunto con un plato base, donde dicho collar deberá tener una altura de 2".

- MATERIALES:

- Juego de Tamices para suelo fino N°4.

- CÁLCULOS:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

- Donde:
 - ρ_m = Densidad Húmeda de la muestra compactada (Mg/m³)
 - M_t = Masa de la muestra húmeda y molde (kg)
 - M_{md} = Masa del molde de compactación (kg)
 - V = Volumen del molde de compactación (m³)
 - ρ_d = Densidad seca de la muestra compactada (Mg/m³)
 - W = Contenido de agua (%)

MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO, MTC E 132 [23])

Determina mediante el ensayo de California Bearing Ratio. Se realiza sobre suelo con mejores condiciones para determinar su humedad y densidad, pero también se puede observar en suelos no tan eficientes. [23]

- EQUIPOS:

- Prensa.
- Molde cilíndrico de metal.
- Disco espaciador.
- Pistón para penetración.
- Pesas de $4.54 \pm 0,02\text{kg}$.

- MATERIALES:

- Juego de tamices para finos, Tamiz N.º 4.

- CÁLCULOS:

- Luego de obtener los resultados de penetración, se va a realizar una gráfica de presiones vs penetraciones, donde si no presenta un punto de inflexión se puede considerar que no necesita corrección y se eligen los valores de 2.54mm y 5.08mm, pero, si la gráfica presenta un punto de inflexión, esta tendrá que ser corregida como lo pide la norma.

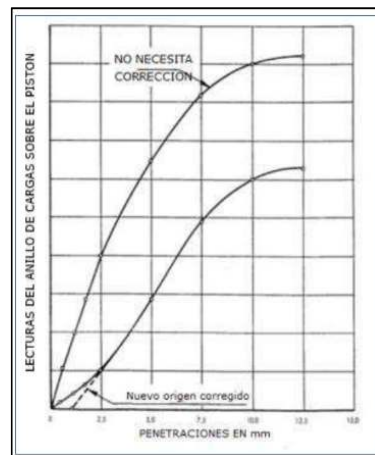


Ilustración 5: Presiones vs Penetraciones

Materiales y métodos

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según [24] la investigación que corresponde a este proyecto:

De acuerdo con el fin que se persigue: [24] es Aplicada; ya que la presente tesis conoce y evalúa cada resultado obtenido, y se apoyará en las distintas bases teóricas y en los conocimientos para darle una solución a la problemática general sobre las subrasantes arcillosas.

De acuerdo con los datos analizados: [24] es Cuantitativa; porque nuestros resultados numéricos obtenidos de los ensayos de laboratorio se van a analizar y compararemos su influencia del silicato sódico como un estabilizador a las subrasantes arcillosas de diferente plasticidad.

De acuerdo la metodología para demostrar la hipótesis: [24] es Experimental; porque esta tesis busca medir como influye la incorporación de silicato sódico sobre las propiedades físico-mecánicas de las subrasantes arcillosas y se demuestran mediante la hipótesis y los resultados obtenidos de los distintos ensayos.

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Es EXPERIMENTAL, busca en cada ensayo del laboratorio analizar la incorporación del silicato sódico en las propiedades físico-mecánicas de las subrasantes arcillosas.

POBLACIÓN

Para esta investigación, la población en estudio son las subrasantes arcillosas ubicadas en el distrito de José Leonardo Ortiz y son clasificadas según la tabla resumen del mapa de peligros de la ciudad de Chiclayo INDECI.

| Cuadro N° 24 CIUDAD DE CHICLAYO: TIPOS DE SUELOS PREDOMINANTES POR SECTORES | | | | | | |
|--|---|---|---|--|--------------------------------|----------------|
| SECTORES | ASENTAMIENTOS HUMANOS | TIPOS DE SUELO PREDOMINANTES | ESTATOGRAFIA | EXPANSION DEL SUELO | CAPACIDAD PORTANTE | NIVEL FREÁTICO |
| I | Urb. El Ingeniero I y II, Miraflores, Ciudad del Chofer, 03 de Octubre, Quintenas, Remigio Silva, Las Brisas, La Parícuta, Residencial A. B. Leguía y Cerrojo, Cruz de Chalpon, Rosa Nélida Castilla, Sta. Teresita de Mogrojo, 4 de Noviembre, Simón Bolívar, Vista Alegre, Nueva Esperanza, Cruz de la Esperanza, Sta. Lita, F. Beláunde, J. Bassadre, Los Mochicas, Ricardo Palma, Sta. Elena, José Quintones, José Balta, José Olaya, Elías Aguirre, José Obispo, Cruz del Perdón, Cerro Pololo, J. Carlos Mariátegui, Amp. Cruz del Perdón, Los Olivos, Parte de 9 de Octubre, 19 de Setiembre, San Sebastián, Virgen de la Paz, San Julio, Sta. Alejandrina, Santuario, Progresiva Cerrojo, La Molina Alta, Las Mercedes, La Colina, Vista Hermosa, AVANTE!, La Concordia, La Plaza, La Pradera, Los Cedros de la Pradera, Virgen de Fátima, San Jerónimo, Los Jardines y Sagrado Corazón de Jesús. | Arcillas del tipo (CL y CH), Arenas (SC, SM y SP) y Gravas (GC y GP). | Media a Semiduro: 2.0 m. < C-3 < 4.5 Rígido: 4.5 m. < C-5 < 15.0 m. | Suelos superficiales de expansión baja a media, con cambio de volumen pequeño. | 1.0 - 2.0 Kg./cm. ² | 2.0 a 7.0 m. |
| II | Comprende parte del sector Este de la ciudad: Aeropuerto, Planta de Tratamiento de Agua Potable, A.A.H.H. López Alujar, Mirela Bastidas, San Antonio, Nuevo Mundo, Ataspallas, Francisco Cabrera, Las Mercedes, César Vallejo, Amp. Campodónico, Progresiva UCHOFEN, Sagrado Corazón de Jesús, San Guillermo, Sta. Teresita, El Obrero, Amp. San Antonio, Puente Blanco, Jorge Chávez, Fanny Abanto Calle, parte del A.H. | Arcillas del tipo (CL y CH), Arenas (SC, SM y SP) y Gravas (GC y GP). | Media a Semiduro: 6.0 m. < C-3 < 8.0 Rígido: 8.0 m. < C-5 < 13.0 m. | Suelos finos de expansión baja a media, con cambio de volumen moderado. | 1.0 - 2.0 Kg./cm. ² | 2.0 a 3.5 m. |
| III | Rumio Priole, José Santos Chocano, UPIS 1° de Mayo, María Parado de Bellido, Mercado Moshoqueque, Área Central, A.A.H.H. Santa Rosa, Diego Ferré, Urb. La Primavera, Patasca, Bancarios, La Florida, Hipódromo y el 3er Sector del distrito, Stein, Miraflores, Idoamérica, El Saltral, 6to Sector Uruvaga, Villa Hermosa, La Explanada, Milagro de Dios, Villa El Sol, San Lorenzo, Sta. Ana, Nuevo San Lorenzo, Casaldonera, San José Obispo, Garcés, Latina, Artesanos, 12 de Octubre, F. Bolognesi, San Carlos, Las Palmeras, Fundo Sta. María, San Isidro, Miraflores, Amp. T. Amari, Luis Heysen, La Primavera, San Luis, Poverar, Cois, San Juan, Salazar, Chiclayo, El Molino, Las Américas, Señor de Los Milagros, San Nicolás, Boggiano, San Francisco, Campodónico, Raymond, 3° Sector de La Victoria, San Martín, Zamora, Diego Ferré, Mesones Muray y Ciro | Arcillas de media y alta plasticidad del tipo (CL, CH, CL-ML) y en pequeñas proporciones arenas del tipo (SC, SM y SP). | Blando a Medio: 2.0 m. < C-2 < 5.0 m. Semiduro: 3.0 m. < C-4 < 8.0 m. Duro a Rígido: 6.0 m. < C-5 < 13.0 m. | Suelos finos de expansión media a alta, con cambio de volumen moderado. | 0.5 - 1.0 Kg./cm. ² | 1.5 a 2.3 m. |
| IV | Urb. Santa Victoria, Federico Villarreal, Cajé Perú, Santa Angélica, Parque Zonal, C.E. Salsuaray, Sta. Victoria, San Eduardo, Carlos Cabezas Palla, Ana de los Angeles, Villa El Salvador, Sta. Angélica, Nazareno, H. Unzué, Diana Maestro, Corazón de Jesús, Carmen Angélica, Los Jardines de Santa Rosa, La Florida, El Amauta, Los Jazmines, Los Pinos de Plata, V. R. Haya de la Torre, Sta. Margarita y parte del A.H. La Victoria. | Arcillas de media y alta plasticidad del tipo (CL, CH, CL-ML) y en pequeñas proporciones arenas del tipo (SC, SM y SP). | Muy Blando a Medio: 3.5 m. < C-1 < 4.5 m. Semiduro: 4.5 m. < C-4 < 5.5 m. Duro a Rígido: 5.5 m. < C-5 < 10.0 m. | Suelos finos de expansión alta a extremadamente alta, con cambio de volumen moderado a severo. | 0.0 - 0.5 Kg./cm. ² | 1.0 a 2.0 m. |

FUENTE: "Microzonificación de la Ciudad de Chiclayo y Zonas de Expansión para la Reducción de Desastres", UNPRG - Lambayeque - 2001
ELABORACION: Equipo Técnico INDECI, Mayo 2003.

Ilustración 6: Tipo de Suelos Predominantes de Chiclayo

MUESTRA

La muestra por estudiar son las subrasantes arcillosas presentes en la zona de San Lorenzo, en la calle San Felipe desde Ca. Antenor Orrego a Av. México.

También el tipo de muestra es no probabilística por ello las muestras que tomaremos serán en lugares determinados por el investigador, considerando el número de puntos del muestreo de acuerdo con la NTP. CE.010 Pavimentos Urbanos.

| TIPO DE VÍA | NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN | ÁREA (m ²) |
|-------------|-----------------------------------|------------------------|
| Expresas | 1 cada | 1000 |
| Arteriales | 1 cada | 1200 |
| Colectoras | 1 cada | 1500 |
| Locales | 1 cada | 1800 |

Tabla 4: Número de Puntos de Investigación según CE0.010

Se optó por realizar 03 calicatas de acuerdo a lo que pide la normal que es el mínimo referente, con la finalidad de obtener una mejor muestra y así tener una buena caracterización del suelo a estudiar. Se planteó realizar los ensayos en la muestra natural y la muestra patrón con la adición del silicato de sodio:

| CANTIDAD DE MUESTRA Y ENSAYOS | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|------------------------------|------------|
| | Ensayo de Contenido de Humedad | Ensayo de Análisis Granulométrico | Ensayo de sales solubles totales en suelos | Ensayo de límites de Consistencia | Ensayo de Proctor Modificado | Ensayo CBR |
| C-01 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C-01 + 6.5% SILICATO DE SODIO | - | - | - | 1 | 1 | 5 |
| C-01 + 8.5% SILICATO DE SODIO | - | - | - | 1 | 1 | 5 |
| C-01 + 10.5% SILICATO DE SODIO | - | - | - | 1 | 1 | 5 |
| C-02 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C-02 + 6.5% SILICATO DE SODIO | - | - | - | 1 | 1 | 5 |
| C-02 + 8.5% SILICATO DE SODIO | - | - | - | 1 | 1 | 5 |
| C-02 + 10.5% SILICATO DE SODIO | - | - | - | 1 | 1 | 5 |
| C-03 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C-03 + 6.5% SILICATO DE SODIO | - | - | - | 1 | 1 | 5 |
| C-03 + 8.5% SILICATO DE SODIO | - | - | - | 1 | 1 | 5 |
| C-03 + 10.5% SILICATO DE SODIO | - | - | - | 1 | 1 | 5 |
| TOTAL | 3 | 3 | 3 | 12 | 12 | 48 |

Tabla 5: Cantidad General de Ensayos. Elaboración Propia.

HIPÓTESIS

La incorporación de porcentajes de silicato sódico mejorará las propiedades físico-mecánicas de subrasantes arcillosas.

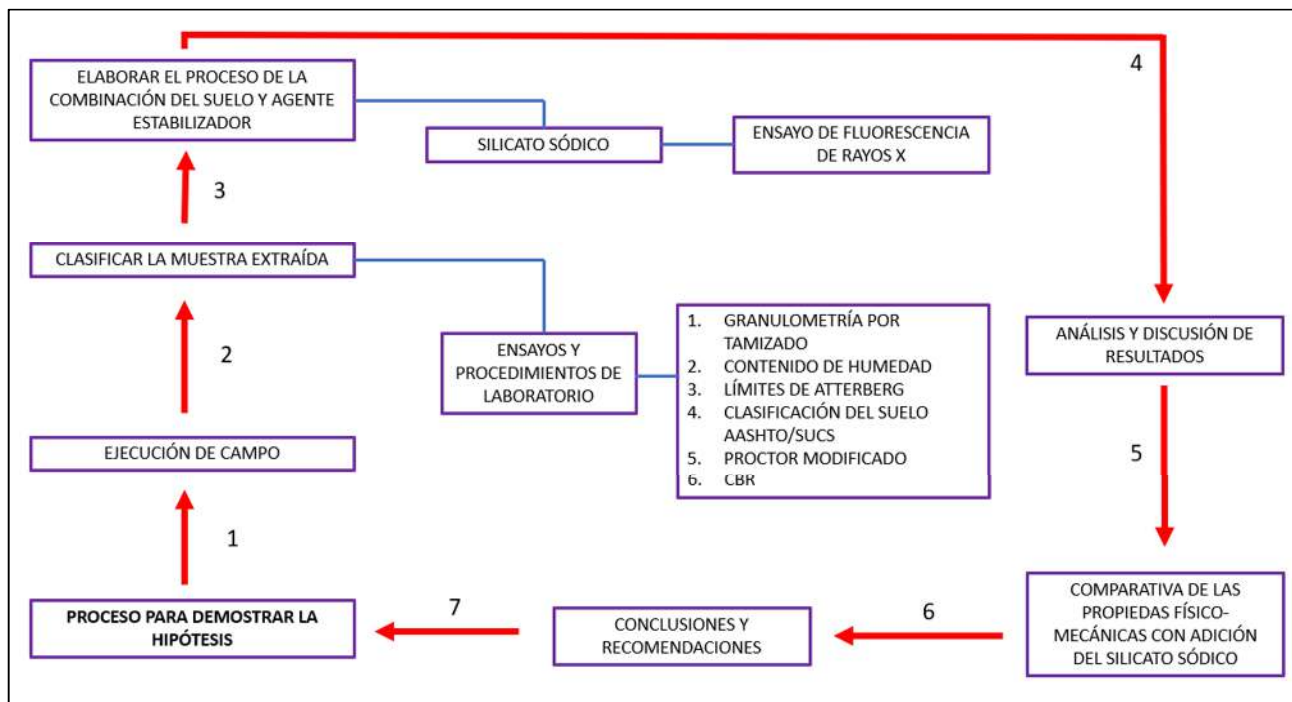


Ilustración 7: Proceso de demostración de hipótesis

VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN

Variables

| OBJETO DE ESTUDIO | VARIABLE INDEPENDIENTE | VARIABLE DEPENDIENTE |
|------------------------|--------------------------------|---|
| Subrasantes arcillosas | Influencia del silicato sódico | Analizar propiedades físico-mecánicas de subrasantes arcillosas |

Tabla 6: Variables de Operacionalización

Cuadro de Operacionalización

| VARIABLE | | INDICADORES | MEDICIÓN | RANGO DE APLICACIÓN | INSTRUMENTO |
|---|-----------------------|---|-------------------|---------------------------------|---|
| TIPO | DESCRIPCIÓN | | | | |
| Variable Independiente: Influencia del silicato sódico | Silicato Sódico | Ensayo de Fluorescencia (FICHA TÉCNICA) | ml | 6.5% - 8.5% 10.5% | Probeta graduada - Pipeta |
| Variable Dependiente: Propiedades físico-mecánicas de subrasantes arcillosas | Propiedades Físicas | Plasticidad | % | | Ensayo determinar LP, LL e IP NTP 339.129 |
| | | Tamaño de partículas | mm | - | Ensayo Granulométrico NTP 339.128 |
| | | Contenido de Humedad | % | - | Ensayo de contenido de humedad NTP 339.127 |
| | | Contenido de Sales | % | - | Ensayo de sales solubles totales en suelos (NTP 339.152) |
| | Propiedades Mecánicas | % Optimo Contenido de Humedad | % peso | - | Ensayo de Proctor Modificado NTP 339.141 |
| | | Máxima Densidad Seca | g/cm ³ | - | Ensayo de Proctor Modificado NTP 339.141 |
| Capacidad de Soporte CBR | | % | - | Ensayo CBR MTC E132/ASTM D 1883 | |

Tabla 7: Cuadro de Operacionalización

MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El proceso para realizar la investigación es que pretende evaluar cómo influye el silicato de sodio en las propiedades físico-mecánicas de un suelo estabilizado. Por eso se toma como referencia las normas del MTC y las NTP se procedió a realizar los siguientes ensayos:

| ENSAYOS | INSTRUMENTO |
|--|---|
| Ensayo de Contenido de Humedad | Fichas de Resultado de Laboratorio MTC E 108 |
| Ensayo de Análisis Granulométrico | Fichas de Resultado de Laboratorio MTC E 107 |
| Ensayo de sales solubles totales en suelos (NTP 339.152/MTC E219) | Fichas de Resultado de Laboratorio MTC E 219 |
| Ensayo de Clasificación de Textos | Fichas de Resultado de Laboratorio SUCE / AASHTO |
| Ensayo de Análisis de Característica | Fichas de Resultado de Laboratorio MTC E 109 - 111. |
| Ensayo de Proctor Modificado | Fichas de Resultado de Laboratorio MTC E 105 |
| Ensayo CBR | Fichas de Resultado de Laboratorio MTC E 102 |

Tabla 8: Instrumento de Datos

PROCEDIMIENTO

OBTENCIÓN DE LAS CALICATAS

Para el desarrollo de esta investigación, se ejecutaron 3 calicatas con referencia de la NORMA CE. 010 PAVIMENTOS URBANOS, donde de ella seleccionamos que es una Vía Local y de ahí obtenemos 2 puntos de investigación peor como el mínimo es un total de 3 se consideró ese valor.

Según la CE.010 PAVIMENTOS URBANOS, nos indica que la profundidad mínima de investigación es de 1.50 metros.

Según el MTC E 101 MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS, nos menciona que para el procedimiento del muestreo se debe tener precauciones necesarias para que se evite el desprendimiento de material de las paredes ya que estas pueden afectar al operador, así como también la muestra obtenida. También que la profundidad de las calicatas debe ser mayor o igual a 1.5 metros.

Es por ello que cada calicata tuvo una profundidad de 1.50 metros y se extrajo un espécimen de 1000g de muestra para que así con ella podamos desarrollar los diferentes ensayos y poder determinar sus propiedades físicas y mecánicas en su estado natural y también con la adición del agua para determinar estabilidad plástica.

En la imagen N°3 se observará la distribución de las calicatas en el área de estudio.

| CALICATA | UBICACIÓN | PROFUNDIDAD | COORDENADAS | |
|---------------|-------------------------------------|-------------|-------------|------------|
| | | | ESTE | NORTE |
| CALICATA N°01 | Ca. Antenor Orrego y Ca. San Felipe | 1.50 m | 627210.00 | 9253332.00 |
| CALICATA N°02 | Ca. San Marcos y Ca. San Felipe | 1.50 m | 627216.00 | 9253389.00 |
| CALICATA N°03 | Av. México y Ca. San Felipe | 1.50 m | 627220.00 | 9253445.00 |

Tabla 9: Descripción de la ubicación de las 03 Calicatas.



Ilustración 8: Ubicación de las 03 calicatas, en Google Earth.

Se obtuvieron muestras representativas alteradas debido a su cohesividad fina de cada perforación en cantidades adecuadas de la muestra extraída, las cuales fueron almacenadas en bolsas de propileno para su transporte al laboratorio. Durante la extracción, se registraron y describieron las características de los estratos, incluyendo color, plasticidad, humedad y ubicación, entre otros aspectos. Estas muestras fueron clasificadas de acuerdo con el procedimiento visual-manual proporcionado por la normativa NTP 339.150 "Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual - manual". Además, no se encontró presencia de agua ni nivel freático en ninguna de las perforaciones, y se obtuvo una muestra aproximada de 100 kg de cada una de ellas.



Ilustración 9: Obtención de Calicata N°01



Ilustración 10: Obtención Calicata N°02



Ilustración 11: Obtención Calicata N°03



Ilustración 12: Ejecución en campo de calicatas

Después a ello, se realizó los perfiles estratigráficos de las 03 calicatas y se observará los detalles y características del suelo.

Calicata N°01 (C1):

- 0.10 – 1.50 m / C-01, Arcillosa Limosa (CL), color marrón, estructura fina y lisa con poca humedad y moldeable. (Ver Figura N°13)

| <u>PERFIL ESTRATIGRÁFICO</u> | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|-----------------------------|---|--------|---------|-------|-------|-------|-------|------------|
| CALICATA 01 | | | | | | | | | | |
| TESIS: | Análisis de la influencia del silicato sódico en propiedades físico - mecánicas de subrasantes arcillosas | | | | | | | | | |
| SOLICITANTE: | OLANO TUME JULISSA NATALY | | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | Intersección Av. Venezuela y Ca. San Felipe | | | | | | | | | |
| FECHA EXCAVACION | 04 de Septiembre del 2023 | | | | | | | | | |
| N.A.F. | No encontrados a la profundidad de excavación | | | | | | | | | |
| TIPO DE EXCAVACIÓN | MANUAL | | | | | | | | | |
| COORDENADAS: | E = 627213 | | | | | | | | | |
| PROFUNDIDAD | ESTRATO | DESCRIPCION | SUCS | AASITO | IIUMED | L.L. | L.P. | I.P. | SALES | IDENTIFIC. |
| 0.00 | | | | | | | | | | |
| 0.10 | 0.10 | Relleno con material suelto | | | - | - | - | - | - | |
| 0.20 | | | | | | | | | | |
| 0.30 | | | | | | | | | | |
| 0.40 | | | | | | | | | | |
| 0.50 | | | | | | | | | | |
| 0.60 | | | | | | | | | | |
| 0.70 | | | | | | | | | | |
| 0.80 | | | | | | | | | | |
| 0.90 | 1.50 | M-1 | Suelo de matriz arcillosa limosa de color marrón. Es un material compacto, estructura fina estructura lisa, baja humedad y moldeable. | CL | A-6 (9) | 22.27 | 32.54 | 20.05 | 12.50 | 1.75 |
| 1.00 | | | | | | | | | | |
| 1.10 | | | | | | | | | | |
| 1.20 | | | | | | | | | | |
| 1.30 | | | | | | | | | | |
| 1.40 | | | | | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | | | | |
| 1.60 | | | | | | | | | | |

Ilustración 13: Perfil Estratigráfico de C-01. Fuente Propia.

Calicata N°02 (C2):

- 0.10 – 1.50 m / C-02, Arcillosa Limosa (CL), color marrón claro, estructura fina y lisa con poca humedad y moldeable. (Ver Figura N°14)

| PERFIL ESTRATIGRÁFICO | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---------|---|---|--------|----------|-------|-------|-------|-------|------------|
| CALICATA 02 | | | | | | | | | | |
| TESIS: | | Análisis de la influencia del silicato sódico en propiedades físico - mecánicas de subrasantes arcillosas | | | | | | | | |
| SOLICITANTE: | | OLANO TUME JULISSA NATALY | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | | Intersección Ca. San Marcos y Ca. San Felipe | | | | | | | | |
| FECHA EXCAVACION | | 04 de Septiembre del 2023 | | | | | | | | |
| N.A.F. | | No encontrado a la profundidad de excavación | | | | | | | | |
| TIPO DE EXCAVACIÓN: | | MANUAL | | | | | | | | |
| COORDENADAS: | | E = 627221 N = 9253390 | | | | | | | | |
| PROFUNDIDAD | ESTRATO | DESCRIPCION | SUCS | AASHTO | HUMED | L.L. | L.P. | I.P. | SALES | IDENTIFIC. |
| 0.00 | | | | | | | | | | |
| 0.10 | 0.10 | - | Relleno con material suelto | | | - | - | - | - | - |
| 0.20 | | | | | | | | | | |
| 0.30 | | | | | | | | | | |
| 0.40 | | | | | | | | | | |
| 0.50 | | | | | | | | | | |
| 0.60 | | | | | | | | | | |
| 0.70 | | | | | | | | | | |
| 0.80 | | | | | | | | | | |
| 0.90 | 1.50 | M-1 | Suelo de matriz arcillosa limosa de color marrón claro. Es un material compacto, estructura fina estructura lisa, baja humedad y moldeable. | CL | A-6 (10) | 25.24 | 34.52 | 19.00 | 15.52 | 7.50 |
| 1.00 | | | | | | | | | | |
| 1.10 | | | | | | | | | | |
| 1.20 | | | | | | | | | | |
| 1.30 | | | | | | | | | | |
| 1.40 | | | | | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | | | | |
| 1.60 | | | | | | | | | | |

Ilustración 14: Perfil Estratigráfico de C-02. Fuente Propia.

Calicata N°03 (C3):

- 0.10 – 1.50 m / C-01, Arcillosa Limosa (CH), color marrón oscuro, estructura fina y lisa con poca humedad y moldeable. (Ver Figura N°15)

| PERFIL ESTRATIGRÁFICO | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---------|--|------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| CALICATA 03 | | | | | | | | | | |
| TESIS: | | Análisis de la influencia del silicato sódico en propiedades físico - mecánicas de subrasantes arcillosas | | | | | | | | |
| SOLICITANTE: | | OLANO TUME JULISSA NATALY | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | | Intersección Av. Panamá y Ca. San Felipe | | | | | | | | |
| FECHA EXCAVACION | | 04 de Septiembre del 2023 | | | | | | | | |
| N.A.F. | | No encontrado a la profundidad de excavación | | | | | | | | |
| TIPO DE EXCAVACIÓN: | | MANUAL | | | | | | | | |
| COORDENADAS: | | E = 627228 N = 9253441 | | | | | | | | |
| PROFUNDIDAD | ESTRATO | DESCRIPCION | SUCS | AASHTO | HUMED | LL | LP | IP | SALES | IDENTIFIC. |
| 0.00 | | | | | | | | | | |
| 0.10 | 0.10 | Relleno con material suelto | | | | | | | | |
| 0.20 | | | | | | | | | | |
| 0.30 | | | | | | | | | | |
| 0.40 | | | | | | | | | | |
| 0.50 | | | | | | | | | | |
| 0.60 | | | | | | | | | | |
| 0.70 | | | | | | | | | | |
| 0.80 | | | | | | | | | | |
| 0.90 | 1.50 | Suelo de matriz arcillosa limosa de color marrón oscuro. Es un material compacto, estructura fina estructura lisa, baja humedad y moldeable. | CH | A - 6-7 (18) | 22.06 | 50.54 | 21.00 | 29.54 | 8.56 | |
| 1.00 | | | | | | | | | | |
| 1.10 | | | | | | | | | | |
| 1.20 | | | | | | | | | | |
| 1.30 | | | | | | | | | | |
| 1.40 | | | | | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | | | | |
| 1.60 | | | | | | | | | | |

Ilustración 15: Perfil Estratigráfico de C-03. Fuente Propia.

Para comenzar se debe realizar una adecuada clasificación del suelo dentro de la normatividad AASHTO y S.U.C.S, con el fin de determinar el tipo y cantidad de estabilizante, así como el procedimiento para efectuar la estabilización.

Entonces para desarrollar los ensayos correspondientes, vamos a utilizar los ensayos correspondientes al MTC (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES).

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

Este ensayo se estableció de la Normativa MTC E-108 para la determinación del contenido de humedad, donde esta es la relación del peso de agua con una masa de suelo.

Procedimiento:

Se realiza lo más pronto posible que tengamos nuestra muestra para la determinación de la humedad, luego de eso en nuestro laboratorio vamos a dividir la muestra en 4 porciones para que posteriormente podamos seleccionar una porción de muestra natural. Teniendo nuestras muestras seleccionadas y pesadas lo colocamos en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ dejándolo por 24 horas. Pasando las 24 horas procedemos a retirar las muestras, dejamos enfriar a temperatura ambiente o hasta que se pueda manipular el recipiente y luego pesamos automáticamente, para que con esos pesos ya podamos obtener el contenido de humedad.

CALICATA N° 01



Ilustración 16: Peso de Tara C01



Ilustración 17: Peso Húmedo de Calicata 01

CALICATA N° 02



Ilustración 18: Peso de Tara C02



Ilustración 19: Peso Húmedo de Calicata 02

CALICATA N° 03



Ilustración 20: Peso de Tara C03



Ilustración 21: Peso Húmedo de Calicata 03



Ilustración 22: Muestra en el Horno

ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

Este ensayo se estableció de la Normativa MTC E-107 para determinar la distribución de tamaño de partículas del suelo.

Procedimiento:

Seleccionamos una porción de la muestra seca, y procedemos a distribuirla en los diferentes tamices, observando en cada tamiz cuanta muestra ha quedado para luego pesar y tener el valor tamizado retenido.



Ilustración 23: Taras para el Ensayo Granulométrico

ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO DE UN SUELO

Este ensayo se estableció de la Normativa MTC E-110 para la determinación de los límites en los estados líquido y plástico.

Procedimiento:

Primero vamos a tamizar una porción de muestra por el TAMIZ N°40, y luego seleccionar 150 o 200 gramos aprox. Y lo vamos a dejar saturando por 24 horas con agua destilada.

Pasando las 24 horas empezamos con el ensayo en el equipo de Casagrande verificando que esté totalmente calibrada. Entonces se coloca la muestra en la cuchara, se realiza un corte en el centro, y se empieza a girar dejándola caer y así contando los golpes que harán que el corte que hicimos se empiece a juntar, hasta que pase eso se cuenta los golpes. El número de

golpes se encuentra en un rango de 4 a 40 golpes, Etapa 01: 30 a 40 golpes, Etapa 02: 20 a 30 golpes, Etapa 03: 10 a 20 golpes, Etapa 04: 4 a 10 golpes.

En todo caso observamos que no se logra cerrar, se le añade agua y vamos a repetir el mismo procedimiento. Por ultimo las muestras las ponemos al horno por 24 horas, pasada esas horas procedemos a pesar y obtenemos los valores.



Ilustración 24: Proceso del Ensayo de Límites.

ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD

Este ensayo se estableció de la Normativa MTC E-111 para la determinación del límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad.

Procedimiento:

Se toma un aprox. de 20 gramos de muestra y lo pasamos por el Tamiz N°40, dejándolo por un periodo de 24 horas saturando con agua destilada pero la muestra en forma de una masa. Pasando las 24 horas, procedemos a seleccionar una muestra y realizar unos pequeños cilindros de menos 3,2 mm y si pasa ese diámetro no se desmorona se vuelve a repetir el procedimiento.

Finalmente, de deja en el horno por 24 horas a 110 ± 5 °C y luego se concluye pesando las muestras y calculando los datos.

Así también hallamos el Índice de Plasticidad, que es la resta del Límite Líquido y Límite Plástico.



*Ilustración 25:
Tamizando*



*Ilustración 256: Proceso
para Límite Plástico*

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

Este ensayo se estableció de la Normativa MTC E-115 para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco del suelo y así produciendo una energía modificada.

Procedimiento:

Preparamos como mínimo cuatro muestras con contenido de agua diferentes para verificar cuál de estas van a tener un contenido de humedad cerca al óptimo, así como también la densidad máxima seca. Se utilizan un aproximado de 1.5 kg de la muestra natural que se pasa por la malla N° 40 y luego vamos agregando el porcentaje de humedad a la muestra de acuerdo con el peso que estamos usando. Entonces como el método a utilizar es el "Método A" donde se utiliza un molde de 1000g, compactado en 3 capas y cada una con 25 golpes. Finalmente se saca el molde y se pasa con el contenido líquido.



Ilustración 26: Peso del molde



Ilustración 27: Mezclando el suelo natural con % agua



Ilustración 28: Compactando para el Ensayo de Proctor.

ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

Este ensayo se estableció de la Normativa MTC E-132 para determinar el % de expansión y la densidad seca del suelo compactándolo 55, 26, 12 golpes.

Procedimiento:

"Se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad compactada en 3 capas, estos datos son arrojados por el ensayo de Proctor Modificado. Se utiliza 5 kg de suelo que pasa por la malla N°04 y con el porcentaje de humedad óptimo arrojado por el Ensayo de Proctor Modificado.

Luego se realiza 3 compactaciones 55 golpes, 26 golpes y 12 golpes."

"Para la preparación del molde, se pasa el molde con su base, se coloca el collarín y el disco espaciador y sobre eso, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro. Terminada la compactación, se quita el collarín y se saca el molde, este se desmonta y se vuelve a montar invertida, sin el disco espaciador, colocando un papel filtro entre la base y el molde. Se hace el peso."

Luego de tener los valores obtenidos. El proceso de curado se realizará durante 7 días a temperatura ambiente. Por último, se realizará penetración a las muestras después del curado. Se aplica sobrecarga suficiente.



Ilustración 29: Compactando para CBR.



Ilustración 30: Proceso de Curado.



Ilustración 31: Ensayo de CBR.

**METODO DE ENSAYO ESTENDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE
SOLIDOS DE SUELO MEDIANTE PIGNOMETRO DE AGUA**

Este ensayo se estableció de la Normativa MTC E-413, donde se busca calcular la densidad de los sólidos del suelo.



Ilustración 32: Pesamos 50gramos de la muestra natural.



Ilustración 33: Removiendo el aire entrampado.

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBES EN SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEA

Este ensayo se estableció de la Normativa NTP 339.152, el cual se determina el contenido de sales solubles en los suelos para que se observe los sólidos disueltos en aguas subterráneas.



Ilustración 34: Contenido de sales.

ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA SILICATO DE SODIO

En este ensayo es una técnica que utiliza para poder determinar la composición elemental del material a considerar mediante la emisión de rayos X que esto van a irradiar una radiación de alta energía.

Es por ello que para que se realice este análisis se presentó una muestra de 100ml para su desarrollo.

En el caso del silicato de sodio se encontró principalmente Silicio (Si), Sodio (Na), contenido de agua y partículas en alto porcentaje. A su vez en menor porcentaje se encontró Calcio (Ca), Aluminio(Al), Potasio (k), Hierro (Fe), Fósforo(P), Magnesio (Mg) y Zinc (Zn).

| COMPOSICIÓN QUÍMICA | RESULTADOS (%) | METODO UTILIZADO |
|--|----------------|--|
| DIOXIDO DE SILICIO (SiO ₂) | 30.17 | Espectrometría de fluorescencia de rayos X |
| OXIDO DE SODIO (Na ₂ O) | 8.91 | |
| CONTENIDO DE AGUA Y SÓLIDOS | 35.47 | |
| OXIDO DE CALCIO (CaO) | 1.19 | |
| TRIOXIDO DE ALUMINIO (Al ₂ O ₃) | 0.05 | |
| TRIOXIDO DE HIERRO (Fe ₂ O ₃) | 0.09 | |
| OXIDO DE POTASIO (K ₂ O) | 0.019 | |
| OXIDO DE MAGNESIO (MgO) | 1.03 | |
| PENTOXIDO DE FOSFORO (P ₂ O ₅) | 0.017 | |
| OXIDO DE COBRE (CuO) | <0.01 | |
| TRIOXIDO DE ZINC (ZnO) | <0.01 | |
| OXIDO DE ZINC (ZnO) | 0.012 | |
| OXIDO DE MANGANESO (Mn ₂ O ₃) | <0.01 | |
| PÉRDIDA POR QUEMADO | 22.66 | |

Tabla 10: Composición química del agente estabilizador.

Resultados y discusión

RESULTADOS

ENSAYOS DE MUESTRA PATRÓN

Los ensayos que se desarrollaron en las muestras experimentales fueron las siguientes: Contenido de Humedad, Análisis Granulométrico por Tamizado, Límites de Consistencia, Contenido de Sales, Gravedad Específica, Proctor Modificado, CBR. Ahora se van a describir cada uno:

CONTENIDO DE HUMEDAD A LA MUESTRA NATURAL

Se desarrolló mediante la norma del MTC E-108, donde se busca la relación entre el peso del agua con respecto al suelo.

Calicata N°01

En el cuadro que se muestra están los resultados del ensayo de humedad de la Muestra N°01 de la Calicata 01.

| DATOS DE ENSAYO | |
|-----------------------------|------------|
| PESO DE TARA | 133.99 gr |
| PESO DE TARA + SUELO HUMEDO | 2264.99 gr |
| PESO DE TARA + SUELO SECO | 1876.81 gr |
| PESO DEL SUELO SECO | 1743 gr |
| PESO DEL AGUA | 388 gr |
| % HUMEDAD | 22.27% |

Tabla 11: Datos de la Humedad de C01. Elaboración: Propia

Como se muestra en la Tabla N°11 son los valores del contenido de humedad de la Calicata 01 obteniendo un 22.27%.

Calicata N°02

En el cuadro que se muestra están los resultados del ensayo de humedad de la Muestra N°01 de la Calicata 02.

| DATOS DE ENSAYO | |
|-----------------------------|------------|
| PESO DE TARA | 191.11 gr |
| PESO DE TARA + SUELO HUMEDO | 1898.11 gr |
| PESO DE TARA + SUELO SECO | 1554.11 gr |
| PESO DEL SUELO SECO | 1363 gr |
| PESO DEL AGUA | 344 gr |
| % HUMEDAD | 25.24% |

Tabla 12: Datos de la Humedad de C02. Elaboración: Propia

Como se muestra en la Tabla N°12 son los valores del contenido de humedad de la Calicata 02 obteniendo un 25.24%.

Calicata N°03

En el cuadro que se muestra están los resultados del ensayo de humedad de la Muestra N°01 de la Calicata 03.

| DATOS DE ENSAYO | |
|-----------------------------|------------|
| PESO DE TARA | 150.90 gr |
| PESO DE TARA + SUELO HUMEDO | 1980.90 gr |
| PESO DE TARA + SUELO SECO | 1650.12 gr |
| PESO DEL SUELO SECO | 1499 gr |
| PESO DEL AGUA | 331 gr |
| % HUMEDAD | 22.06% |

Tabla 13: Datos de la Humedad de C03. Elaboración: Propia

Como se muestra en la Tabla N°13 son los valores del contenido de humedad de la Calicata 03 obteniendo un 22.06%.

✚ Ahora observamos la tabla N° 14 y el gráfico N°35 donde se ve el resumen de cada calicata y su % de Humedad.

| CONTENIDO DE HUMEDAD | | | |
|----------------------|---------|-------------|-------------|
| CALICATA | MUESTRA | PROFUNDIDAD | HUMEDAD (%) |
| C-01 | M-01 | 1.50 m | 22.27% |
| C-02 | M-01 | 1.50 m | 25.24% |
| C-03 | M-01 | 1.50 m | 22.06% |

Tabla 14: Contenido de Humedad en muestras naturales. Elaboración Propia

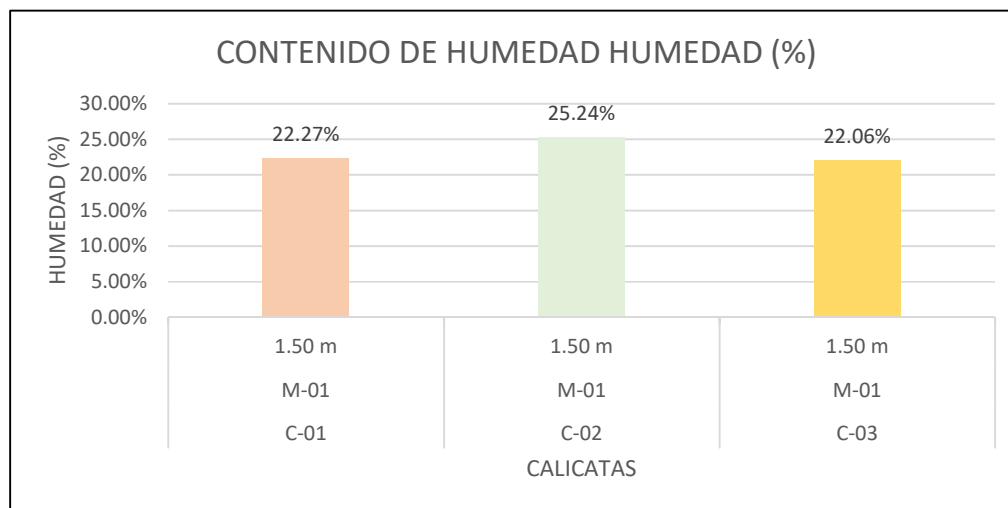


Ilustración 35: Contenido de Humedad en muestras naturales. Elaboración Propia.

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO DE MUESTRA NATURAL

Para determinar las partículas del suelo natural, se desarrollará mediante la norma del MTC E-107.

Calicata N°01

El contenido obtenido de este análisis, según los estudios realizados en el laboratorio conforme a los protocolos establecidos por la normativa MTC E-107 para el análisis granulométrico de suelos mediante tamizado, ha sido categorizado como CL (Arcilla de baja plasticidad con arena) de acuerdo sobre la clasificación de suelos SUCS. Con estos datos en consideración, se ha elaborado la curva granulométrica correspondiente (Ver Figura N°36).

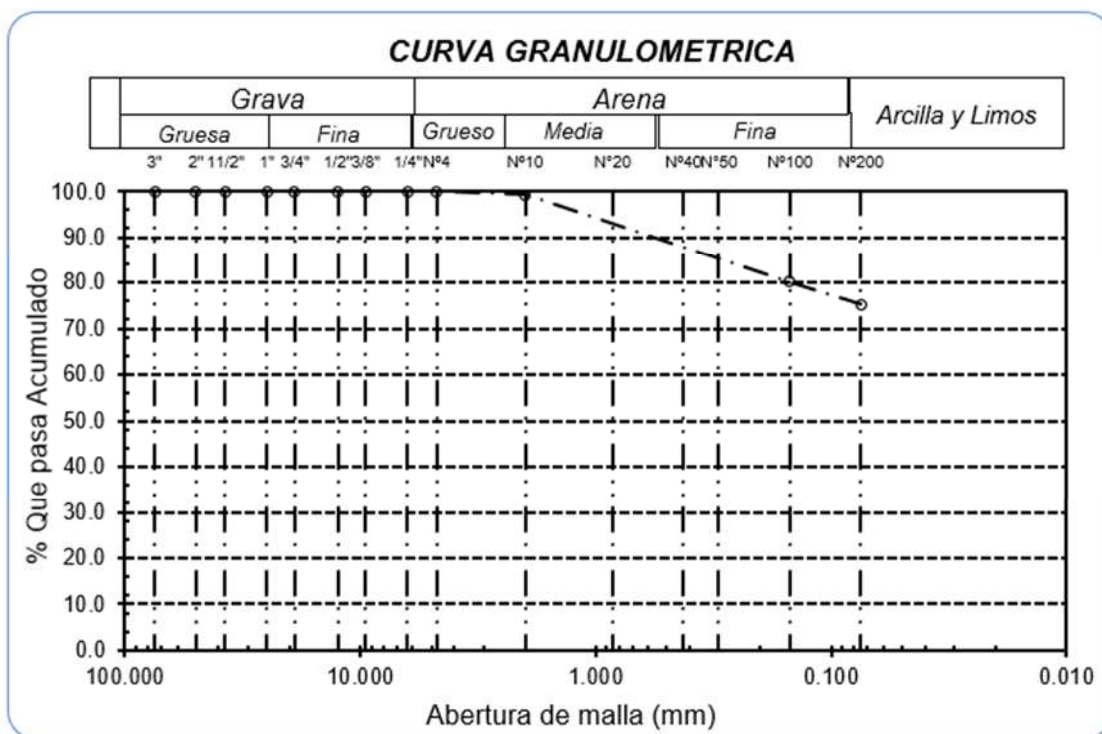


Ilustración 36: Curva granulométrica de la C-01.

Calicata N°03

El contenido obtenido de este análisis, según los estudios realizados en el laboratorio conforme a los protocolos establecidos por la normativa MTC E-107 para el análisis granulométrico de suelos mediante tamizado, ha sido categorizado como CH (Arcilla de alta plasticidad con arena) de acuerdo sobre la clasificación de suelos SUCS. Con estos datos en consideración, se ha elaborado la curva granulométrica correspondiente (Ver Figura N°38).

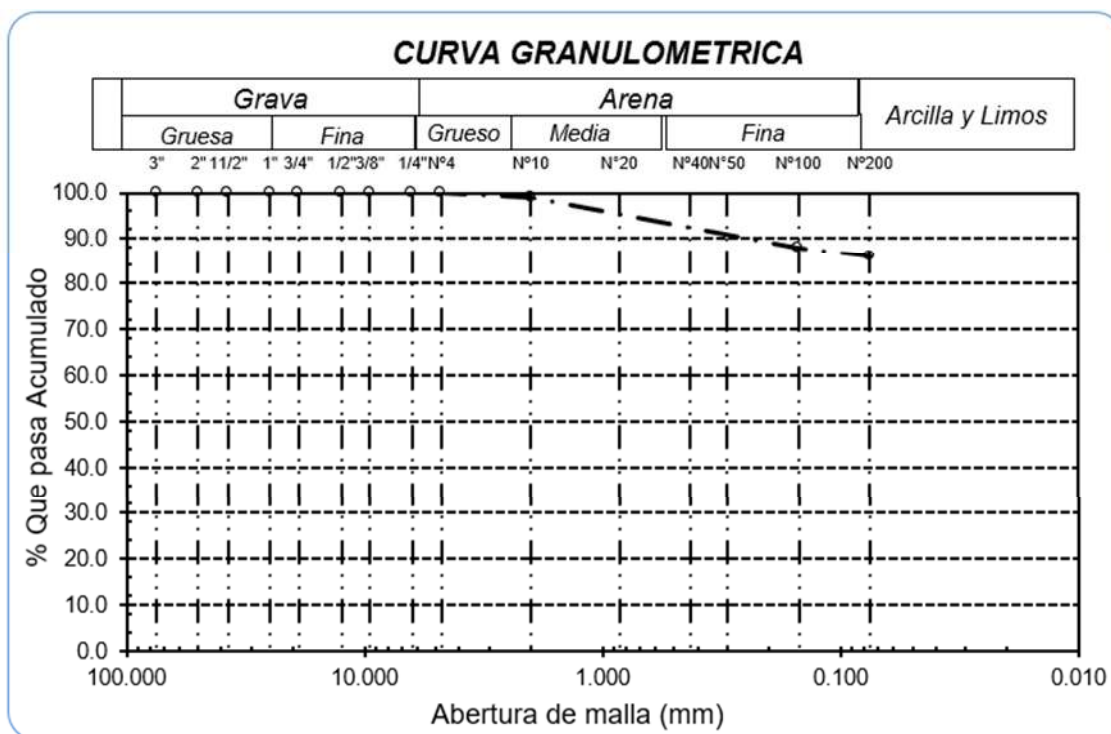


Ilustración 38: Curva granulométrica de la C-03.

- En referencia a los gráficos anteriores se observa en la Tabla N°15 la distribución granulométrica de cada calicata, respecto al porcentaje de Grava, Arena, Arcilla y Limo.

| CALICATA | MUESTRA | DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA | | |
|----------|---------|-----------------------------|---------|------------------|
| | | % Grava | % Arena | % Arcilla y Limo |
| C-01 | M-01 | 0.00 | 24.80 | 75.30 |
| C-02 | M-01 | 0.10 | 8.90 | 91.00 |
| C-03 | M-01 | 0.10 | 13.90 | 86.00 |

Tabla 15: Distribución Granulométrica de las muestras naturales.

Elaboración Propia.

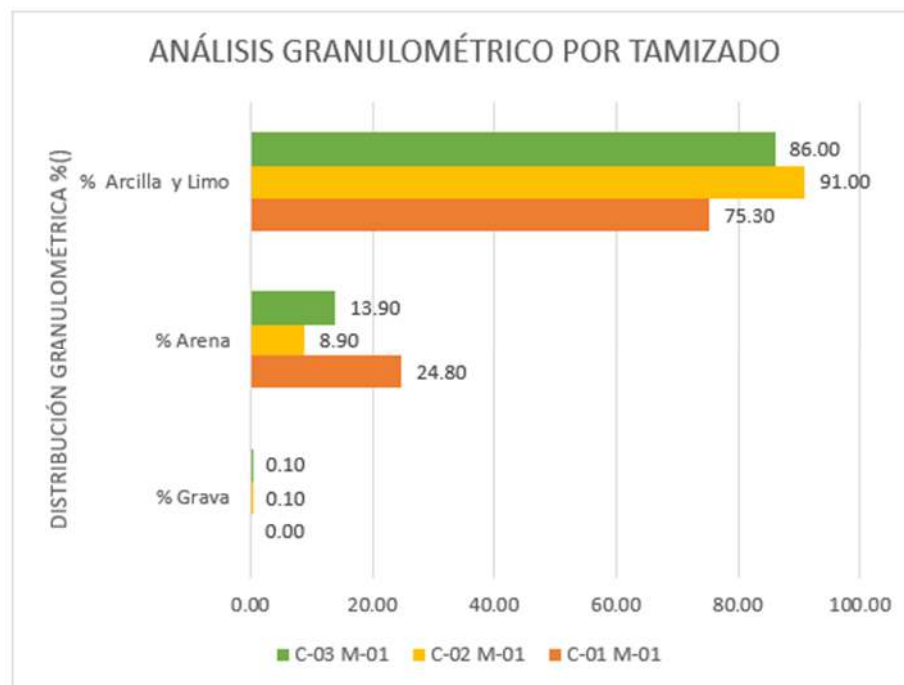


Ilustración 39: Resumen de Granulometría por Tamizado.

Elaboración Propia.

LIMITES DE CONSISTENCIA A LA MUESTRA NATURAL

Con los Límites de Atterberg se determinará el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de acuerdo con el MTC E-110 y E-111.

| CALICATA | MUESTRA | LIMITES | | ÍNDICE PLÁSTICIDAD |
|----------|---------|-------------|--------------|--------------------|
| | | LIQUIDO (%) | PLÁSTICO (%) | |
| C - 01 | M-01 | 32.54 | 20.05 | 12.50 |
| C - 02 | M-01 | 34.52 | 19.00 | 15.52 |
| C - 03 | M-01 | 50.54 | 21.00 | 29.54 |

Tabla 16: Límites de Consistencia de muestras naturales.

Elaboración Propia.

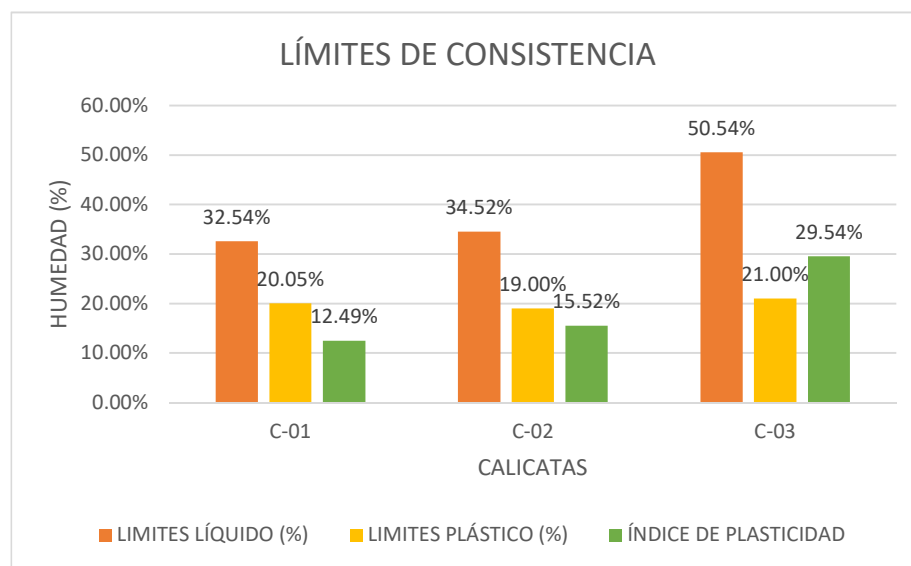


Ilustración 40: Límites de Consistencia de muestras naturales.

Elaboración Propia.

De acuerdo con la Tabla N°16 se muestra los resultados de límite líquido, plástico e índice de plasticidad con valores de 12.5%, 15.52% y 29.54% correspondientes a las calicatas C1, C2 y C3 y de acuerdo con la clasificación se trata de suelo arcilloso.

CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN AASHTO Y SUCS

En relación con los ensayos anteriores de granulometría y límites de consistencia, se va a clasificar la muestra natural con el criterio de AASTO Y SUCS, obtenemos:

| CALICATA | MUESTRA | CLASIFICACIÓN UNIFICADA DE SUELOS (SUCS) | CLASIFICACIÓN (AASHTO) |
|----------|---------|--|------------------------|
| C - 01 | M-01 | CL | A - 6 (9) |
| C - 02 | M-01 | CL | A - 6 (18) |
| C - 03 | M-01 | CH | A - 6 - 7 (9) |

Tabla 17: Clasificación de las muestras naturales AASHTO Y SUCS.

Elaboración Propia.

SALES SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRANEAS

Este ensayo se estableció de la Normativa NTP 339.152, el cual se determina el contenido de sales solubles en los suelos para que se observe los sólidos disueltos en aguas subterráneas.

| CALICATA | MUESTRA | SALES SOLUBLES TOTALES EN PESO SECO (%) |
|----------|---------|---|
| C - 01 | M-01 | 1.75 |
| C - 02 | M-01 | 7.50 |
| C - 03 | M-01 | 8.56 |

Tabla 18: Sales Solubles de las muestrales naturales.

Elaboración Propia.

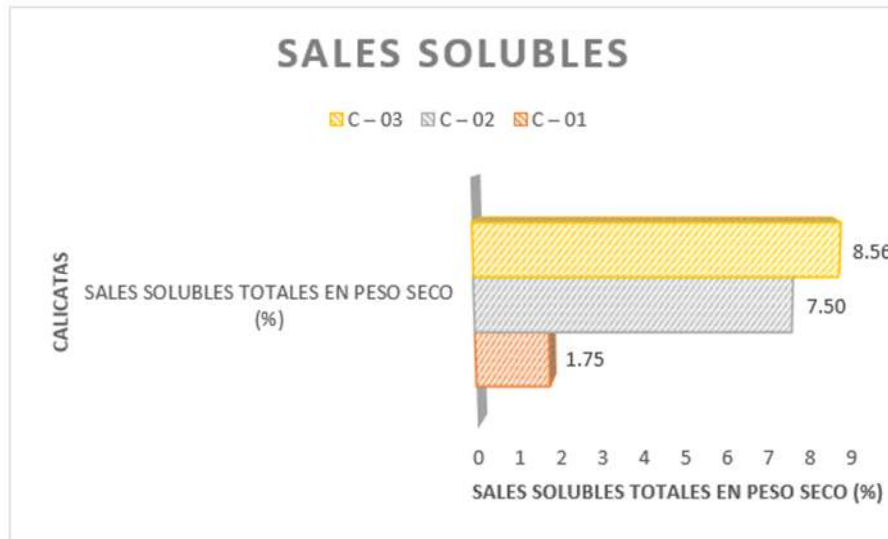


Ilustración 41: Sales Solubles de las muestrales naturales.

Elaboración Propia.

De acuerdo con la tabla N°19 muestra los resultados de sales solubles en el suelo en donde se encuentra en un rango de 1% a 9%.

GRAVEDAD ESPECIFICA

Este ensayo se estableció de la Normativa MTC E-113, donde se busca calcular la densidad de los sólidos del suelo.

| CALICATA | MUESTRA | PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SÓLIDOS g/cm ³ |
|----------|---------|---|
| C-01 | M-01 | 2.47 |
| C-02 | M-01 | 2.43 |
| C-03 | M-01 | 2.51 |

Tabla 19: Gravedad Específica de las muestras naturales.

Elaboración Propia.

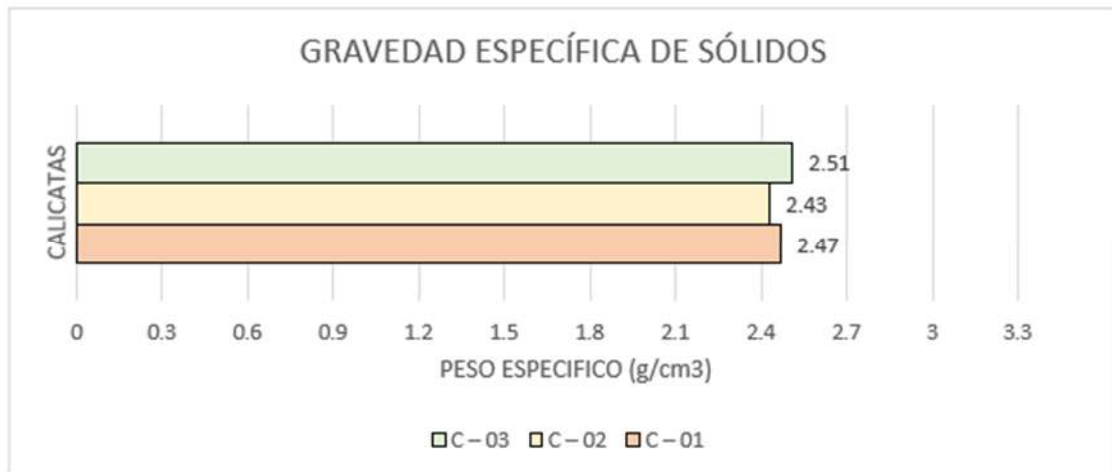


Ilustración 42: Gravedad Especifica de las muestras naturales.

Elaboración Propia.

PROCTOR MODIFICADO DE LA MUESTRA NATURAL

Este ensayo se realizó mediante la norma MTC E-115, donde vamos a determinar el óptimo contenido de humedad en un suelo para que con este se genere la máxima densidad seca y se proporcione mayor resistencia y estabilidad. Utilizamos el método “A” ahora obtenemos estos resultados por cada calicata:

Calicata N°01

Se utilizaron 4 muestras y como resultado se logra una densidad seca máxima de 1.860 gr/cm³ y un contenido de humedad óptimo del 11.50 %. (Ver Figura N°43).

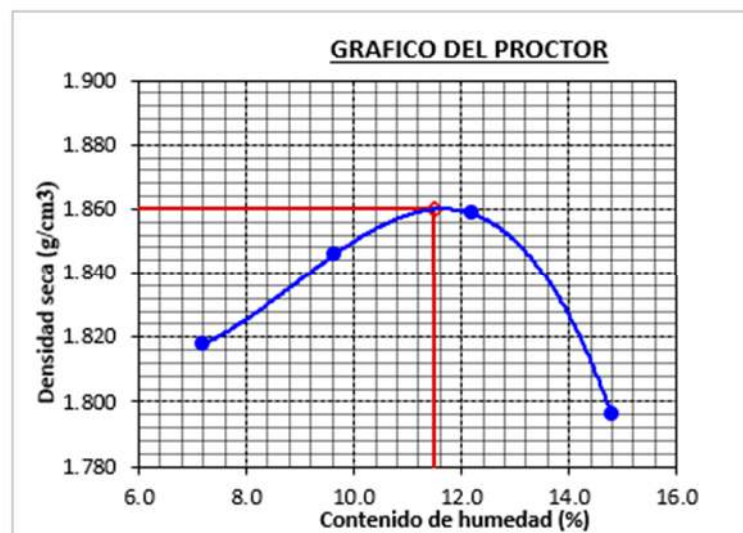


Ilustración 43: Curva de Compactación de C-01.

Calicata N°02

Se utilizaron 4 muestras y como resultado se logra una densidad seca máxima de 1.832 gr/cm³ y un contenido de humedad óptimo del 13.50%. (Ver Figura N°44).

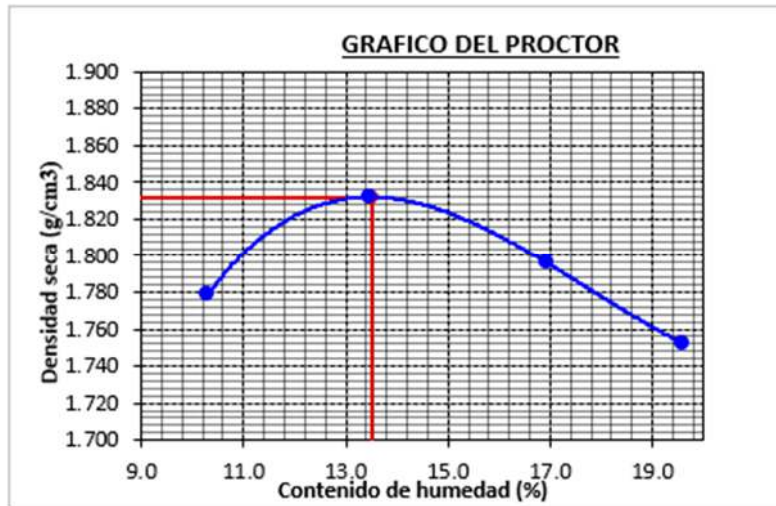


Ilustración 44: Curva de Compactación C-02.

Calicata N°03

Se utilizaron 4 muestras y como resultado se logra una densidad seca máxima de 1.848 gr/cm³ y un contenido de humedad óptimo del 11.05 %. (Ver Figura N°45).

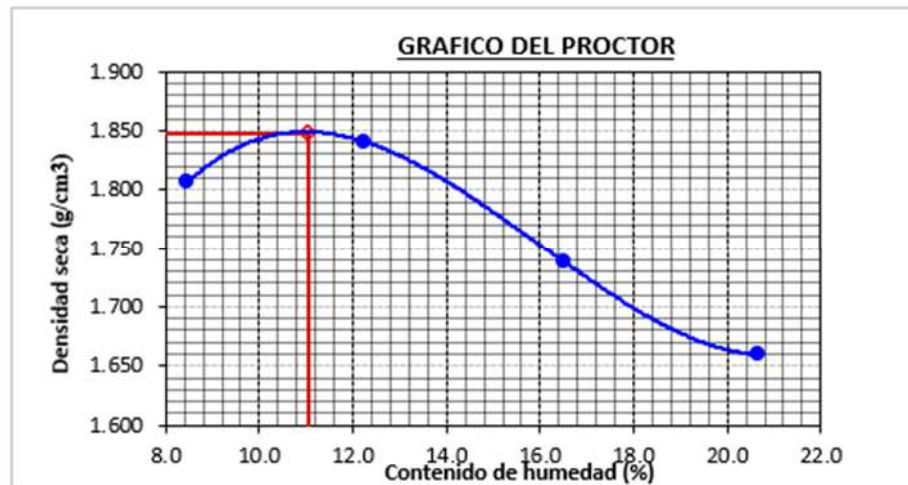


Ilustración 45: Curva de Compactación C-03.

- En referencia a los gráficos anteriores se observa en la Tabla N°21 el resumen de cada calicata observando su Óptimo Contenido de Humedad y su Máxima Densidad Seca.

| CALICATA | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | MÁXIMA DENSIDAD SECA g/cm ³ |
|----------|---------------------------------|--|
| C – 01 | 11.50% | 1.860 |
| C – 02 | 13.50% | 1.832 |
| C – 03 | 11.05% | 1.848 |

Tabla 20: Proctor Modificado en las muestras naturales.

Elaboración Propia

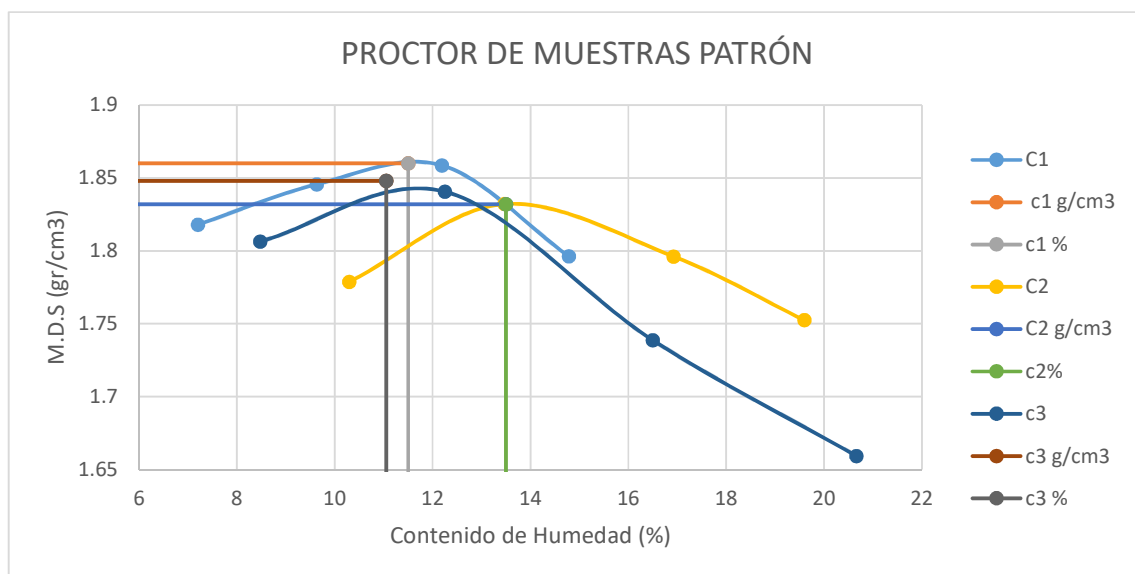


Ilustración 46: Proctor Modificado en las muestras naturales.

Elaboración Propia

CAPACIDAD DE SOPORTE DE CALIFORNIA DE LA MUESTRA NATURAL

Este ensayo se realizará mediante la norma MTC E-132 y busca cuantificar la resistencia a la penetración que tiene el suelo, ahora vamos a observar los valores relacionados con la penetración de 2.54 cm / 0.1", sus valores y curvas obtenemos:

Calicata N°01

Se prepararon 3 muestras compactadas con distintos golpes (56, 25 y 12), obteniendo como índice de penetración a 0.1 pulgadas: al 100% obtenemos 2% y al 95% tenemos 2% y a 0.2 pulgadas: al 100% obtenemos 3% y al 95% tenemos 2%.

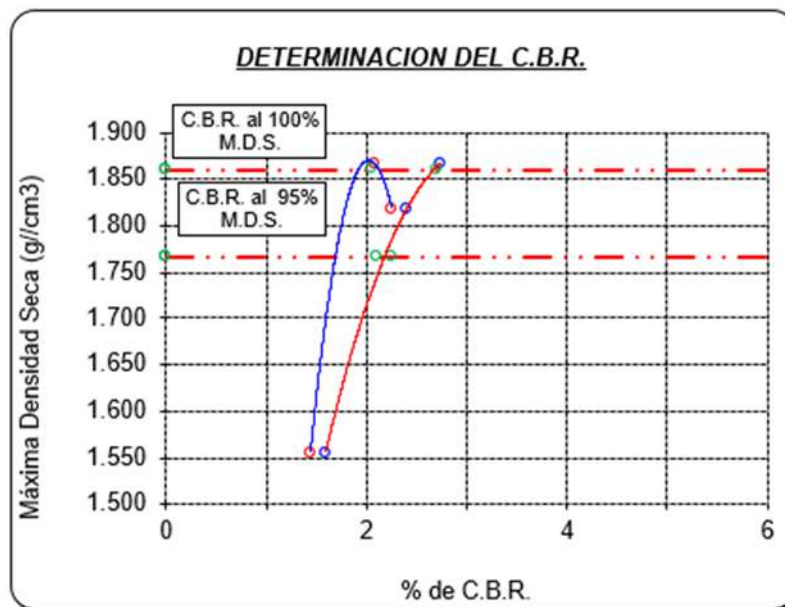


Ilustración 47: Gráfica de CBR-C-01.

Calicata N°02

Se prepararon 3 muestras compactadas con distintos golpes (56, 25 y 12), obteniendo como índice de penetración a 0.1 pulgadas: al 100% obtenemos 4% y al 95% tenemos 3% y a 0.2 pulgadas: al 100% obtenemos 6% y al 95% tenemos 4%.

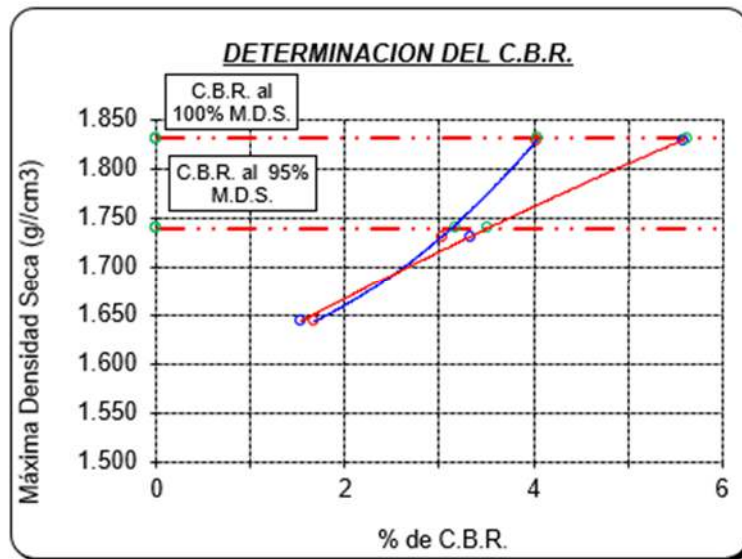


Ilustración 48: Gráfica de CBR-C-02.

Calicata N°03

Se prepararon 3 muestras compactadas con distintos golpes (56, 25 y 12), obteniendo como índice de penetración a 0.1 pulgadas: al 100% obtenemos 3% y al 95% tenemos 2% y a 0.2 pulgadas: al 100% obtenemos 4% y al 95% tenemos 2%.

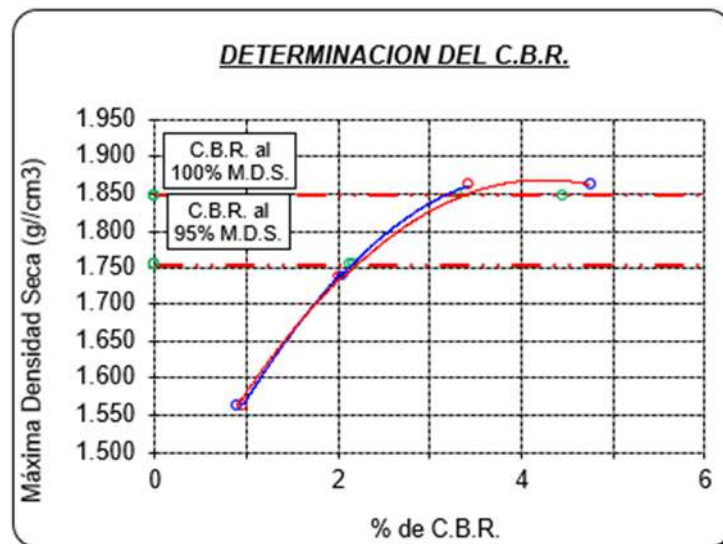


Ilustración 49: Gráfica de CBR-C-03.

- Como se puede observar mediante los gráficos y la tabla en la parte superior las subrasantes naturales al 95% de la M.D.S , presentan un CBR en un rango de 2.5% , mientras que a su 100% de M.D.S , están por encima del 4% , considerándose como una subrasante pobre según el manual del MTC , pero que podría mejorar su categoría con algún agente estabilizador.

ENSAYOS DE MUESTRA EXPERIMENTAL

APLICACIÓN DEL SILICATO DE SODIO EN LA MUESTRA

El propósito del análisis de las muestras realizadas en el laboratorio de suelos es determinar el porcentaje óptimo de adición de silicato de sodio que mejorará las propiedades geotécnicas del suelo bajo estudio. En los anexos se incluirán los resultados de los ensayos de laboratorio.

El objetivo principal es examinar cómo el uso de silicato de sodio mejora las propiedades geotécnicas del suelo, considerando las dosificaciones a aplicar. Además, se utilizará el ensayo CBR para evaluar la mejora en la capacidad del suelo, utilizando como referencia el porcentaje óptimo determinado.

Los ensayos que se desarrollaron en las muestras experimentales fueron los siguientes: Límites de Consistencia e Índice de Plasticidad, Factor Modificado y CBR; donde se han realizado a cada calicata con su adición de 3 porcentajes.

LÍMITES DE CONSISTENCIA A LA MUESTRA EXPERIMENTAL

Los porcentajes de adición estabilizadora del silicato de sodio se van a distribuir de la siguiente forma:

Para 6.5%: Por cada 100ml de agua se agregará 6.5ml silicato de sodio.

Para 8.5%: Por cada 100ml de agua se agregará 8.5ml silicato de sodio.

Para 10.5%: Por cada 100ml de agua se agregará 10.5ml silicato de sodio.

CALICATA N°01

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | LÍMITES | | ÍNDICE PLÁSTICIDAD |
|----------------------------|-------------|--------------|-----------------------|
| | LIQUIDO (%) | PLÁSTICO (%) | |
| C – 01 + 6.5% | 31.30 | 16.91 | 14.39 |
| C – 01 + 8.5% | 33.20 | 12.56 | 20.64 |
| C – 01 + 10.5% | 33.23 | 21.60 | 11.63 |

Tabla 21: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C01. Elaboración Propia.

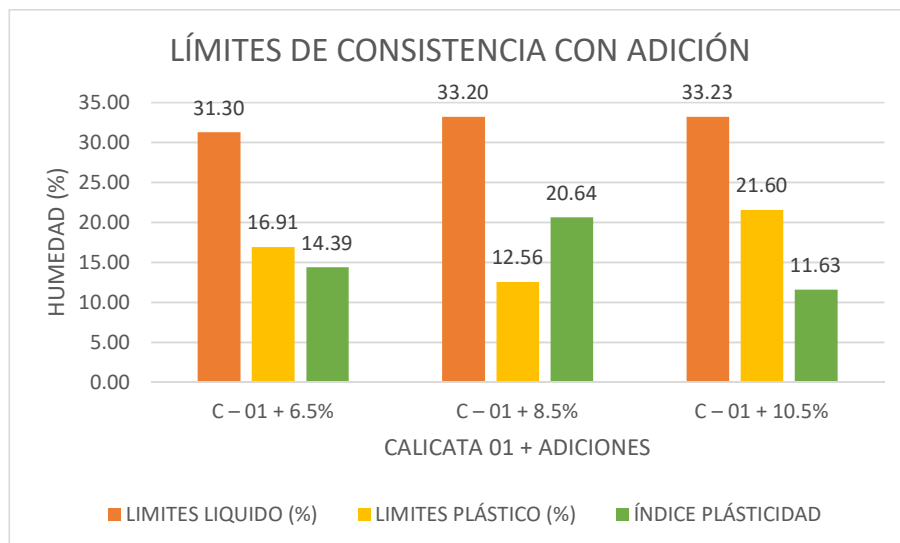


Ilustración 50: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C01. Elaboración Propia.

Los resultados de la Tabla N°2 muestran los valores de índice de plasticidad del suelo natural y suelo adicionado de la calicata en donde el índice de plasticidad con respecto a la muestra natural aumentó.

CALICATA N°02

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | LÍMITES | | ÍNDICE PLÁSTICIDAD |
|----------------------------|-------------|--------------|-----------------------|
| | LIQUIDO (%) | PLÁSTICO (%) | |
| C - 02+ 6.5% | 33.30 | 11.02 | 22.28 |
| C - 02 + 8.5% | 34.31 | 18.70 | 15.61 |
| C - 02 + 10.5% | 33.97 | 16.14 | 17.83 |

Tabla 22: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C02. Elaboración Propia.

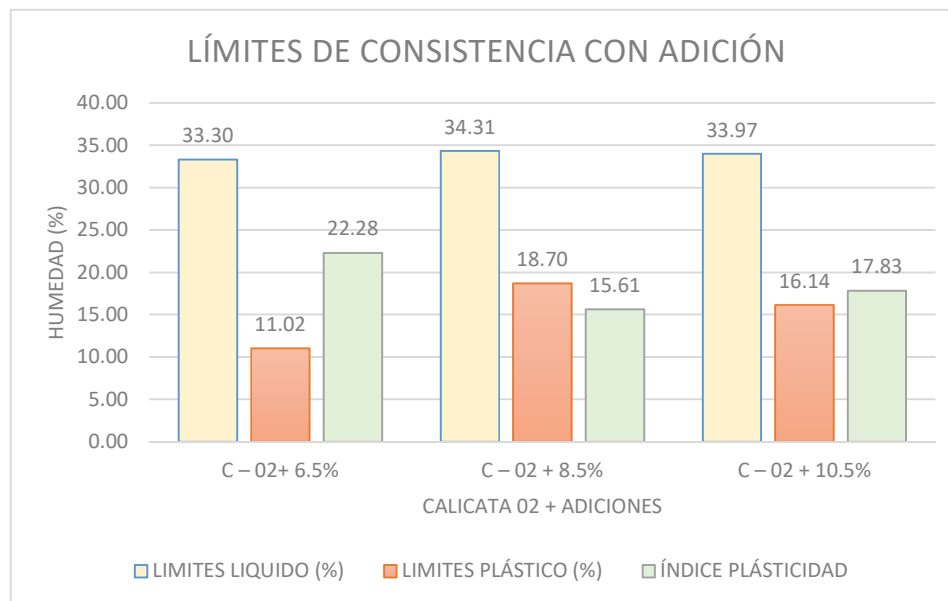


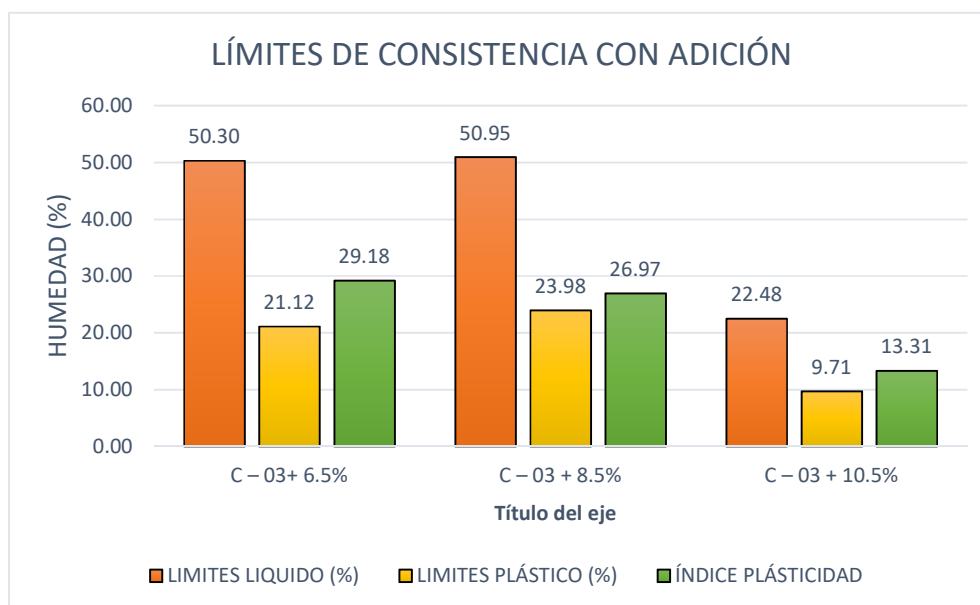
Ilustración 51: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C02. Elaboración Propia.

Los resultados de la Tabla N°23 muestran los valores de índice de plasticidad del suelo natural y suelo adicionado de la calicata 2 en donde el índice de plasticidad con respecto a la muestra natural aumentó.

CALICATA N°03

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | LÍMITES | | ÍNDICE PLÁSTICIDAD |
|----------------------------|-------------|--------------|-----------------------|
| | LIQUIDO (%) | PLÁSTICO (%) | |
| C – 03+ 6.5% | 50.30 | 21.12 | 29.18 |
| C – 03 + 8.5% | 50.95 | 23.98 | 26.97 |
| C – 03 + 10.5% | 22.48 | 9.71 | 13.31 |

*Tabla 23: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C03.
Elaboración Propia.*



*Ilustración 52: Límites de Consistencia en muestras experimentales de C03.
Elaboración Propia.*

Los resultados de la Tabla N°23 muestran los valores de índice de plasticidad del suelo natural y suelo adicionado de la calicata 3 en donde el índice de plasticidad con respecto a la muestra natural aumentó.

PROCTOR MODIFICADO DE LAS MUESTRAS EXPERIMENTALES

En este ensayo las dosificaciones a utilizar el aditivo serán de acuerdo a los datos obtenidos de la muestra patrón como el máximo de humedad y esta se reemplazará el agua por el aditivo químico. Sabiendo que de cada calicata se consideró 2500 gramos de material.

CALICATA N°01

Se obtuvo un % óptimo de contenido de humedad de 11.50%, entonces los porcentajes del aditivo se aplicarán así:

- Para 6.5% de silicato de sodio

$2500 * 11.50\% = 287.5$ ml de agua (cantidad que se reemplaza)

$287.5 * 6.5\% = 18.69$ ml.

Obtenemos 18.69 ml de silicato de sodio + 268.81 ml de agua.

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | MUESTRA | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | MÁXIMA DENSIDAD SECA g/cm ³ |
|-------------------------|---------|-----------------------------|--|
| C - 01 + 6.5% | M-01 | 12.60% | 1.735 |

Tabla 24: Resultados de Proctor con 6.5% de silicato de sodio C-01.

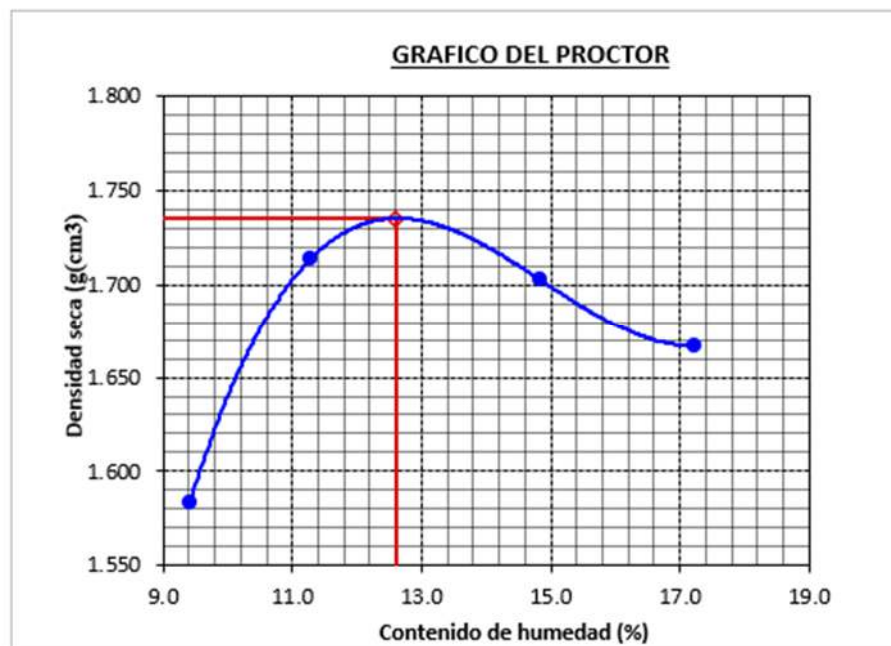


Ilustración 53: Curva de compactación con 6.5% de silicato de sodio C-01.

- **Para 8.5% de silicato de sodio**

$2500 * 11.50\% = 287.5$ ml de agua (cantidad que se reemplaza)

$287.5 * 8.5\% = 24.44$ ml.

Obtenemos 24.44 ml de silicato de sodio + 263.06 ml de agua.

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | MUESTRA | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | MÁXIMA DENSIDAD SECA g/cm ³ |
|-------------------------|---------|-----------------------------|--|
| C - 01 + 8.5% | M-01 | 13.59% | 1.865 |

Tabla 25: Resultados de Proctor con 8.5% de silicato de sodio C-01.

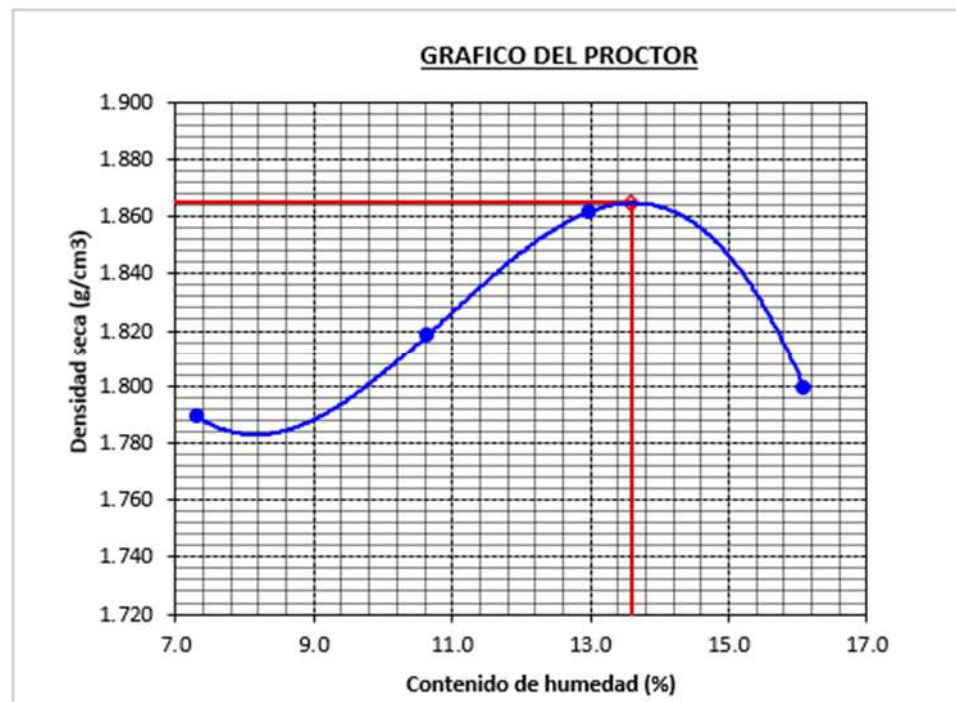


Ilustración 54: Curva de compactación con 8.5% de silicato de sodio C-01.

- **Para 10.5% de silicato de sodio**

$2500 * 11.50\% = 287.5$ ml de agua (cantidad que se reemplaza)

$287.5 * 10.5\% = 30.19$ ml.

Obtenemos 30.19 ml de silicato de sodio + 257.31 ml de agua.

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | MUESTRA | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | MÁXIMA DENSIDAD SECA g/cm ³ |
|-------------------------|---------|-----------------------------|--|
| C - 01 + 10.5% | M-01 | 10.89% | 1.771 |

Tabla 26: Resultados de Proctor con 10.5% de silicato de sodio C-01.

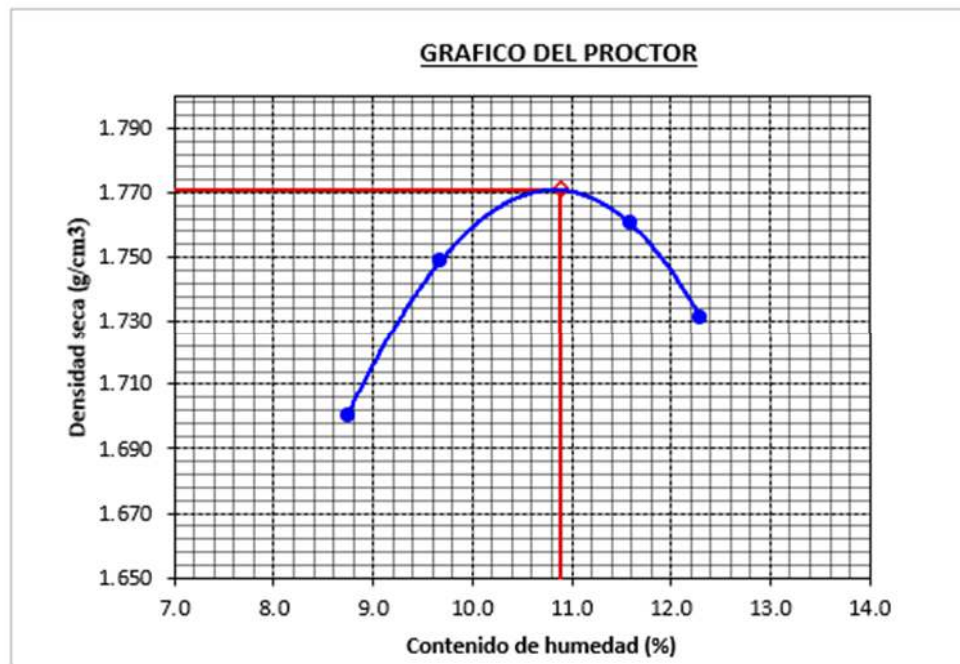


Ilustración 55: Curva de compactación con 10.5% de silicato de sodio C-01.

CALICATA N°02

Se obtuvo un % óptimo de contenido de humedad de 8.42%, entonces los porcentajes del aditivo se aplicarán así:

- **Para 6.5% de silicato de sodio**

$2500 \times 8.42\% = 210.50$ ml de agua (cantidad que se reemplaza)

$210.50 \times 6.5\% = 13.68$ ml.

Obtenemos 13.68 ml de silicato de sodio + 196.82 ml de agua.

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | MUESTRA | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | MÁXIMA DENSIDAD SECA g/cm ³ |
|-------------------------|---------|-----------------------------|--|
| C – 02+ 6.5% | M-01 | 11.50% | 1.772 |

Tabla 27: Resultados de Proctor con 6.5% de silicato de sodio C-02.

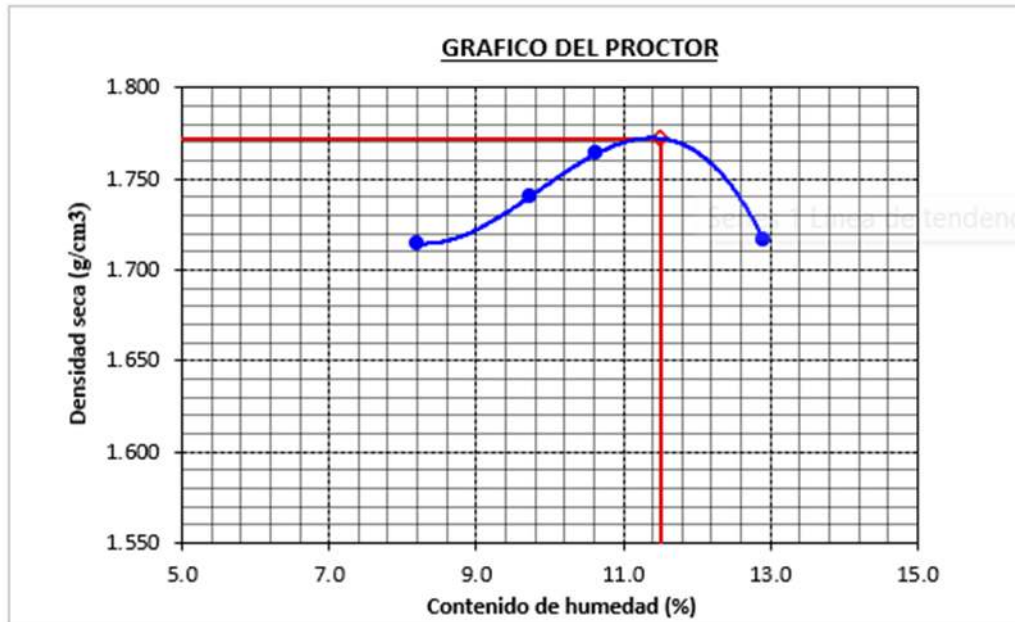


Ilustración 56: Curva de compactación con 6.5% de silicato de sodio C-02.

- **Para 8.5% de silicato de sodio**

$2500 \times 8.42\% = 210.50$ ml de agua (cantidad que se reemplaza)

$210.50 \times 8.5\% = 17.89$ ml.

Obtenemos 17.89 ml de silicato de sodio + 192.61 ml de agua.

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | MUESTRA | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | MÁXIMA DENSIDAD SECA g/cm ³ |
|-------------------------|---------|-----------------------------|--|
| C – 02 + 8.5% | M-01 | 9.80% | 1.782 |

Tabla 28: Resultados de Proctor con 8.5% de silicato de sodio C-02.

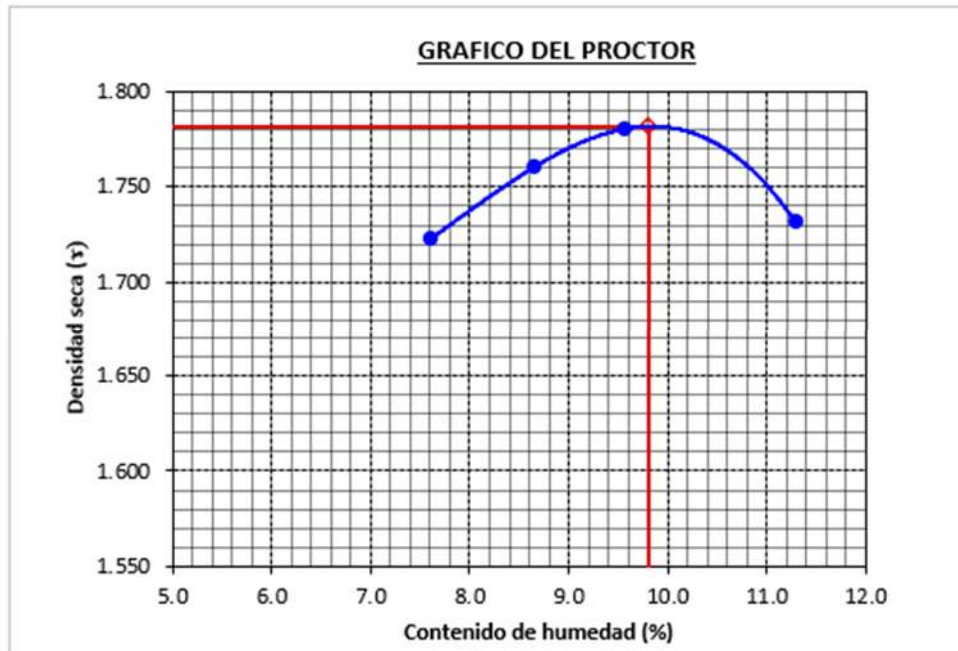


Ilustración 57: Curva de compactación con 8.5% de silicato de sodio C-02.

- **Para 10.5% de silicato de sodio**

$2500 \times 8.42\% = 210.50$ ml de agua (cantidad que se reemplaza)

$210.50 \times 10.5\% = 22.10$ ml.

Obtenemos 22.10 ml de silicato de sodio + 188.39 ml de agua.

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | MUESTRA | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | MÁXIMA DENSIDAD SECA g/cm ³ |
|-------------------------|---------|-----------------------------|--|
| C – 02 + 10.5% | M-01 | 10.80% | 1.766 |

Tabla 29: Resultados de Proctor con 10.5% de silicato de sodio C-02.

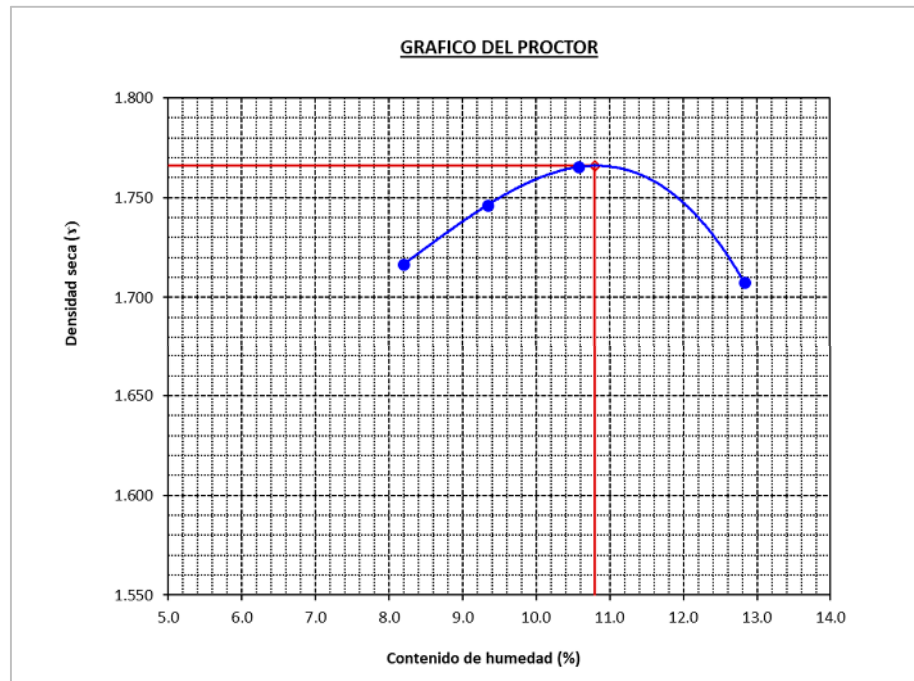


Ilustración 58: Curva de compactación con 10.5% de silicato de sodio C-02.

CALICATA N°03

Se obtuvo un % óptimo de contenido de humedad de 9.76%, entonces los porcentajes del aditivo se aplicarán así:

- Para 6.5% de silicato de sodio

$$2500 * 9.76\% = 244 \text{ ml de agua (cantidad que se reemplaza)}$$

$$244 * 6.5\% = 15.86 \text{ ml.}$$

Obtenemos 15.86 ml de silicato de sodio + 228.14 ml de agua.

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | MUESTRA | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | MÁXIMA DENSIDAD SECA g/cm ³ |
|-------------------------|---------|-----------------------------|--|
| C - 03+ 6.5% | M-01 | 10.50% | 1.737 |

Tabla 30: Resultados de Proctor con 6.5% de silicato de sodio C-03.

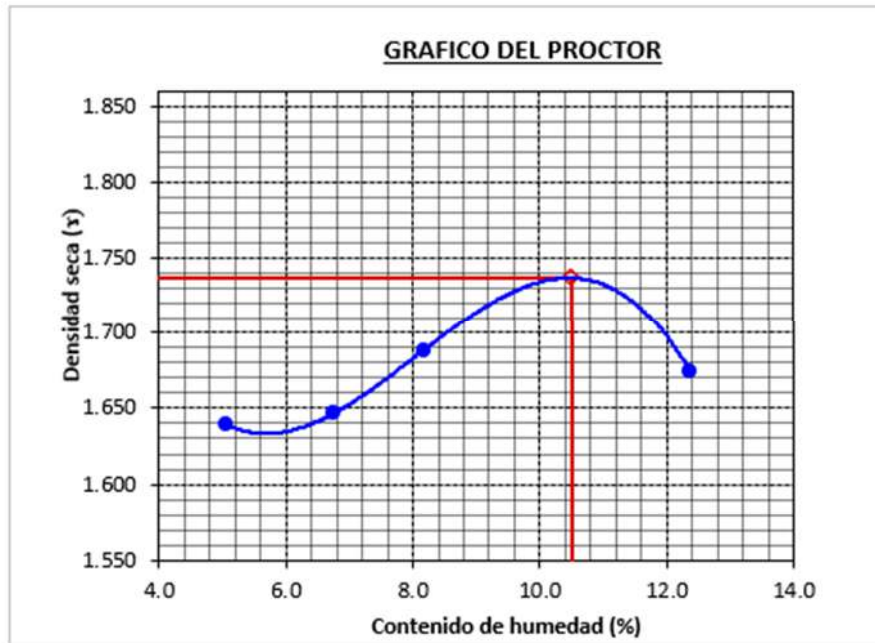


Ilustración 59: Curva de compactación con 6.5% de silicato de sodio C-03.

- **Para 8.5% de silicato de sodio**

$2500 \times 9.76\% = 244$ ml de agua (cantidad que se reemplaza)

$244 \times 8.5\% = 20.74$ ml.

Obtenemos 20.74 ml de silicato de sodio + 223.26 ml de agua.

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | MUESTRA | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | MÁXIMA DENSIDAD SECA g/cm ³ |
|-------------------------|---------|-----------------------------|--|
| C – 03 + 8.5% | M-01 | 10.30% | 1.761 |

Tabla 31: Resultados de Proctor con 8.5% de silicato de sodio C-03.

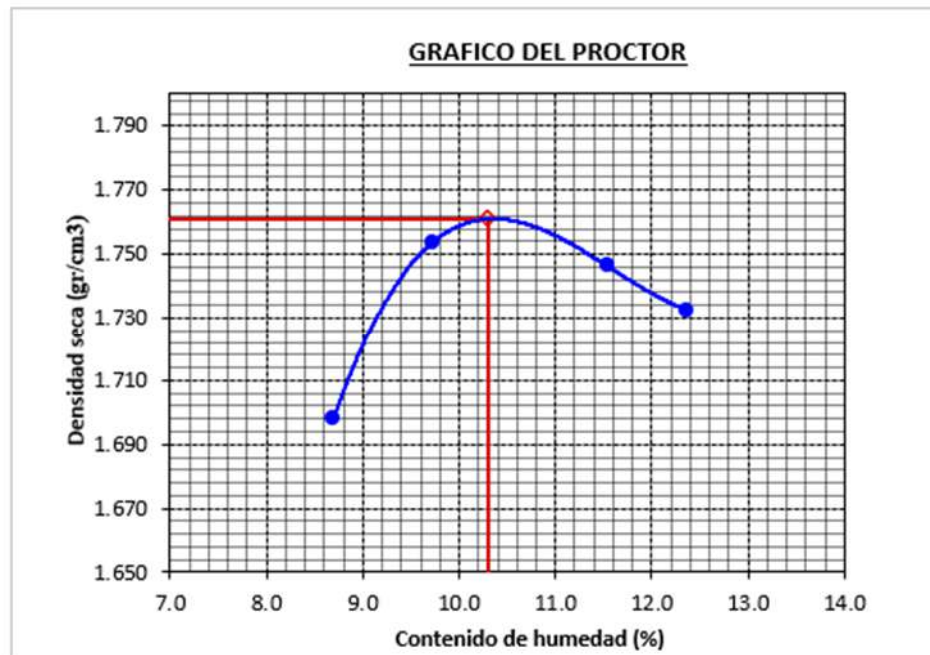


Ilustración 60: Curva de compactación con 8.5% de silicato de sodio C-03.

- **Para 10.5% de silicato de sodio**

$2500 \times 9.76\% = 244$ ml de agua (cantidad que se reemplaza)

$244 \times 10.5\% = 25.62$ ml.

Obtenemos 25.62 ml de silicato de sodio + 218.38 ml de agua.

| CALICATA + DOSIFICACIÓN | MUESTRA | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | MÁXIMA DENSIDAD SECA g/cm ³ |
|-------------------------|---------|-----------------------------|--|
| C - 03 + 10.5% | M-01 | 11.10% | 1.871 |

Tabla 32: Resultados de Proctor con 10.5% de silicato de sodio C-03.

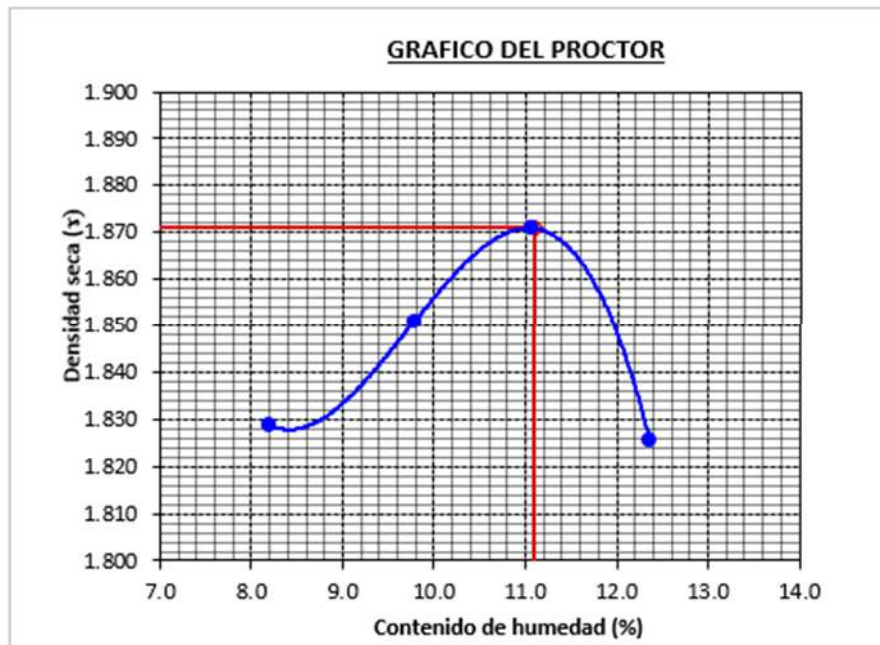


Ilustración 61: Curva de compactación con 10.5% de silicato de sodio C-03.

CAPACIDAD DE SOPORTE DE LAS MUESTRAS EXPERIMENTALES

Para esta sección, se emplearán los valores obtenidos en las pruebas previas, considerando especialmente la máxima densidad seca con su respectiva dosificación adicional. Para poder tener una mejor precisión hemos desarrollado 5 vueltas por cada calicata y por cada adición.

CALICATA N°01

Se visualiza los datos obtenidos con las tres adiciones (6.5%, 8.5% y 10.5%).

| CALICATA | | MDS 6.5% | OCH 6.5% | CBR AL 95% |
|----------|--------|----------|----------|------------|
| | | | | MDS 6.5% |
| C-01 | C-01.1 | 1.735 | 12.60 | 3.00 |
| | C-01.2 | 1.735 | 12.60 | 3.00 |
| | C-01.3 | 1.735 | 12.60 | 3.00 |
| | C-01.4 | 1.735 | 12.60 | 3.00 |
| | C-01.5 | 1.735 | 12.60 | 2.00 |

Tabla 33: Resumen de CBR con 6.5% de silicato de sodio C-01.

| CALICATA | | MDS 8.5% | OCH 8.5% | CBR AL 95% |
|----------|--------|----------|----------|------------|
| | | MDS 8.5% | | |
| C-01 | C-01.1 | 1.865 | 13.59 | 3.00 |
| | C-01.2 | 1.865 | 13.59 | 3.00 |
| | C-01.3 | 1.865 | 13.59 | 3.00 |
| | C-01.4 | 1.865 | 13.59 | 3.00 |
| | C-01.5 | 1.865 | 13.59 | 3.00 |

Tabla 34: Resumen de CBR con 8.5% de silicato de sodio C-01.

| CALICATA | | MDS 10.5% | OCH 10.5% | CBR AL 95% |
|----------|--------|-----------|-----------|------------|
| | | MDS 10.5% | | |
| C-01 | C-01.1 | 1.771 | 10.89 | 4.00 |
| | C-01.2 | 1.771 | 10.89 | 4.00 |
| | C-01.3 | 1.770 | 10.89 | 6.00 |
| | C-01.4 | 1.770 | 10.89 | 9.00 |
| | C-01.5 | 1.770 | 10.89 | 5.00 |

Tabla 35: Resumen de CBR con 10.5% de silicato de sodio C-01.

Como se desarrolló 05 rondas de CBR por cada calicata con su respectiva adición, vamos a sacar el promedio del CBR al 95% y obteniendo su Desviación Estándar CBR al 95%.

| UBICACIÓN | CALICATA | PORCENTAJE DE ADICIÓN | MDS | OCH | CBR PROMEDIO AL 95% | DESVIACION ESTANDAR DEL CBR AL 95% |
|-------------------------------------|----------|-----------------------|-------|-------|---------------------|------------------------------------|
| Ca. Antenor Orrego y Ca. San Felipe | C-01 | 6.5% | 1.735 | 12.60 | 2.80 | 0.45 |
| | | 8.5% | 1.865 | 13.59 | 3.00 | 0.00 |
| | | 10.5% | 1.770 | 10.89 | 5.60 | 2.07 |

Tabla 36: Promedio de CBR con adiciones de silicato de sodio C-01.

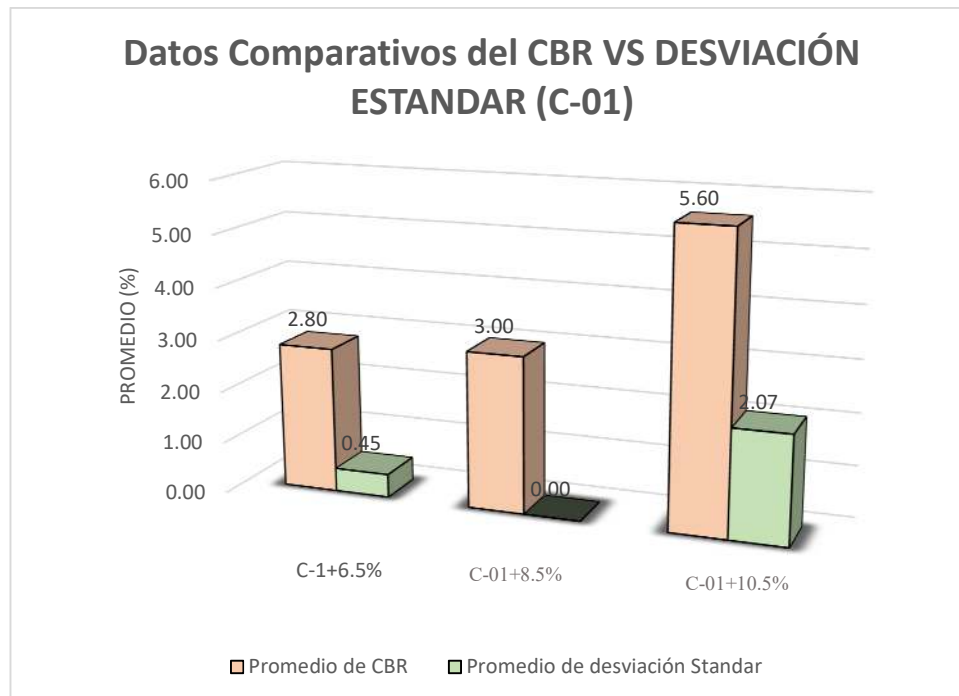


Ilustración 62: Comparativa de CBR y Desv. Estándar C-01.

CALICATA N°02

Se visualiza los datos obtenidos con las tres adiciones (6.5%, 8.5% y 10.5%).

| CALICATA | | MDS 6.5% | OCH 6.5% | CBR AL 95% MDS 6.5% |
|----------|---------|----------|----------|------------------------|
| C-02 | C-02-01 | 1.772 | 11.50 | 2.00 |
| | C-02-02 | 1.772 | 11.50 | 3.00 |
| | C-02-03 | 1.772 | 11.50 | 3.00 |
| | C-02-04 | 1.772 | 11.50 | 5.00 |
| | C-02-05 | 1.772 | 11.50 | 5.00 |

Tabla 37: Resumen de CBR con 6.5% de silicato de sodio C-02.

| CALICATA | | MDS 8.5% | OCH 8.5% | CBR AL 95% MDS 8.5% |
|----------|---------|----------|----------|------------------------|
| C-02 | C-02-01 | 1.782 | 9.80 | 3.00 |
| | C-02-02 | 1.782 | 9.80 | 5.00 |
| | C-02-03 | 1.782 | 9.80 | 5.00 |
| | C-02-04 | 1.782 | 9.80 | 4.00 |
| | C-02-05 | 1.782 | 9.80 | 5.00 |

Tabla 38: Resumen de CBR con 8.5% de silicato de sodio C-02.

| CALICATA | | MDS 10.5% | OCH 10.5% | CBR AL 95% MDS 10.5% |
|----------|---------|--------------|--------------|-------------------------|
| C-02 | C-02-01 | 1.766 | 10.80 | 9.00 |
| | C-02-02 | 1.766 | 10.80 | 9.00 |
| | C-02-03 | 1.766 | 10.80 | 6.00 |
| | C-02-04 | 1.766 | 10.80 | 7.00 |
| | C-02-05 | 1.766 | 10.80 | 6.00 |

Tabla 39: Resumen de CBR con 10.5% de silicato de sodio C-02.

Como se desarrolló 05 rondas de CBR por cada calicata con su respectiva adición, vamos a sacar el promedio del CBR al 95% y obteniendo su Desviación Estándar CBR al 95%.

| UBICACIÓN | CALICATA | PORCENTAJE DE ADICIÓN | MDS | OCH | CBR PROMEDIO AL 95% | DESVIACION ESTANDAR DEL CBR AL 95% |
|------------------------------------|----------|-----------------------|-------|-------|---------------------|------------------------------------|
| Ca. San Marcos y Ca. San Felipe | C-02 | 6.5% | 1.772 | 11.50 | 3.60 | 1.34 |
| | | 8.5% | 1.782 | 9.80 | 4.40 | 0.89 |
| | | 10.5% | 1.766 | 10.80 | 7.40 | 1.52 |

Tabla 40: Promedio de CBR con adiciones de silicato de sodio C-02.

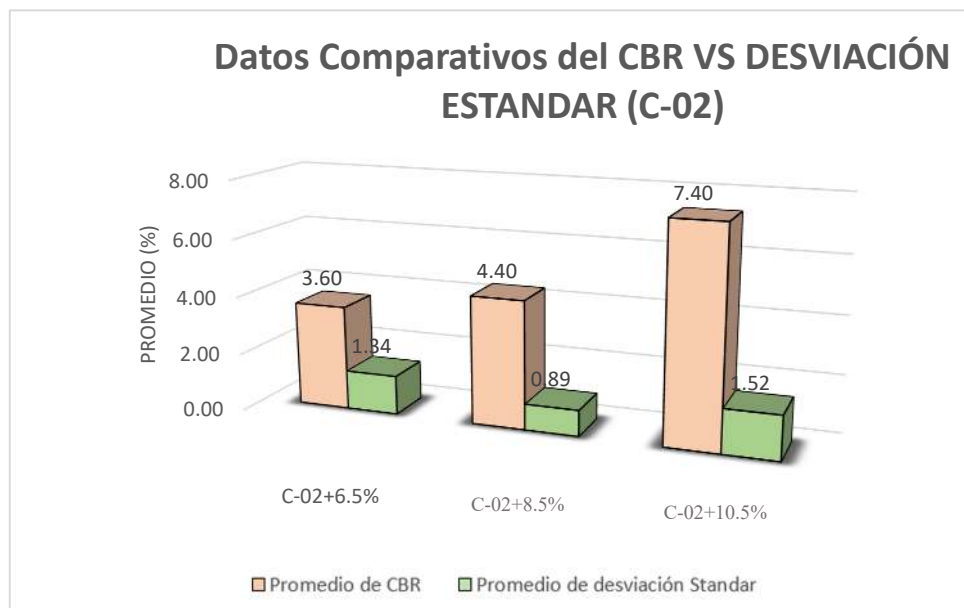


Ilustración 63: Comparativa de CBR y Desv. Estándar C-02.

CALICATA N°03

Se visualiza los datos obtenidos con las tres adiciones (6.5%, 8.5% y 10.5%).

| CALICATA | | MDS 6.5% | OCH 6.5% | CBR AL 95% |
|----------|---------|----------|----------|------------|
| | | MDS 6.5% | | |
| C-03 | C-03-01 | 1.737 | 10.50 | 3.00 |
| | C-03-02 | 1.737 | 10.50 | 5.00 |
| | C-03-03 | 1.737 | 10.50 | 5.00 |
| | C-03-04 | 1.737 | 10.50 | 5.00 |
| | C-03-05 | 1.737 | 10.50 | 4.00 |

Tabla 41: Resumen de CBR con 6.5% de silicato de sodio C-03.

| CALICATA | | MDS 8.5% | OCH 8.5% | CBR AL 95% |
|----------|---------|----------|----------|------------|
| | | MDS 8.5% | | |
| C-03 | C-03-01 | 1.761 | 10.30 | 4.00 |
| | C-03-02 | 1.761 | 10.30 | 4.00 |
| | C-03-03 | 1.761 | 10.30 | 5.00 |
| | C-03-04 | 1.761 | 10.30 | 4.00 |
| | C-03-05 | 1.761 | 10.30 | 4.00 |

Tabla 42: Resumen de CBR con 8.5% de silicato de sodio C-03.

| CALICATA | | MDS 10.5% | OCH 10.5% | CBR AL 95% |
|----------|---------|-----------|-----------|------------|
| | | MDS 10.5% | | |
| C-03 | C-03-01 | 1.871 | 11.10 | 22.00 |
| | C-03-02 | 1.871 | 11.10 | 11.00 |
| | C-03-03 | 1.871 | 11.10 | 13.00 |
| | C-03-04 | 1.871 | 11.10 | 12.00 |
| | C-03-05 | 1.871 | 11.10 | 12.00 |

Tabla 43: Resumen de CBR con 10.5% de silicato de sodio C-03.

Como se desarrolló 05 rondas de CBR por cada calicata con su respectiva adición, vamos a sacar el promedio del CBR al 95% y obteniendo su Desviación Estándar CBR al 95%.

| UBICACIÓN | CALICATA | PORCENTAJE DE ADICIÓN | MDS | OCH | CBR PROMEDIO AL 95% | DESVIACION ESTANDAR DEL CBR AL 95% |
|-----------------------------|----------|-----------------------|-------|-------|---------------------|------------------------------------|
| Av. México y Ca. San Felipe | C-03 | 6.5% | 1.737 | 10.50 | 4.40 | 0.89 |
| | | 8.5% | 1.761 | 10.30 | 4.20 | 0.45 |
| | | 10.5% | 1.871 | 11.10 | 14.00 | 4.53 |

Tabla 44: Promedio de CBR con adiciones de silicato de sodio C-03.

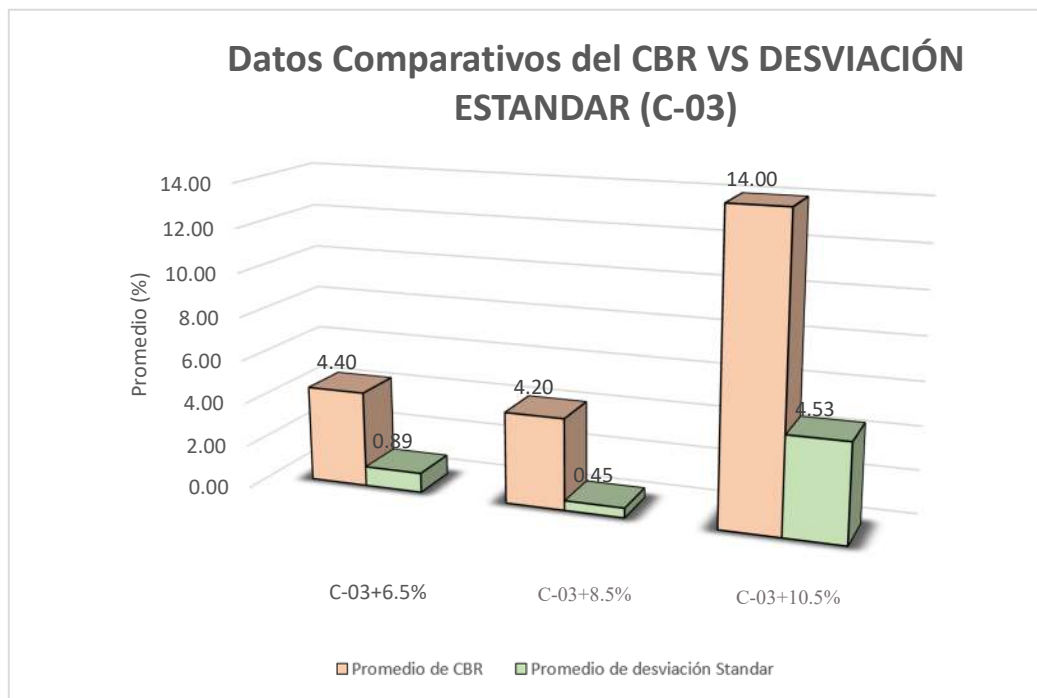


Ilustración 64: Comparativa de CBR y Desv. Estándar C-03.

ANÁLISIS ECONÓMICO

Para esta investigación, se llevó a cabo un análisis económico de los agentes estabilizadores más comunes utilizados en el mercado, como el cemento y la cal. En esta evaluación económica, se consideraron diversos parámetros, incluyendo el costo comercial de los agentes estabilizadores, y se calculó la cantidad necesaria de estabilizador de silicato de sodio según nuestro porcentaje óptimo de adición, que en este caso es del 10.50%.

Es por eso que se va a realizar el cálculo de la muestra del suelo y los agentes estabilizadores:

- Teniendo como datos generales para el agente estabilizador cemento se usará un % óptimo de adición del 9.00%, observamos los datos a considerar en la Tabla N°46.

| DATOS | | |
|---------------------------|---------|-------------------|
| ÁREA | 1.00 | m ² |
| ESPESOR | 0.20 | m |
| PESO ESPECIFICO DEL SUELO | 1800.00 | kg/m ³ |
| % OPTIMO DE ADICIÓN | 9.00% | % |

Tabla 45: Datos para el agente estabilizador (cemento).

PESO HÚMEDO = Volumen x Peso específico del suelo

PESO HÚMEDO = $1\text{m}^2 \cdot 0.2\text{m} \cdot 1800\text{kg/m}^3$

PESO HÚMEDO = 360 kg

CANTIDAD DE CEMENTO = Peso Húmedo*9%

CANTIDAD DE CEMENTO = **32.40 kg**

BOLSA DE CEMENTO = **42.50 kg**

CANTIDAD = $32.40/42.50$

CANTIDAD = 0.76

| CANTIDAD DE PRECIOS UNITARIOS MATERIAL DE CONSTRUCCION ASIENTE EN PRELACIONES (CAL) | | | | | | |
|--|----------------|--------|----------|--------------------------------|-------|----------|
| Condición | CONDICION | ED. | | Costo Unitario directo por mt. | | 27 57.75 |
| Descripción Material | | Medida | Cantidad | Cantidad | P.U. | Total |
| | PLAZO DE OBRAS | | | | | 24.15 |
| OPORTUNO | | lt | 1.00 | 0.215 | 37.71 | 8.10 |
| PREZ | | lt | 0.15 | 0.215 | 38.71 | 6.81 |
| | | | | | | 14.78 |
| | INTERVENIENDO | | | | | 14.78 |
| CAL | | mt | 1.00 | 1.00 | 38.14 | 38.14 |
| AGUA | | mt | 0.002 | 0.002 | 21.15 | 0.04 |
| | | | | | | 14.78 |
| | ENCARGOS | | | | | 14.78 |
| RECONSTRUCCION DE LA OBRAS | | mt | 0.00 | 0.00 | 11.45 | 0.00 |
| RECONSTRUCCION DE LA OBRAS | | mt | 1.00 | 0.002 | 37.71 | 0.05 |
| RECONSTRUCCION DE LA OBRAS | | mt | 1.00 | 0.002 | 38.14 | 0.05 |
| CANTON CIBIENRA, CAL AGUA 122 MT 1300 CAL | | mt | 0.00 | 0.002 | 37.71 | 0.05 |

Tabla 48: Precio Unitario de la Cal.

- Para nuestro agente estabilizador (silicato de sodio) también se realizó un análisis de acuerdo al mejor % de adición que es 10.50% y el contenido de silicato de sodio a utilizar fue 25.62ml, relacionándolo con densidad que es 2.4gr/cm³, ahí obtenemos que se utilizará 0.061 de cantidad de silicato de sodio. Ahora se visualiza los datos en la Tabla N°50.

$$= 2.4 \frac{gr}{cm^3} * 25.62 cm^3 * \frac{1 kg}{1000 gr}$$

CANTIDAD DE SILICATO DE SODIO = 0.61488kg

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Discusión 01:

Determinar las propiedades físicas de la muestra patrón por medio de ensayos de Plasticidad, Contenido de Humedad, Tamaño de partículas y contenido de sales.

Mediante los resultados obtenidos hemos determinado sus propiedades físicas del suelo: Empezando por el *Ensayo de Plasticidad* que para la C-01 como se muestra en la Tabla N°15 el L. Líquido es 32.54%, L. Plástico es 20.05 y su IP 12.50%; para la C-02 como se muestra en la Tabla N°15 el L. Líquido es 34.52%, L. Plástico es 19.00 y su IP 15.52% y para la C-03 como se muestra en la Tabla N°15 el L. Líquido es 50.54%, L. Plástico es 21.00 y su IP 29.54%. Entonces observando en estos valores el que mayor IP cuenta es la C-03 ya que según el MTC [20] "cuando el IP es mayor a 20 es un suelo muy arcilloso , las demás calicatas también están dentro del IP medio."

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

Tabla 51: Índice de Plasticidad. Según MTC.

Se prosigue con el Contenido de Humedad de la Calicata N°01 como se muestra en la Tabla N°10 los valores del Contenido de Humedad es 22.17%; para la Calicata N°02 como se muestra en la Tabla N°11 los valores del Contenido de Humedad es 25.24% y para la Calicata N°03 como se muestra en la Tabla N°12 los valores del Contenido de Humedad es 22.05%. Siguiendo con el Ensayo para Tamaño de Partículas para la Calicata N°01 según el análisis granulométrico se determinó que el suelo está categorizado como CL (Arcilla de baja plasticidad con arena), según SUCS; pero según AASHTO es A(6)8; para la Calicata N°02 según el análisis granulométrico se determinó que el suelo está categorizado como CL (Arcilla de baja plasticidad con arena), según SUCS; pero según AASHTO es A(6)10 y para la Calicata N°03 según el análisis granulométrico se determinó que el suelo está categorizado como CH (Arcilla de alta plasticidad con arena), según SUCS; pero según AASHTO es A(7-6)18. Entonces en referencia a las gráficas N°34,35 y 36 se aprecia que la porción de muestra que pasa la malla N° 200 es superior al 70% , es por ello que se dice que su composición es de finos . es decir limos y arcillas en su mayoría con un poco de arena. Y

por último el Contenido de Sales de los resultados obtenidos las sales solubles totales en el Peso Seco, de la C-01 es 1.75%; C-02 es 7.50% y C-03 es 8.56% Entonces sabemos que su contenido de sales disueltas está en el rango de 1° y 9%.

Discusión 02:

Realizar las propiedades físicas de la muestra experimental con los Límites de Atterberg con los porcentajes de 6.5% - 8.5% -10.5% de silicato sódico.

Para Álvarez y Rojas [15] en su investigación utiliza el 3% de silicato de sodio y ahí se observó que tuvo una reducción notable en la plasticidad ya que su mejor efecto en los límites líquido, plástico e IP fue 27%, 26%, 83.3% respectivamente. Para ello realizaron ensayos con muestra patrón obteniendo la no presencia de IP, luego se le adiciono el 6% de silicato de sodio en donde no presenta IP, 6.5% tampoco presenta y 7% no presenta. Estos datos no hubo variación en su IP.

En comparación con nuestros ensayos tenemos que los valores de IP de cada calicata con sus 03 adiciones varía en su totalidad puesto que al adicionarle el 6.5% el IP es 31.30%, 8.5% el IP es 16.91% y 10.5% el IP es 11.63% de la Calicata N°01 estos resultados comparándolos con la Calicata Patrón 01 que se obtuvo 12.50% se puede ver que se ha aumentado en sus tres adiciones y a su vez que mientras aumente el porcentaje de silicato de sodio va a disminuir su índice de plasticidad. En la Calicata N°02 con el 6.5% el IP es 22.28%, 8.5% el IP es 15.61% y 10.5% el IP es 17.83% entonces estos resultados comparándolos con la Calicata Patrón 02 que se obtuvo 15.52% se puede ver que ha aumentado en sus tres adiciones. Y finalmente en la Calicata N°03 con 6.5% el IP es 29.18%, 8.5% el IP es 26.97% y 10.5% el IP es 13.31% entonces comparándolos con la Calicata Patrón 03 que se obtuvo 29.54% se puede ver que ha disminuido en sus tres adiciones y a su vez que mientras aumente el porcentaje de silicato de sodio va a disminuir su índice de plasticidad.

En general se puede apreciar que mientras mayor sea el porcentaje de silicato de sodio el índice de plasticidad va tender a bajar y se observa que hay una tendencia entre 8.5% y 10.5 % tiene a estar en promedio sus valores de IP.

Discusión 03:

Determinar el porcentaje óptimo de humedad y su máxima densidad seca de la muestra patrón, así como de la muestra experimental con la adición del silicato de sodio con porcentajes 6.5% - 8.5% - 10.5 % por medio del Ensayo Proctor Modificado).

Según los antecedentes Aguilar y Cárdenas [11] menciona que la presencia del silicato del sodio en sus porcentajes (4%, 6%, 8% y 10%) alteran la M.D.S donde se aumenta de acuerdo a sus dosificaciones (1.853, 1.870, 1.893, 1.916 gr/cm³ respectivamente) y en el O.C.H varia de manera mínima puesto que se usa como reemplazo de agua en los porcentajes del aditivo (8.4, 8.6, 8.3, 8.1 % respectivamente).

Luego de realizar nuestros obtenemos como valores mostrados en la Tabla N°25 de la muestra patrón de la C-01 se obtiene O.C.H 11.50% y su M.D.S 1.860g/cm³; C-02 se obtiene O.C.H 13.50% y su M.D.S 1.832g/cm³ y en la C-03 obtenemos O.C.H 11.05% y su M.D.S 1.848 g/cm³. Y en nuestra muestra experimental de la C-01 más sus adiciones (6.5%, 8.5% y 10.5%) se obtiene en M.D.S (1.735, 1.865 y 1.770 gr/cm³) respectivamente y el O.C.H (12.60, 13.59, 10.89%). Esto quiere decir que la presencia del agente estabilizador hace que se altere un poco su máxima densidad seca aumentando en la adición de 8.5% pero de manera mínima entonces esto hará que se tenga mejor resistencia y cohesión, pero en la parte de contenido de humedad hace que aumente sus valores, afectando al suelo ya que al añadirle más agua al suelo arcilloso este perdería su resistencia. En nuestra C-02 de igual forma su M.D.S (1.772, 1.782, 1.766 gr/cm³) y O.C.H (11.50, 9.80, 10.80%) respectivamente. Entonces la presencia del agente estabilizador hace que se altere su máxima densidad seca aumentando en la adición de 8.5% entonces esto hará que se tenga mejor resistencia y cohesión, pero en la parte de contenido de humedad hace que aumente sus valores, afectando al suelo ya que al añadirle más agua al suelo arcilloso este perdería su resistencia. Por último, en la C-03 tenemos su M.D.S (1.737, 1.761, 1.871 gr/cm³) y O.C. H (10.50, 10.30, 11.10%) La presencia del agente estabilizador hace que se altere su máxima densidad seca aumentando en la adición de 10.5% esto hará que se tenga mejor resistencia y cohesión, pero en la parte de contenido de humedad hace que aumente sus valores, afectando al suelo ya que al añadirle más agua al suelo arcilloso este perdería su resistencia.

Entonces observamos que en el suelo patrón de las tres calicatas sin silicato de sodio el resultado obtenido fue 1.860 gr/cm³ y si hacemos una comparación con sus porcentajes vemos que el mejor resultado es el de 10.50% el cual incremento a 1.871 gr/cm³ y con el antecedente vemos que los resultados son favorables ya que también aumento de 1.838 a 1.916 en su 10% de silicato de sodio.

Discusión 04:

Evaluar los valores de CBR de la muestra patrón y también de la muestra experimental con la adición de silicato sódico con porcentajes 6.5% - 8.5% - 10.5%).

Según Neeladharan [5] en su investigación agrego (2.5, 5, 7.5 y 10%) de silicato de sodio a su muestra patrón en el cual presentó en su ensayo de CBR (1.51%) y con el silicato de sodio (3.86, 7.03, 11.83 y 16.24% respectivamente) y mejor resultado con 10% de silicato de sodio es 16.24%.

Ahora en nuestros ensayos para obtener los valores de CBR al 95% en nuestra muestra patrón de la C-01, C-02 y C-03 tenemos M.D.S (2, 3 y 2%) respectivamente. Y en nuestra muestra experimental tenemos en las 03 calicatas más sus adiciones (6.5, 8.5 y 10.5%), empezando por la C-01 tenemos M.D.S (2.80, 3.00 y 5.60%) vemos que en esta calicata al añadirle las adiciones van a aumentar y su mejor resultado fue 10.50% quien incremento a 5.60% y según el MTC [20] es una subrasante insuficiente. Para la C-02 su M.D.S (3.60, 4.40 y 7.40%) acá también observamos que pasa de 3% a 7.40% obteniendo el mejor resultado con el porcentaje de adición de 10.50% de silicato de sodio entonces tenemos que es una subrasante regular. Y finalmente para la C-03 tenemos su M.D.S (4.40, 4.20 y 14.00%) aquí también el porcentaje óptimo sería 10.50% de silicato de sodio ya que aumenta de 2% a 14.00% entonces vemos que es una subrasante buena según la MTC ya que es mayor a 10.00%.

En esta imagen podemos corroborar las categorías de la subrasante de acuerdo a sus valores obtenidos de CBR.

| Categorías de Subrasante | CBR |
|--|--------------------------|
| A ₁ : Subrasante Insuficiente | CBR < 2% |
| A ₂ : Subrasante Insuficiente | De CBR ≥ 2% A CBR < 6% |
| A ₃ : Subrasante Regular | De CBR ≥ 6% A CBR < 10% |
| A ₄ : Subrasante Buena | De CBR ≥ 10% A CBR < 30% |
| A ₅ : Subrasante Muy Buena | De CBR ≥ 30% A CBR < 40% |
| A ₆ : Subrasante Excelente | CBR ≥ 40% |

Tabla 52: Categorías de subrasante. Según la MTC. [20]

Entonces finalmente tenemos que el mejor porcentaje de adición de silicato de sodio es 10.50 puesto que hace que aumente el CBR a 14.00% y así obteniendo una subrasante buena. Comparándolo con el antecedente que su óptimo porcentaje de adición de silicato de sodio fue 10.00% puesto que aumento de 1.51% a 16.24%.

Discusión 05:

Determinar el porcentaje óptimo de la muestra experimental con la adición del silicato sódico.

En este cuadro podemos observar los resultados obtenidos de acuerdo a nuestras calicatas patrón y a su vez con los diferentes porcentajes de silicato de sodio.

| CUADRO DE RESUMEN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MUESTRA CON ADICIÓN | | | | | | | |
|--|------------|--------|--------|--------|------------|-------|---------------------|
| CALICATA | MUESTRA | LL | LP | IP | MDS gr/cm3 | OCH % | CBR PROMEDIO AL 95% |
| C-01 | PATRÓN | 32.54% | 20.05% | 12.49% | 1.860 | 11.50 | 2.00 |
| | C1 + 6.5% | 31.30% | 16.91% | 14.39% | 1.735 | 12.60 | 2.80 |
| | C1 + 8.5% | 33.20% | 12.56% | 20.64% | 1.865 | 13.59 | 3.00 |
| | C1 + 10.5% | 33.23% | 21.60% | 11.63% | 1.770 | 10.89 | 5.60 |
| C-02 | PATRÓN | 34.52% | 19.00% | 15.52% | 1.832 | 13.50 | 3.00 |
| | C2 + 6.5% | 33.30% | 11.02% | 22.28% | 1.772 | 11.50 | 3.60 |
| | C2 + 8.5% | 34.31% | 18.70% | 15.61% | 1.782 | 9.80 | 4.40 |
| | C2 + 10.5% | 33.97% | 16.14% | 17.83% | 1.766 | 10.80 | 7.40 |
| C-03 | PATRÓN | 50.54% | 21.00% | 29.54% | 1.848 | 11.05 | 2.00 |
| | C3 + 6.5% | 50.30% | 21.12% | 29.18% | 1.737 | 10.50 | 4.40 |
| | C3 + 8.5% | 50.95% | 23.98% | 26.97% | 1.761 | 10.30 | 4.20 |
| | C3 + 10.5% | 22.48% | 9.71% | 12.77% | 1.871 | 11.10 | 14.00 |

Tabla 53: Resultados de muestra patrón y experimental. Elaboración Propia.

En cuanto a la Tabla N°49 podemos determinar que el porcentaje óptimo de la muestra experimental fue 10.50% de silicato de sodio ya que si observamos por cada calicata vemos que su mejor resultado fue en ese porcentaje aumentando en su CBR , donde comparando el valor de la C-03 de la muestra patrón que es 2.00% con el de la adición que fue 14.00% podemos ver que ha superado 7 veces mas el valor de la muestra patrón y eso hace que se tenga mejores resultados en la subrasante y también como agente estabilizador.

También se puede decir que para la C-01 y C-02 se tiene valores óptimos puesto que se observa que su CBR va en aumento.

Discusión 06:

Analizar el costo y beneficio entre el uso de silicato de sodio y los agentes estabilizadores convencionales en la estabilización de suelos.

De acuerdo al desarrollo de nuestros resultados se observa en la Tabla N°51 que la estabilización con cal es la más costosa con S/. 97.76 y la más económica es el silicato de sodio con S/. 35.10, aún sabiendo que la cal ofrece grandes resultados en mejora de plasticidad y resistencia del suelo, su alto costo y tiempo de reacción hace que esto sea una desventaja. En relación con el silicato de sodio siendo el más económico este ofrece una rápida mejora en la resistencia y de fácil aplicación hace que este estabilizador sea mas llamativo para los proyectos en relación al tiempo y presupuesto.

Conclusiones

Se determina que el análisis realizado con la adición de silicato de sodio influye en la mejora de las propiedades físico - mecánicas de las subrasantes arcillosas. A medida que se incrementa el porcentaje de silicato de sodio utilizado como agente estabilizador, se observan mejoras en propiedades clave del suelo, tales como la densidad seca máxima y el Índice de Capacidad de Soporte (CBR).

Se concluye que al realizar los ensayos para determinar las propiedades físicas de la muestra patrón en el ensayo de Plasticidad se observa que la C-03 tiene el mayor IP indicando que es un suelo muy arcilloso según la clasificación del MTC, en el contenido de humedad son relativamente similares entre las tres calicatas, para su tamaño de partículas tenemos que es un suelo de tipo CL según SUCS en la C-01 y C-02; en la C-03 es un suelo de tipo CH, entonces podemos ver que estos ensayos hacen que se identifique sus variaciones entre calicatas y que predomine los suelos arcillosos.

Al analizar las propiedades físicas con los Límites de Atterberg de la muestra experimental con las tres adiciones se observa que a medida aumenta el porcentaje de silicato de sodio su índice de plasticidad va a disminuir, así haya variaciones en sus IP, su tendencia sigue entre el 8.50% y 10.50% de silicato de sodio mostrando que estos porcentajes pueden ser los más óptimos para la modificación de las propiedades del suelo.

En nuestra investigación el uso de silicato de sodio como agente estabilizador con los porcentajes de 8.50% y 10.50% hace que mejore la densidad seca máxima del suelo y con notable incremento en la resistencia y su cohesión, así también se considera tener un buen manejo del contenido de humedad para así evitar la disminución de la resistencia del suelo ya que nuestro suelo es sumamente arcilloso y esto haría que sean más susceptibles con la pérdida de resistencia.

En conclusión, a los valores del CBR tanto como la muestra patrón y experimental con la adición del silicato de sodio hace que tenga un aumento en la resistencia de la subrasante, y se observa que el porcentaje óptimo es 10.50% y este demuestra que según la categorización del MTC la subrasante se consideraría como buena, entonces se confirma que el silicato de sodio como estabilizador hace que mejore las propiedades mecánicas del suelo.

De acuerdo al análisis de costo y beneficio entre el uso del silicato de sodio y los dos agentes estabilizadores a considerar como el cemento y la cal, se revelo que la cal si proporciona mejoras en sus propiedades de plasticidad y resistencia pero su costo es el más elevado esto haría que a futuro sea una desventaja, en cambio el silicato de sodio siendo la mejor opción de forma económica, este también ofrece una mejora en sus resistencia y en su aplicación, considerándolo como un estabilizador viable y efectivo en relación a los agentes estabilizadores convencionales.

Recomendaciones

Se recomienda que si queremos llegar a diferentes suelos se haga una investigación mas detallada de los efectos del silicato de sodio para que así variando sus porcentajes se pueda observar si tiene alguna variabilidad a largo plazo y así también verificar su impacto en el desarrollo y posibles mejoras en el resto de aplicaciones de la ingeniería geotécnica.

Se recomienda que de acuerdo al porcentaje optimo del silicato de sodio, se aplique a proyectos futuros para mejorar la resistencia de la subrasante del suelo, así como lo indica la MTC de acuerdo a su categorización, y también asegurarse de realizar mas estudios para la mejora de las propiedades mecánicas en tales aplicaciones.

Se recomienda que, de acuerdo a los resultados óptimos del silicato de sodio como un agente estabilizador del suelo, se verifique su contenido de humedad con relación a la densidad ya que estos tendrían indicios de una posible perdida en la resistencia del suelo, y al mantener su equilibrio adecuado entre ellos haría que esto alcanza mejores resultados y una efectividad de estabilización.

Se recomienda en relación al costo y beneficio que se investigue a largo plazo el costo del silicato de sodio en relación a su durabilidad y su sostenibilidad, así como realizar estudios en campo para otros tipos de suelo y que se evalué su desempeño.

Referencias

- [1] S. Vizcarra Arapa y I. L. Lujan Cabrera, Lima, 2021.
- [2] I. N. d. D. Civil, «Plan de Prevención ante Desastres: Usos del Suelo y Medidas de Mitigación,» 2003.
- [3] I. D. L. Durán y J. Alva Hurtado, «Zonificación geotécnica de la ciudad de Chiclayo,» Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 1992.
- [4] A. H. Al-Rkaby, «Geotechnical characterization of sustainable geopolymer improved soil,» *Mechanical Behavior of Materials*, 14 Julio 2022.
- [5] R. I. d. T. d. I. A. e. I. y. Tecnología, vol. 5, nº 5, p. 6, Marzo 2018.
- [6] T. E. o. s. s. o. S. o. organicsoil, *Turkish Journal of computer and Mathematics Education*, vol. 12, nº 14, 05 Febrero 2021.
- [7] P. M. R. Nitin Mane, «Stabilization of Black Cotton Soil by Using Red Mud and Sodium Silicate,» *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, 2017.
- [8] B. B. K. H. S. K. y. S. D. Hossein Moayedi, «Stabilization of organic soil using sodium silicate,» *International Journal of Physical Sciences*, vol. 7, nº 9, 23 Febrero 2012.
- [9] A. P. B. B. K. H. J. B. B. T. A. M. ., F. N. A. A. S. Kazemian, «Effect of aggressive pH media on peat treated by cement and,» 2011.
- [10] T. A. D. B. N. K. Y. S. Pramod Kilabanur, «Stabilization of Black Cotton Soil Using Envirobase and Sodium Silicate With Lime,» *International Journal Of Scientific - Technology Research*, vol. 4, nº 6, 06 Junio 2015.
- [11] A. Aguilar Zambrano y P. A. Cardenas Diego, «Estabilización de suelos arenosos mediante la adición de silicato de sodio en la subrasante de la alameda sur de Chorrillos,» Lima, 2023.
- [12] C. L. A. Daniel, «“SILICATO DE SODIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EN LA TROCHA LA MENTA Km 00+000 - GARABATO Km 1+430 DISTRITO DE LAS LOMAS-PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE PIURA”,» Piura, 2021.
- [13] F. A. Carranza Cortez y A. Tasilla López, «Incorporación de fibra de carrizo y silicato sódico para mejorar la subrasante de Av. El Sol de Naranjal, Lima 2022,» 2022.
- [14] J. A. Bonifaz Moreno y R. E. Gamarra Sosa, «Comparación del silicato de sodio y cemento para la estabilización de la subrasante en la avenida los profesionales, ventanilla 2022,» 2022.
- [15] B. D. Á. Pizco y L. F. R. Ochoa, «COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN CON CAL, CEMENTO, SILICATO DE SODIO Y ACEITE SULFONADO PARA VÍAS Terciarias con presencia de arcilla en la región de la Orinoquía,» 2020.
- [16] C. Villalaz, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, 5 ed., México, 2004.
- [17] B. M. DAS, *Fundamentos de ingeniería geotécnica*, vol. 4, 2001.
- [18] «CE.020 Suelos y Taludes DS N° 017-2012,» 2016.
- [19] C. Galindo Torres y A. M. Erick, «ANÁLISIS TÉCNICO DEL USO DE SILICATO DE SODIO PARA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS,» Bogotá, 2016.
- [20] M. d. T. y. Comunicaciones, «Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos».

- [21] C. H. H. Sandoval, J. C. G. Cristancho y O. E. P. Naranjo, «Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio,» 32 ed., 2012.
- [22] M.Kermani, «Evaluation of the effect of sodium silicate addition to mine backfill, Gelfill L Part 1,» *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, p. 07, 2015.
- [23] M. d. T. y. Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016.
- [24] M. B. Suárez, Metodología de Investigación Científica para Ingeniería Civil, Chiclayo, 2016.
- [25] P. Javadzaden, «The Effects of Sodium silicate on Stabilization of Organicsoil,» *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, vol. 12, nº 14, 05 Febrero 2021.
- [26] P. Q. I. S.A, «Ficha Técnica Silicato de Sodio 2.0,» 2017.

Anexos

ANEXO 01: PANEL FOTOGRÁFICO



Se esta realizando el peso de las muestras.



En proceso del Ensayo de Proctor Modificado.



En proceso de la mezcla del suelo con el silicato de sodio.



Ensayo de CBR.



En proceso del Ensayo de CBR.



Enrasando los moldes de CBR.



Enrasando los moldes de Proctor.



Calculo del peso del Proctor.

ANEXO 02: ENSAYO DE ANALISIS DE MUESTRA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189



REPORTE DE MEDICION Y ANALISIS DE MUESTRA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

| | |
|--|---|
| SOLICITANTE | JULISSA NATALY OLANO TUME |
| TESIS | ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL SILICATO SÓDICO EN PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUBSTRANTES ARCILLOSAS DE DIFERENTE PLASTICIDAD. |
| MUESTRA | SILICATO DE SODIO |
| FECHA | 28 DE AGOSTO DEL 2023 |
| MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO | |

MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO

1. CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES

CONDICIONES DE LA MEDICION:

El análisis se realizó en un espectrómetro de fluorescencia total de rayos x marca

BRUKER, MODELO S2-PICOFOX.

Fuente de rayos x: tubo de Mo.

Tiempo de medida: 2000 segundos.

ESTANDAR INTERNACIONAL PARA

CUANTIFICACION: Elemento: Galio (Ga)

Concentración: g/l.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Se analizó 30 mg de la muestra de SILICATO DE SODIO, la cual fue tamizada previamente a malla 200.

3. METODO

- BASADO EN LA NORMA ASTM C25
- VOLUMETRIA : USAQ-ME06

JEFE DE LABORATORIO

ING. CARLOS VALQUI MENDOZA

ANALISTA RESPONSABLE

ING. CARLOS VALQUI MENDOZA

AGUAS- SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusa@gmail.com



LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC: 20605355189



4. RESULTADOS

| COMPOSICION QUIMICA | RESULTADOS (%) | METODO UTILIZADO |
|--|----------------|--|
| DIOXIDO DE SILICIO (Si O ₂) | 30.17 | Espectrometría de fluorescencia de rayos x |
| OXIDO DE SODIO (Na ₂ O) | 8.91 | |
| CONTENIDO DE AGUA Y SÓLIDOS | 35.47 | |
| OXIDO DE CALCIO (Ca O) | 1.19 | |
| TRIOXIDO DE ALUMINIO (Al ₂ O ₃) | 0.05 | |
| TRIOXIDO DE HIERRO (Fe ₂ O ₃) | 0.09 | |
| OXIDO DE POTASIO (K ₂ O) | 0.043 | |
| OXIDO DE MAGNESIO (Mg O) | 1.06 | |
| PENTOXIDO DE FOSFORO (P ₂ O ₅) | 0.017 | |
| OXIDO DE COBRE (Cu O) | <0.01 | |
| TRIOXIDO DE AZUFRE (SO ₃) | <0.01 | |
| OXIDO DE ZINC (Zn O) | 0.012 | |
| OXIDO DE MANGANESO (Mn O) | <0.01 | |
| PÉRDIDA POR QUEMADO | 22.98 | |

5. CONCLUSION

- Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del sodio, se encontraron principalmente Silicio (Si), Sodio (Na) y contenido de agua y partículas con un alto porcentaje. Y en menores porcentajes se encontró Calcio (Ca), Aluminio (Al), Potasio (K), hierro (Fe), fósforo (P), magnesio (Mg) y zinc (Zn), con rastros de manganeso (Mn), cobre (Cu), y azufre (S).

TRUJILLO, 04 DE SETIEMBRE DEL 2023



Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

ANEXO 03: ENSAYOS DE LABORATORIO