



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estabilización de suelos de la subrasante de la av. Luzuriaga
utilizando cal y ceniza de madera, Carhuaz, Ancash, 2023.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Pocoy Ramirez, Jhonatan Gabriel (orcid.org/0009-0002-4774-0316)

ASESOR:

Mg. Olarte Pinares, Jorge Richard (orcid.org/0000-0001-5699-1323)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

HUARAZ - PERÚ

2024

Dedicatoria

Con cariño para mis padres: Luzmila y Gabriel por el apoyo incondicional y sacrificio en mi formación profesional, a mis hermanas (os): Edgar, Roció, Mirian, Elizabeth, Lizeth, por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso de mi formación, y en especial para mi pequeño hijo Andrés cuyo amor y cariño han sido la mayor bendición en mi vida, le dedico esta tesis con la esperanza de que siempre siga adelante y luche por sus sueños.

Agradecimiento

Al Mg. Olarte Pinares, Jorge Richard, por su asesoramiento y apoyo en la realización del presente trabajo de investigación, a las autoridades de la Av. Luzuriaga, a mi gran amigo Ronald por el apoyo en la realización de la presente tesis.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, OLARTE PINARES JORGE RICHARD, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - HUARAZ, asesor de Tesis titulada: "Estabilización de Suelos de la Subrasante de la Av. Luzuriaga utilizando Cal y Ceniza de Madera, Carhuaz, Ancash, 2023.", cuyo autor es POCOY RAMIREZ JHONATAN GABRIEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 20.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

HUARAZ, 18 de Marzo del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
JORGE RICHARD OLARTE PINARES DNI: 40752422 ORCID: 0000-0001-5699-1323	Firmado electrónicamente por: JOLARTEP el 18-03- 2024 10:46:21

Código documento Trilce: TRI - 0740438



Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, POCOY RAMIREZ JHONATAN GABRIEL estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - HUARAZ, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Estabilización de Suelos de la Subrasante de la Av. Luzuriaga utilizando Cal y Ceniza de Madera, Carhuaz, Ancash, 2023.", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ DNI: 70769247 ORCID: 0009-0002-4774-0316	Firmado electrónicamente por: JGPOCOY el 18-03- 2024 18:18:37

Código documento Trilce: TRI - 0740439

Índice de Contenido

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor	iv
Declaratoria de Originalidad del Autor	v
Índice de Contenido	vi
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	31
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	31
3.2. Variables y operacionalización	32
3.3. Población, muestra y muestro	33
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	35
3.5. Procedimientos.....	36
3.6. Método de análisis de datos.....	58
3.7. Aspectos éticos.....	58
IV. RESULTADOS	59
V. DISCUSIÓN	79
VI. CONCLUSIONES	83
VII. RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS	88
ANEXOS	95

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades químicas de la ceniza de madera.	17
Tabla 2. Componentes químicos de ceniza de madera.	18
Tabla 3. Coeficiente para límite líquido (K).	21
Tabla 4. Clasificación de suelos según el índice de plasticidad.	22
Tabla 5. Propiedades de la piedra triturada.	25
Tabla 6: Clasificación de la subrasante de acuerdo al CBR.	26
Tabla 7. Dimensiones mínimas recomendadas para la capa superficial y base granular.	30
Tabla 8. Caracterización de la muestra patrón.	49
Tabla 9., Resumen de clasificación Vehicular.	52
Tabla 10. Tráfico medio diario.	54
Tabla 11. Valores del índice medio diario.	55
Tabla 12. Valores del índice de plasticidad.	61
Tabla 13. Valores de CBR.	64
Tabla 14. CBRP para espesores de estabilización de 0.50, 0.70 y 0.90m.	67
Tabla 15. Parámetros de diseño empleados CBRP (4%CA + 4%CM).	70
Tabla 16. Parámetros de diseño empleados CBRP (4%CA + 8%CM).	71
Tabla 17. Parámetros de diseño empleados CBRP (4%CA + 12%CM).	72
Tabla 18. Resumen de espesores del pavimento flexible.	74
Tabla 19. Prueba de normalidad para el índice plástico.	74
Tabla 20. Prueba de normalidad para la resistencia.	75
Tabla 21. Prueba de normalidad para el espesor de estabilización.	75
Tabla 22. Prueba de hipótesis para la variable índice plástico.	76
Tabla 23. Prueba de hipótesis para la variable resistencia.	77
Tabla 24. Prueba de hipótesis para la variable espesor de estabilización.	78

Índice de Figuras

Figura 1. Equipo manual para ensayo de Limite Liquido (24 pág. 69).	21
Figura 2. Gráfico de curva de compactación (24 pág. 118).....	23
Figura 3. Molde cilíndrico de 6" (24 pág. 117).	24
Figura 4. Equipos para el ensayo de Proctor Modificado (24 pág. 249).	25
Figura 5. Característica típica de pavimento rígido y flexible (39).	28
Figura 6. Característica típica de pavimento semirrígido (40)	28
Figura 7. Delimitación del área de estudio Av. Luzuriaga.	36
Figura 8. Muestra de la calicata N°01, Av. Luzuriaga en la progresiva Km 3+200.00.	37
Figura 9. Muestra de la calicata N°02, Av. Luzuriaga en la progresiva Km 2+350.00.	37
Figura 10. Muestra de la calicata N°03, Av. Luzuriaga Km: 1+750.00	38
Figura 11. Cal viva (oxido de calcio)	38
Figura 12. Muestra de Cal, en la empresa M & CALERA SANTA S.A.C	39
Figura 13. Muestra de Ceniza de Madera, en la panadería Rosita.	39
Figura 14. Ceniza de madera (CM).	40
Figura 15. Curva Granulometría de la muestra Patrón.....	41
Figura 16. Ensayo de Limite Liquido.	42
Figura 17. Ensayo de Limite Plástico.	43
Figura 18. Peso de muestra de suelos 2500gr.....	44
Figura 19. Curva de Compactación y curva de saturación (57).....	44
Figura 20. Ensayo de Proctor Modificado, compactación de la muestra dosificada en 5 capas dando 25 golpes por capa.....	45
Figura 21. Ensayo de Proctor Modificado, registro del peso de molde más suelo compactado.	45
Figura 22. Ensayo de California Bearing Ratio (CBR), compactación de la muestra dosificada en 5 capas dando 56, 25 y 12 golpes por capa.....	46
Figura 23. Ensayo de CBR, peso de molde más la muestra compactada sin sumergir.	47
Figura 24. Ensayo de CBR, se sumerge en agua los moldes durante 96 horas. .	47
Figura 25. Ensayo de CBR, se sumerge en agua la probeta durante 96 horas. .	48
Figura 26. Ensayo de CBR, ensayo de penetración.....	48

Figura 27. Muestra patrón dosificada con 4% CA + 4% CM.	50
Figura 28. Muestra patrón dosificada con 4%CA + 8%CM.	50
Figura 29. Muestra patrón dosificada con 4%CA + 12%CM.	51
Figura 30. Abaco para la carpeta asfáltica a ₁	56
Figura 31. Abaco para la capa granular a ₂	57
Figura 32. Abaco para capa sub-base granular a ₃	57
Figura 33. Ubicación del departamento de Ancash.	59
Figura 34. Ubicación de la provincia de Carhuaz.	59
Figura 35. Ubicación del distrito de Carhuaz.	60
Figura 36. Ubicación del área de estudio Av. Luzuriaga	60
Figura 37. Índice de plasticidad con dosificación de cal y ceniza de madera.	62
Figura 38. Índice de plasticidad con dosificación de cal.	62
Figura 39. Grafica de dispersión para la subrasante con dosificación de cal y ceniza de madera.	63
Figura 40. CBR estabilizado, con dosificación de cal y ceniza de madera.	65
Figura 41. Grafica de dispersión del CBR, subrasante con dosificación de cal.	66
Figura 42. Grafica de dispersión del CBR, subrasante con dosificación de cal y ceniza de madera.	66
Figura 43. Valores de CBRP estabilizado de la subrasante con dosificación de cal y ceniza de madera.	68
Figura 44. Grafica de dispersión del CBR, subrasante con dosificación de cal.	68
Figura 45. Grafica de dispersión del CBR, subrasante con dosificación de cal y ceniza de madera.	69
Figura 46. Estructura del pavimento flexible CBR _P (4%CA + 4%CM).	71
Figura 47. Estructura del pavimento flexible CBR _P (4%CA + 8%CM).	72
Figura 48. Estructura del pavimento flexible CBR _P (4%CA + 12%CM).	73

RESUMEN

En la presente investigación el objetivo fue estabilizar los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga utilizando cal y ceniza de madera, Carhuaz, Ancash. La metodología empleada de carácter aplicado, con orientación cuantitativa y diseño experimental, donde la población estudio incluyo a todos los suelos de subrasante desde la progresivas Km 0+000 al Km 3+200.

Los resultados evidencian que la adición de cal (CA) y ceniza de madera (CM) en 4%CA + 4%CM, 4%CA + 8%CM y 4%CA + 12%CM redujo los valores del índice plástico del 13.69 a 7.51%, 6.15% y 4.54% respectivamente, asimismo los valores de resistencia de carga aumentaron de 4.70% a 19.5%, 24.20% y 31.40% respectivamente, para un espesor de estabilización de 0.90m el valor de CBR equivalente fueron 16.12%, 19.74% y 24.53% respectivamente, superando lo mínimo establecido $\geq 6\%$ en el Manual de Carreteras del MTC. Finalmente, según el diseño del método AASHTO-93 para un rango de tráfico de tipo T_{P4} , se requieren espesores de 0.48m, 0.40m y 0.35m para la estructura del pavimento flexible. Se concluye que la incorporación de cal y ceniza de madera tiene una relación significativa en la mejora de las propiedades del suelo de la Av. Luzuriaga.

Palabras clave: Estabilización, ceniza de madera, subrasante, espesor de estabilización, CBR.

ABSTRACT

In the present investigation, the objective was to stabilize the soils of the subgrade of Av. Luzuriaga using lime and wood ash, Carhuaz, Ancash. The applied methodology used, with quantitative orientation and experimental design, where the study population included all subgrade soils from the progressive Km 0+000 to Km 3+200.

The results show that the addition of lime (CA) and wood ash (CM) in 4%CA + 4% CM, 4%CA + 8%CM and 4%CA + 12%CM reduced the plastic index values of 13.69 to 7.51%, 6.15% and 4.54% respectively, likewise the load resistance values increased from 4.70% to 19.5%, 24.20% and 31.40% respectively, for a stabilization thickness of 0.90m the equivalent CBR value was 16.12%, 19.74% and 24.53% respectively, exceeding the minimum established $\geq 6\%$ in the MTC Highway Manual. Finally, according to the AASHTO-93 method design for a TP4 type traffic range, thicknesses of 0.48m, 0.40m and 0.35m are required for the flexible pavement structure. It is concluded that the incorporation of lime and wood ash has a significant relationship in improving the soil properties of Luzuriaga Avenue.

Keywords: Stabilization, wood ash, subgrade, stabilization thickness, CBR.

I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito **internacional**, el foro económico mundial, realizó un ranking de calidad de carreteras de 141 países, donde la posición número uno ocupa Singapur con 6.5 puntos, en tal sentido, este país cuenta con la mejor red vial, luego le sigue Países Bajos 6.4, Suiza 6.3 y Hong Kong 6.1 puntos, entre otros, por otro lado, encontramos países con malas condiciones en su red vial como Haití 2.1, Congo 2.1, Yemen 2.1, Mauritania 2.0, Madagascar 2.0, y Chad con 1.9 puntos, en el caso de Perú, se sitúa en una posición 111 con una puntuación de 3.2 puntos (1). Según Adamu et al. (2), mencionan que la carretera Addis – Jimma, Etiopia, se encontraron sectores críticos con suelos arcillosos, estos suelos no califican para ser la fundación de una carretera debido a su alta plasticidad, resistencias mínimas y condiciones volumétricas cambiantes de acuerdo al contenido de humedad, tales condiciones representan una limitación significativa para la construcción pavimentos, de construirse en estas condiciones, el efecto inmediato sería la falla prematura del pavimento.

En el ámbito **nacional**, actualmente las vías de transporte en el Perú está distribuida en tres categorías, la red vial nacional de 27,108.70km, red vial departamental de 27,962.80km y la red vial vecinal 118,539.80km (3). En el país se estima que el 30% de la red vial nacional se encuentra en mal estado, especialmente las vías no pavimentadas, debido a que usualmente presentan una topografía y condiciones climatológicas que dificultan seriamente su mantenimiento (4). Según Ricardo et al. (5), revela que las carreteras de Pucallpa, ubicadas en la zona centro oriente del Perú, presentan sectores inestables con suelos finos, principalmente arcillas y limos, estos suelos limitan la construcción de carreteras. Esta condición se torna crítica durante la temporada de lluvias, ya que en esta ciudad las filtraciones de agua ocasionan la expansión de los suelos finos, generando cambios volumétricos y mayor plasticidad del suelo. Esto, combinado con las cargas vehiculares provocan deformaciones, ahuellamiento, deformaciones plásticas en la subrasante, en efecto la falla inmediata de la estructura del pavimento. Por lo que, se deben plantear soluciones geotécnicas ante esta problemática que sucede en la zona norte y nororiental del Perú.

En el ámbito **local**, la Región Ancash posee 10,758.40 kilómetros de infraestructura vial, en este contexto, la provincia de Carhuaz cuenta con 12.60 kilómetros de vía pavimentada, 352.18 kilómetros de vía no pavimentada (3). La Av. Luzuriaga se encuentra ubicada en el distrito de Carhuaz, provincia de Carhuaz, región Ancash, es una carretera de tercer orden, durante su construcción no tuvieron en cuenta que la carretera tiene sectores críticos, por lo cual mediante perforaciones se ha verificado la presencia de suelos cohesivos de tipo CL, estos suelos tienen limitaciones para la construcción de pavimentos, ya que presentan índices de plasticidad elevados, una capacidad de soporte (CBR) menor a 6%, por lo que es necesario para satisfacer las necesidades de los usuarios y beneficiar a la población, se requiere alguna solución geotécnica para mejorar la característica física y mecánica de la subrasante. Ya que es esencial para evitar que los suelos finos mantengan su comportamiento natural. En efecto, estos suelos impiden la conformación de una subrasante tal como indican las Especificaciones Generales del Manual de Carreteras del MTC, para la construcción de pavimentos.

La presente investigación plantea los siguientes problemas, como problema **general** se tiene: ¿Existe relación significativa en la Estabilización de Suelos de la Subrasante de la Av. Luzuriaga utilizando Cal y Ceniza de Madera, Carhuaz, Ancash, 2023? Asimismo, se plantean los siguientes **problemas específicos**, en primer lugar ¿Cómo influye la adición de cal y ceniza de madera en la reducción del índice plástico en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023?; en segundo lugar ¿Cómo influye la adición de cal y ceniza de madera en el incremento de la resistencia en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023?; en tercer lugar ¿Cómo influye la adición de cal y ceniza de madera en el espesor de estabilización para el incremento de la resistencia en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023; en cuarto lugar, ¿Cómo influye la adición de cal y ceniza de madera en la reducción de las dimensiones de la estructura del pavimento flexible en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023?

La **justificación teórica** de la investigación se fundamenta en generar nuevos conocimientos en relación a la estabilización de suelos con productos naturales, como es la ceniza de madera, estos productos no se encuentran incluidos como

productos comerciales convencionales en el Manual de Carreteras del MTC, esta investigación es un aporte teórico para un nuevo ámbito en la estabilización de suelos. Los porcentajes de cal y ceniza se justifican en función los antecedentes bibliográficos estudiados en la presente investigación como, por ejemplo, De la Rosa Toro y Reyes (2021) y Ikeagwuani, Obeta y Agunwamba (2019). La **justificación práctica** de la investigación aportara al ámbito de estudio una alternativa técnico-económico que pueden ser empleados en el ámbito de la investigación relacionado al mejoramiento de suelos de la subrasante empleando cal y ceniza de madera de la Av. Luzuriaga.

La **justificación social** de la investigación se basa en plantear una estrategia técnica para la estabilización de suelos, lo cual garantice una subrasante lo suficientemente rígida que evite la falla de la estructura del pavimento y pueda cumplir su periodo de diseño, lo cual va directamente en beneficio a la población. La **justificación metodológica** de la investigación se fundamenta en plantear una solución técnica económica que mejora las propiedades físicas y mecánicas de los suelos mediante una dosificación adecuada de cal y ceniza de madera.

La presente investigación tiene como **Objetivo general** estabilizar los Suelos de la Subrasante de la Av. Luzuriaga utilizando Cal y Ceniza de Madera, Carhuaz, Ancash, 2023. Por otra parte, los **objetivos específicos** son los siguientes: primero, reducir el índice plástico con la adición de cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023; segundo, determinar el incremento de la resistencia con la adición de cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023; tercero, determinar el espesor de estabilización con la adición de cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023; cuarto, determinar las dimensiones de la estructura del pavimento flexible con la adición de cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.

La presente investigación tiene como **Hipótesis general** la adición de cal y ceniza de madera mejoraría las propiedades del suelo de la subrasante, Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023; asimismo, las **hipótesis específicas** son las siguientes:

en primer lugar, la adición de cal y ceniza de madera reduciría el índice plástico en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023; en segundo lugar, la adición de cal y ceniza de madera incrementaría la resistencia de carga en los suelos de la subrasante, Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023; en tercer lugar, la adición de cal y ceniza de madera en el espesor de estabilización incrementaría la resistencia en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023; en cuarto lugar, la adición de cal y ceniza de madera reduciría las dimensiones de la estructura del pavimento flexible en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023?

II. MARCO TEÓRICO

En el **contexto nacional**, según Luyo y Tello (2022), realizaron un estudio con el **objetivo** de examinar la inclusión de cal y ceniza para estabilizar los suelos en la subrasante de la trocha carrozable AP-557 Chumbibamba; por su parte la **metodología** empleada es de carácter aplicado, con orientación mixta y diseño experimental, donde la **población** estuvo compuesta por el Centro Poblado de Chumbibamba, Talavera, Andahuaylas, Apurímac, la **muestra** se tomó en las progresivas Km 0+000.00 al Km 3+0.000.00 de la Trocha Carrozable AP-557 situada en el Centro Poblado Chumbibamba, además, el **muestreo** fue no probabilística, también conocida como muestra por conveniencia, de esta manera los **instrumentos** utilizados fueron tablas para el registro de información, herramientas y dispositivos del laboratorio; los **resultados** obtenidos para el suelo sin alterar (S), tiene un índice plástico (IP) de 21.0% y CBR (95% MDS) fue de 4.3%, luego de adicionar cal (C) y ceniza (CL) en 80%S + 18%CL + 2%C, 70%S + 28%CL + 2%C, y 60%S + 38%CL + 2%C en peso, se obtuvo valores para el IP de 11.0% y las otras dos no presentan, para el CBR (95% MDS) es de 19.2, 63.4 y 40.8% respectivamente; para **concluir** que luego de adicionar cal (C) y ceniza (CL) en 80%S + 18%CL + 2%C, 70%S + 28%CL + 2%C, y 60%S + 38%CL + 2%C en peso, el valor del IP fue de 11.0% y las otras dos no presentan, en efecto los valores del CBR (95% MDS) son 19.2, 63.4 y 40.8%, respectivamente (6).

De la Rosa Toro y Reyes (2021), el **objetivo** la investigación fue descubrir cómo la composición fundamental de Ceniza de Madera y Cal incide en la estabilización del suelo a lo largo de carretera AY-795 Pucaloma, por su parte la **metodología** empleada es de tipo aplicada, enfocándose en una configuración experimental, donde la **población** estuvo conformada por la Carretera AY - 795 Pucaloma - Marqari localizada en el distrito de Socos, Huamanga, Ayacucho, la **muestra** de suelo arcilloso se obtuvo de la Carretera AY-795 en la progresiva (Km 0+000.00 – Km 1+000.00), además, el **muestreo** se realizó de manera no probabilística, también conocida como muestra por conveniencia, de esta manera los **instrumentos** utilizados fueron fichas de registro de información, herramientas y equipos del centro de investigación; de manera que los **resultados** logrados en relación al suelo sin alterar donde la plasticidad (IP) es de 15.9%, para humedad

óptima (COH) es de 14.40%, para la densidad seca (MDS) es de 1.79gr/cm³ y CBR (95% MDS) fue de 1.90%, luego de adicionar porcentajes de cal (CA) y ceniza de madera de fondo (CMF) en 3.5%Cal + 5%CMF, 3.5%CA + 15%CMF, y 3.5%CA + 20%CMF en peso, se obtuvieron valores para el COH de 13.40, 17.40, 10.00%, para la MDS de 1.929, 1.838 y 1.877 gr/cm³ y para el CBR (95% MDS) de 21.50, 46.50 y 38.50%, respectivamente; se **concluyó** que luego de adicionar porcentajes de CA y CMF en 3.5%CA + 5%CMF, 3.5%CA + 15%CMF, y 3.5%CA + 20%CMF en peso, se obtuvieron valores para el COH de 13.40, 17.40, 10.00%, en cuanto a la MDS fueron de 1.929, 1.838 y 1.877 gr/cm³, para el CBR (95% MDS) son de 21.50, 46.50 y 38.50%, respectivamente, además el espesor de suelo estabilizado es de 0.30m con 3.5%Cal + 15%CMF (7).

En el **contexto internacional**, Ikeagwuani, Obeta y Agunwamba (2019), realizaron un estudio con el **objetivo** de examinar el desempeño de la cal y ceniza de aserrín en la estabilización de suelos de la subrasante, por su parte la **metodología** empleada se caracterizó por el diseño experimental, donde la **población** consistió en el suelo de algodón negro del Politécnico de Adamawa, Nigeria, la **muestra** se obtuvo a profundidad de 1.00 m, ubicada geográficamente en la latitud 9°29'10"N y longitud 12°02'36"E del estado de Adamawa, además, el **muestreo** se realizó de manera no probabilística, también conocida como muestra por conveniencia, de esta manera los **instrumentos** utilizados incluyeron fichas de registro de información, herramientas y equipos de laboratorio; por tanto los **resultados** para el suelo sin alterar indicaron una plasticidad (IP) del 53.4%, una humedad óptima (COH) del 30%, para la densidad en estado seco (MDS) de 1.49gr/cm³ y un índice de capacidad de california (CBR) (95% MDS) fue de 5.98%, después de añadir porcentajes de ceniza de aserrín (SA) en 4%, 8%, 12%, 16% y 20% en peso, los resultados para el IP fueron NP, NP, NP, 28.7 y 28.5%, para el COH, se obtuvieron valores de 28, 27, 25, 24.2 y 24.8%, mientras que la MDS fue de 1.54, 1.55, 1.57, 1.60, 1.57gr/cm³, y el CBR (95% MDS) fue de 5.0, 7.5, 7.0, 8.5 y 4.0%, respectivamente, asimismo, se incorporó cal y ceniza de aserrín (CA) en proporciones de SN + 16% CA + 2% cal, SN + 16% SA + 4% cal y SN + 16% SA + 6% cal donde se obtuvieron mejores resultados de la combinación de SN + 16% SA + 4% cal, donde el IP fue de 7.4%, COH es de 22.1%, y la MDS de 1.66gr/cm³

y CBR (95% MDS) de 20.34%; se **concluyó** que luego de adicionar porcentajes de ceniza de aserrín (SA) en 4%, 8%, 12%, 16% y 20% en peso, se obtuvo resultados para el IP de NP, NP, NP, 28.7 y 28.5%, además, para el COH se registraron valores de 28, 27, 25, 24.2 y 24.8%, mientras que la MDS vario entre 1.54, 1.55, 1.57, 1.60, 1.57gr/cm³, en cuanto al CBR (95% MDS) fue de 5.0, 7.5, 7.0, 8.5 y 4.0%, respectivamente, asimismo se agregó cal y ceniza de aserrín (CA) en proporciones de SN + 16% CA + 2% cal, SN + 16% SA + 4% cal y SN + 16% SA + 6% cal destacando la combinación más efectiva de SN + 16% SA + 4% cal, donde el IP fue de 7.4%, COH es de 22.1%, y la MDS de 1.66gr/cm³ y CBR (95% MDS) de 20.34%, para mejorar la subrasante es adicionando cal y ceniza de aserrín (CA) en proporciones de SN + 16% SA + 4% cal, donde el IP fue de 7.4% el cual disminuyo en 56.79%, el COH es de 22.1%, para la MDS de 1.66gr/cm³ y CBR (95% MDS) de 20.34% incrementando en 240.13% de los valores iniciales (8).

Portilla y Andaluz (2022), se propusieron como **objetivo** investigar como la ceniza influye en la estabilización de los suelos finos de la subrasante, por su parte la **metodología** adoptada se distinguió por su configuración experimental, donde la **población** consistió en los suelos finos Cantón Puyo, provincia de Pastaza, Ecuador, la **muestra** se estuvo mediante tres excavaciones exploratorias en diversas ubicaciones dentro del Cantón Puyo, además, el **muestreo** se realizó de manera no probabilística, también conocida como muestra por conveniencia, de esta manera los **instrumentos** utilizados fueron fichas de registro de información, herramientas y equipos del centro de investigación; por lo tanto los **resultados** para el suelo sin alterar en los sectores de Santa Isabel, Fátima y Veracruz, en relación al índice plástico (IP) son del 7.31%, 24.37 y 27.25% respectivamente, en cuanto a la humedad optima (OCH) se registraron valores de 31.90, 28.00 y 32.50%, mientras que para la densidad seca (MDS) los resultados fueron de 1.241, 1.261 y 1.236gr/cm³, en relación al CBR se obtuvieron valores de 7.80, 8.60 y 8.40%, respectivamente. Además, la estructura de pavimento flexible se distribuye en subbase (27cm), base (20cm) y asfaltó (10cm); posteriormente, al incorporar ceniza de cáscara de arroz (CCA) en 0% hasta 8% en peso, se observaron cambios significativos en los resultados de los sectores mencionados, para OCH alcanzaron valores de 35.00, 32.10 y 35%, respecto a la MDS se registraron valores de 1.178,

1.164 y 1.137g/cm³, además, para el CBR (95% MDS) se obtuvieron tasas de 12.10, 13.20 y 13.50%, respectivamente. Las dimensiones de la estructura de pavimento fueron ajustadas a subbase (20cm), base (18cm) y asfaltó (10cm); se **concluye** que al introducir ceniza en un intervalo que va desde el 0% hasta el 8% en los suelos ubicados en el cantón Puyo, se muestra un incremento en la capacidad portante (CBR) de las muestras de suelos de subrasante analizadas. Este incremento se manifiesta en los siguientes rangos de valores: en el área de Santa Isabel, se evidencia un aumento del 7.80% al 12.10%; en el sector de Fátima, se registra un incremento que va desde el 8.60% hasta el 13.20%; y en la zona de Veracruz, se observa un aumento que oscila entre el 8.40% y el 13.50%; asimismo se llega a la conclusión de que la inclusión de ceniza conlleva una reducción del espesor de la estructura de pavimento flexible con medidas de subbase (20 cm), base (18 cm) y asfaltó (10 cm) (9).

Los artículos **científicos internacional** de Pushpakumara y Mendis (2022), se propusieron como **objetivo** de la investigación explorar el potencial de la cal y ceniza como agente estabilizador del suelo de la subrasante, la **metodología** se caracterizada por una configuración experimental, la **población** de estudio estuvo conforma por suelos de la subrasante, mientras que la **muestra** consistió en los suelos de la subrasante, además, el **muestreo** se realizó de manera no probabilística, conocida también como muestra por conveniencia, de esta manera los **instrumentos** utilizados fueron fichas de registro de información, herramientas y equipos del centro de investigación; por tanto los **resultados** obtenidos para el suelo sin alterar en cuanto a la plasticidad (IP) son del 33.00%, para la humedad optima (OCH) es del 26.80%, para la densidad en estado seco (MDS) es de 1.489gr/cm³, el ángulo de fricción es de 21.00°, y cohesión fue de 11.60%, posteriormente, al adicionar porcentajes de cal (CA) y ceniza de cascarilla de arroz (RHA) en cantidades de 10CA%+5HRA, 10CA%+10HRA, 10CA%+20HRA y 10CA%+30HRA en peso, se obtuvieron valores para el IP de 16.50, 21.50, 24.75 y 32.50%, respectivamente, además, para el OCH se registraron valores de 32.50, 34.50, 39.00 y 44.50%, para la MDS de 1.422, 1.484, 1472 y 1.375gr/cm³, para el ángulo interno de 24.00°, 25.00°, 28.00° y 30.00°, y la cohesión fue de 13.75, 11.80, 9.80 y 9.00 KPa; se **concluyó** que, al adicionar porcentajes de cal (CA) y ceniza

de cascarilla de arroz (RHA) en las proporciones 10CA%+5HRA, 10CA%+10HRA , 10CA%+20HRA y 10CA%+30HRA en peso, se obtuvo valores para el IP de 16.50, 21.50, 24.75 y 32.50%, para el COH se registraron valores de 32.50, 34.50, 39.00 y 44.50%, la MDS fue de 1.422, 1.484, 1472 y 1.375gr/cm³, para el ángulo de fricción interna vario entre 24.00°, 25.00°, 28.00° y 30.00° y la cohesión fue de 13.75, 11.80, 9.80 y 9.00 KPa, para las respectivas proporciones mencionadas (10).

Alwango, Bazairwe y Afiki (2021) se propusieron como **objetivo** evaluar la opción de emplear ceniza reemplazando parcialmente la cal apagada en la estabilización de suelos arcillosos expansivos, la **metodología** de estudio se caracterizó por un diseño experimental, donde la **población** de interés consistió en los suelos ubicados área de Muduuma, distrito de Mpigi, Uganda central, además, la **muestra** de suelo fue recolectada en el área de Muduuma, mediante un **muestreo** no probabilística, también conocida como muestra por conveniencia, de esta manera los **instrumentos** utilizados fueron fichas de registro de información, herramientas y equipos de laboratorio; por tanto los **resultados** del suelo sin alterar, respecto al índice de plástico (IP) es de 33%, para la de humedad óptima (COH) es de 16%, para la densidad en su estado seco (MDS) es de 1.87gr/cm³ y para la capacidad de carga CBR (95% MDS) fue de 12%, luego de adicionar porcentajes de cal (CA) y ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) en 5%CA+ 2% SCBA, 5%CA+ 4% SCBA, 5%CA+ 6% SCBA, 5%CA+ 8% SCBA y 5%CA+ 10% SCBA en peso, se obtuvo valores para el IP de 15.00, 17.50, 20.00, 22.5 y 27.50%, para el COH fue de 20, 23, 25, 27 y 30, para la MDS fue de 1.8, 1.77, 1.7, 1.7, 1.64 y 1.58gr/cm³, para el CBR de 30, 43, 48, 44 y 42% respectivamente; se **concluyó** que luego de adicionar porcentajes de cal (CA) y ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) en 5%CA+ 2% SCBA, 5%CA+ 4% SCBA, 5%CA+ 6% SCBA, 5%CA+ 8% SCBA y 5%CA+ 10% SCBA en peso, se obtuvo valores para el IP de 25.01, 17.30, 9.21 y 4.08%, para el COH fueron de 20.00, 23.00, 25.00, 27.00 y 30.00, para la MDS se situaron en 1.8, 1.77, 1.7, 1.7, 1.64 y 1.58gr/cm³, en relación al CBR se registraron valores de 30.00, 43.00, 48.00, 44.00 y 42.00% respectivamente (11).

Nikuze (2021) tuvo como **objetivo** de investigación analizar el desempeño de estabilizadores como la cal para suelos de subrasante expansivos, por su parte la **metodología** empleada se caracteriza por un diseño experimental, donde la

población se integró por suelos de la carretera de la intersección de KK 3 Rd y KK 15 Ave conocida como 12, hasta las intersecciones de KK 3 Rd y KK 17 Ave conocida como Murindi a lo largo de la ruta nacional 4 (NR4), además, las **muestras** fueron excavadas en cinco pozos a una profundidad de 0.50 m a 1.50 m desde la superficie del suelo natural, mediante un **muestreo** no probabilística, también conocida como muestra por conveniencia, de esta manera los **instrumentos** utilizados fueron fichas de registro de información, herramientas y equipos del centro de investigación; de manera que los **resultados** para el suelo sin alterar respecto a la plasticidad (IP) es de 36.8%, para humedad optima (COH) es de 16.0%, para la densidad en su estado seco (MDS) es de 1.74gr/cm³ y para el índice de capacidad de california (CBR) (95% MDS) fue de 2.61%, posteriormente, al adicionar porcentajes de cal y ceniza en 5cal%+10%CDA, 5cal%+15%CDA, 5cal%+20%CDA y 7cal%+10%CDA en peso, se obtuvo valores para el IP de 15.6, 12.4, 10.9 y 13.3%, para el COH de 16.2, 17.8, 17.9, 20%, para la MDS de 1.72, 1.70, 1.68 y 1.71gr/cm³ y para el CBR de 31.94, 34.59, 47.83 y 50.48% respectivamente; se **concluyó** que luego de adicionar porcentajes de cal en 5cal%+10%CDA, 5cal%+15%CDA, 5cal%+20%CDA y 7cal%+10%CDA en peso, se obtuvo valores para el IP de 15.6, 12.4, 10.9 y 13.3%, para el COH de 16.2, 17.8, 17.9, 20%, para la MDS de 1.72, 1.70, 1.68 y 1.71gr/cm³ y para el CBR (95% MDS) de 31.94, 34.59, 47.83 y 50.48% (12).

Los **artículos científicos en otros idiomas**, Gidday y Mittal (2023), se propusieron como **objetivo** de investigación optimizar la subrasante de la carretera mediante la estabilización del suelo disperso con cal, por su parte la **metodología** de estudio se caracteriza por un diseño experimental, donde la **población** fue integrada por suelo dispersivo del área de Arba Minch y Derashe Woreda, Etiopía, además, la **muestra** de suelo se recogió a una profundidad de 1.00m en el área de Arba Minch y Derashe Woreda, mediante un **muestreo** no probabilística, también conocida como muestra por conveniencia, de esta manera los **instrumentos** utilizados fueron fichas de registro de información, herramientas y equipos de laboratorio; por tanto los **resultados** obtenidos para el suelo sin alterar respecto al índice de plasticidad (IP) es de 32.39%, para la humedad optima (COH) es de 14.81%, para la densidad seca (MDS) es de 2.00gr/cm³ y para la índice de capacidad de california

(CBR) (95% MDS) fue de 6.25%, posteriormente, al adicionar porcentajes de cal en 3%, 5%, 7% y 9% en peso, se obtuvo valores para el IP de 25.01, 17.30, 9.21 y 4.08% y para el CBR (95% MDS) de 3.7, 4.5, 5.2 y 6.0% respectivamente; se **concluyó** que luego de adicionar porcentajes de cal en 3%, 5%, 7% y 9% en peso, se obtuvo valores para el IP de 25.01, 17.30, 9.21 y 4.08% y para el valor del CBR (95% MDS) de 3.7, 4.5, 5.2 y 6.0%, respectivamente, para mejorar la subrasante es con 9% de cal hidratada, donde el IP es de 4.08% reduciendo en 693.87% y CBR (95% MDS) fue de 6% incrementando en 100.00% (13).

Muthu et al (2021) realizaron una investigación con el **objetivo** estabilizar los suelos arcillo-arenoso de la subrasante incorporando cal y ceniza; por su parte la **metodología** de estudio se caracteriza por una configuración experimental, donde la **población** de interés consistió en los suelos de la localidad de Vembakkam en el distrito de Thiruvannamalai de Tamil Nadu, además, las **muestras** se obtuvieron de los suelos de la subrasante de Vembakkam, mediante un **muestreo** no probabilística, también conocida muestra por conveniencia, de esta manera los **instrumentos** utilizados fueron fichas de registro de información, bolsas plásticas, herramientas y equipos de laboratorio; de manera que los **resultados** para el suelo sin alterar, se observó que el índice de plástico (IP) es de 11.20% y para el CBR (95% MDS) fue de 2.98% y resistencia al corte de 39.43Kpa, posteriormente, tras la incorporación de cal y ceniza de cascara de arroz (RHA) en 4Cal% + RHA10%, 4Cal% + RHA20%, 4Cal% + RHA30%, 4Cal% + RHA40%, y 4Cal% + RHA50%, en peso, se obtuvieron valores para el CBR (95% MDS) de 2.56, 5.54, 12.79, 11.94, 9.38 y 8.24%, y la resistencia al corte de 82.378, 78.591, 83.763, 81.242, 78.637 y 78.544Kpa, respectivamente; se **concluyó** que luego de adicionar porcentajes de cal y ceniza de cascara de arroz (RHA) en 4Cal% + RHA10%, 4Cal% + RHA20%, 4Cal% + RHA30%, 4Cal% + RHA40%, y 4Cal% + RHA50%, en peso, se obtuvo valores para el CBR (95% MDS) de 2.56, 5.54, 12.79, 11.94, 9.38 y 8.24%, y la resistencia al corte de 82.378, 78.591, 83.763, 81.242, 78.637 y 78.544Kpa, respectivamente (14).

Adenkunle (2021) tuvo como **objetivo** evaluar efecto de la cal y ceniza de madera en las características geotécnicas del suelo laterítico, por su parte la **metodología** de estudio se caracteriza por un diseño experimental, donde la **población** estuvo

integrada por suelos lateríticos de Nigeria, además, la **muestra** fue tomada en la Universidad de Ibadan, mediante un **muestreo** no probabilística, también conocida muestra por conveniencia, de esta manera los **instrumentos** utilizados fueron fichas de registro de información, bolsas plásticas, herramientas y equipos de laboratorio; por tanto los **resultados** del suelo sin alterar respecto a la plasticidad (IP) es del 22.03%, para la humedad óptima (OCH) es de 18.8%, para la densidad en su estado seco (MDS) es de 1.66gr/cm³ y CBR fue de 25.6%, luego de adicionar porcentajes de cal en 2%, 4%, 6%, 8% y 10% en peso, se obtuvo resultados para el IP 11.80, 8.08, 13.91, 10.78 y 10.82%, para el OCH es de 12, 10.4, 14.0, 15.6 y 10.8%, para el MDS es de 1.95, 1.87, 1.76, 1.67 y 1.67gr/cm³ y CBR (95% MDS) fue de 21.7, 40.1, 68.5, 59.9, 45.5%, respectivamente; por otra parte, al adicionar ceniza de madera en 2%, 4%, 6%, 8% y 10% en peso, se obtuvo resultados para el IP 6.33, 6.73, 24.14, 4.02 y 10.10%, para el OCH es de 21.2, 20.8, 16.4, 16.8 y 13.0%, para el MDS es de 2.32, 1.56, 1.57, 1.68 y 1.68gr/cm³ y CBR fue de 20.7, 30.3, 55.4, 48.9 y 35.3%, respectivamente; se **concluyó** que luego de adicionar porcentajes de cal en 2%, 4%, 6%, 8% y 10% en peso, se obtuvo valores del IP en 11.80, 8.08, 13.91, 10.78 y 10.82%, para el OCH es de 12, 10.4, 14.0, 15.6 y 10.8%, para el MDS fue de 1.95, 1.87, 1.76, 1.67 y 1.67gr/cm³ y para el CBR (95% MDS) los valores son 21.7, 40.1, 68.5, 59.9, 45.5%, respectivamente; por otra parte, al adicionar ceniza de madera en 2%, 4%, 6%, 8% y 10% en peso, los valores del IP son 6.33, 6.73, 24.14, 4.02 y 10.10%, para el OCH es de 21.2, 20.8, 16.4, 16.8 y 13.0%, para el MDS es de 2.32, 1.56, 1.57, 1.68 y 1.68gr/cm³, asimismo los valores del CBR (95% MDS) son 20.7, 30.3, 55.4, 48.9 y 35.3%, respectivamente (15).

Teorías

Variable independiente: Cal y ceniza de madera

Cal

En relación a la cal, se tiene la teoría de hidratación donde indica que cuando la cal reacciona con el agua presente en el suelo y se hidrata forma un hidróxido de calcio (Ca(OH)₂). Asimismo, la teoría de intercambio iónico nos manifiesta que la cal tiene la capacidad de reemplazar los iones existentes en el suelo, donde al agregar cal al suelo, los iones de calcio (Ca²⁺) reemplazan a otros iones presentes, como los iones de sodio (Na⁺) o de magnesio (Mg²⁺). Por lo tanto, podemos mencionar

respecto a la primera teoría que la reacción es altamente térmica y genera calor, donde las moléculas del agua se incorporan en la estructura de la cal formando compuestos.

Ceniza de madera

En cuanto a la ceniza de madera, se tiene la teoría de reacción química donde indica que la ceniza contiene compuestos químicos, como óxidos de calcio (CaO) y óxidos de silicio (SiO_2), que pueden reaccionar con el suelo al mezclarse la ceniza de madera libera iones hidróxido (OH^-) que reaccionan con los componentes del suelo, formando nuevos compuestos estables. A su vez, la teoría de propiedades pozolánicas, hace referencia a que la ceniza de madera al ser rica en sílice y otros componentes al entrar en contacto con el suelo se manifiestan a través de reacciones químicas que ocurren cuando la ceniza entra en contacto con el suelo y otros componentes del entorno. Por esta razón, la ceniza de madera puede dar lugar a la generación de gel de sílice coloidal y aluminato de calcio.

Dosificación

Respecto a la dosificación, se tiene la teoría de la proporción óptima, donde sugiere que existe una proporción de estabilizante al suelo que maximiza las características deseadas del suelo estabilizado, como la rigidez, la compactación y la durabilidad. Asimismo, la dosificación se sustenta en la realización de ensayos de laboratorio o estudios para calcular la relación adecuada entre el estabilizante y el suelo. Tanto la cal como la ceniza de madera desempeñan roles claves en la estabilización de suelos, mejorando las características químicas y mecánicas para lograr una subrasante más resistente y duradera. La aplicación exitosa requiere una comprensión detallada de las propiedades del suelo y la aplicación de principios científicos en la dosificación y el proceso de estabilización.

Variable dependiente: Estabilización de suelos de la subrasante

Subrasante

En relación con la subrasante, tenemos a la teoría de consolidación la cual se basa principalmente en la aptitud del suelo para experimentar la consolidación frente a cargas aplicadas a lo largo del tiempo. En tal sentido la consolidación tiene lugar cuando el agua es expulsada del suelo y las partículas se compactan. Por tal razón

una subrasante bien consolidada es más estable y menos propensa a deformarse. La teoría de consolidación tiene en cuenta la compresibilidad del suelo y la velocidad a la que ocurre la consolidación para determinar la idoneidad de la subrasante. Por otra parte, la teoría de la capacidad portante señala que la capacidad del suelo para resistir las cargas aplicadas sin experimentar una falla, por ende, se utilizan modelos y cálculos para determinar la resistencia del suelo y dimensionar adecuadamente la subrasante. Los factores considerados incluyen la resistencia del suelo, la presión de contacto y la distribución de las cargas.

Estabilización de suelos

En la estabilización de suelos, la teoría de la resistencia de los materiales busca predecir y entender el comportamiento de los materiales estructurales bajo diversas cargas y condiciones, esto es crucial para desarrollar criterios para predecir cuándo o como un material o una estructura puede fallar, estos criterios pueden basarse en tensiones y deformaciones o la combinación de ambos. Por su parte la teoría de la modificación química se basa en la adición de productos químicos, como estabilizantes o agentes que mejoran el suelo, para cambiar las características del suelo de fundación. Estos estabilizadores químicos como la cal, el cemento, los polímeros o las resinas, reaccionan con los componentes del suelo y mejoran sus características físicas y mecánicas.

Propiedades físicas del suelo

La teoría de la plasticidad se fundamenta en las propiedades plásticas del suelo de la subrasante, donde el suelo influye en la acción de la humedad y las cargas aplicadas. Los suelos con alta plasticidad son más susceptibles a la deformación y a la erosión en condiciones húmedas, mientras que los suelos con baja plasticidad son más estables y menos afectados por cambios de humedad. En cuanto a la teoría de la elasticidad, su enfoque reside en comprender cómo los materiales recuperan su forma original después de experimentar deformaciones elásticas. Esta capacidad de recuperación se expresa mediante principios y ecuaciones fundamentales que rigen el comportamiento de los materiales en el rango elástico. La suposición fundamental de esta teoría es que las deformaciones en este rango son completamente reversibles, sin deformaciones permanentes.

Propiedades mecánicas del suelo

Dado que, la teoría de la capacidad de soporte se basa en la capacidad del suelo de soportar cargas aplicadas encima de ella, su capacidad de soporte depende de varias propiedades, como la resistencia a la compresión, la cohesión y el ángulo de fricción interna. Por lo cual, un suelo con alta capacidad de soporte puede resistir las cargas sin experimentar una deformación excesiva o una pérdida de estabilidad. Además, la teoría de los estados críticos se base en el comportamiento del suelo bajo diversas condiciones y cargas. Esta teoría se centra en definir los estados de esfuerzo y deformación en los suelos que defines los estados críticos, es fundamental para la interpretación de la fuerza de corte del suelo.

Enfoques conceptuales

Variable independiente: Cal y ceniza de madera

Cal

La Asociación Nacional de Fabricantes de Cal de Norteamérica (NLA) indica que la cal es un material químico versátil producido por la calcinación de piedra caliza o dolomía. Es una sustancia blanca y cristalina que se usa en una extensa serie de implementaciones, incluyendo la construcción, la agricultura, la industria química y la metalurgia. Por otro lado, la Asociación Argentina de la Cal (AACAL) manifiesta que la cal es un producto obtenido a partir de la incineración de la roca caliza, compuesto principalmente en carbonato de calcio. Se utiliza en diferentes industrias, como la construcción, la agricultura y la química, debido a sus propiedades aglutinantes, estabilizadoras y neutralizadoras. Asimismo, el Instituto de Cal de España menciona que la cal es un compuesto químico inorgánico obtenido mediante la calcinación de rocas calizas o dolomías. Es una sustancia sólida y pulverulenta que tiene propiedades hidráulicas y/o hidráulicas aéreas, utilizada en la construcción para la producción de morteros, revestimientos, estucos y otros materiales de construcción.

Es necesario indicar que los tipos de cal usados en la estabilización de suelos son la Cal viva (CaO), que está compuesta principalmente por óxido de calcio, su composición química es aproximadamente del 56% al 65% de óxido de calcio (CaO) y puede contener pequeñas cantidades de impurezas como magnesio,

aluminio y sílice. Por otro lado, la Cal apagada (Ca(OH)_2) se produce al agregar agua a la cal viva, desencadenando una reacción de hidratación, su composición química es aproximadamente del 75% al 80% de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) y puede contener cantidades pequeñas de impurezas como sílice, magnesio y aluminio. En cuanto a la composición de la cal, el elemento químico central en la cal apagada es el Calcio (Ca), es un metal alcalinotérreo, esencial para numerosos procesos biológicos y aplicaciones industriales. El Oxígeno (O), elemento no metálico presente en el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), se forma a través de la reacción del óxido de calcio (CaO) con agua, liberando calor y generando hidróxido de calcio.

Ceniza de madera

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) sostiene que la ceniza de madera es el residuo inorgánico generado al quemar madera o productos de madera, contiene una variedad de elementos químicos, como calcio, potasio, fósforo y sílice, esenciales para el desarrollo de las plantas. La ceniza de madera puede ser utilizada para la producción de concretos y como relleno en aplicaciones de ingeniería civil. Además, se refiere al polvo fino y grisáceo que resulta de la combustión completa de la madera, contiene minerales y compuestos químicos residuales, como carbonatos y óxidos metálicos. La ceniza de madera ha sido utilizada históricamente como fuente de potasio y otros nutrientes en la agricultura, así como en la fabricación de sustancias químicas y materiales de construcción. Por otra parte, el Instituto de Investigación en Biomateriales (INBIO) de España expresa que la ceniza de madera es un subproducto obtenido durante la quema de madera. Es una sustancia inorgánica compuesta principalmente por óxidos metálicos, como óxido de calcio, magnesio y potasio, entre otros. La ceniza de madera se utiliza en diversas aplicaciones, como la agricultura, en la elaboración de productos de construcción y la generación de energía.

Asimismo, existen diferentes tipos de ceniza de madera; en primer lugar, la ceniza de madera dura se obtiene de la combustión de maderas duras, como el roble, la haya o el arce, y suele tener un contenido más alto de calcio y magnesio, siendo menos soluble en agua, se utiliza en aplicaciones como la producción de concreto y como enmienda del suelo en jardinería y agricultura; en segundo lugar, la ceniza

de madera de frutales se produce a partir de la combustión de maderas de árboles frutales, como manzana, cerezo o ciruelo. Esta ceniza puede contener una variedad de nutrientes y oligoelementos, y a menudo se utiliza como fertilizante en la agricultura orgánica; finalmente, la ceniza de madera de biomasa proveniente de la incineración de desechos de biomasa, como astillas de madera, ramas o restos de cultivos. Este tipo de ceniza puede variar en composición dependiendo de los materiales utilizados y se emplea en aplicaciones similares, como en el mejoramiento de suelos y fertilizantes. La ceniza de madera está compuesta por varios óxidos metálicos, siendo los más comunes el óxido de calcio (CaO), el óxido de magnesio (MgO), el óxido de potasio (K₂O) y el óxido de sodio (Na₂O). Estos óxidos metálicos son el resultado de la presencia de calcio, magnesio, potasio y sodio en la madera. Además de los componentes mencionados, puede contener pequeñas cantidades de otros elementos como aluminio (Al), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn) y cobre (Cu).

Tabla 1. Propiedades químicas de la ceniza de madera.

Compuesto	Estudio (a)	Estudio (b)	Estudio (c)	Estudio (d)
Oxido de Silicio (SiO ₂)	1.34	9.3	4.05	15.92
Dióxido de Titanio (TiO ₂)	0,05	-	-	-
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0,76	0.98	0.44	1.31
Oxido de Manganeso (MnO)	0,29	3.64	-	1.78
Oxido de Férrico (Fe ₂ O ₃)	0,69	2.01	-	0.62
Oxido de Calcio (CaO)	50.09	46.1	46.9	64.66
Oxido de Magnesio (MgO)	6.47	-	3.06	5.35
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	0,07	-	-	-
Oxido de Potasio (K ₂ O)	2.37	-	2.82	-
Oxido de Fosforo (P ₂ O ₅)	2.93	-	2.9	0.19

Nota: Los valores en la tabla se establecen a partir de las siguientes referencias, (a) Suesh, Afsal, Fathima, Sebastián (16), (b) Divya y P.T. (17), (c) Sanja, Martina, Tea y Miroslav (18), (d) Yenner (19). Fuente: Adaptado de las referencias biográficas citadas.

Tabla 2. Componentes químicos de ceniza de madera.

Componentes Químicos	Porcentaje
Oxido de Potasio	43.46%
Oxido de Calcio	24.27%
Oxido de Magnesio	21.62%
Oxido de Silicio	1.88%
Óxido de Hierro	1.30%
Oxido de Terbio	1.19%

Fuente: Adaptado de Priscila y Carlos (20).

Dosificación

La dosificación de la cal como agente estabilizador posibilita la reducción del índice plástico, incremento del índice de capacidad de california, entre otras características. La cal empleada puede ser cal hidratada o viva, sujeta a cumplir los requerimientos mínimos reglamentado en AASHTO, M-2016 o ASTM C-977, además la dosificación puede variar entre 2 y 8% en peso (21); a diferencia de Das (22) indica que, para estabilizar suelos con cal, se utilizan distintos tipos como la cal hidratada rica en calcio, cal viva calcificada y cal dolomítica monohidratada, empleándose en porcentajes que oscilan entre el 5% a 10%. Entonces la dosificación se refiere al proceso de determinar las proporciones precisas y adecuadas de los componentes que conforman una mezcla o sustancia, con el objetivo de lograr las características deseadas en el resultado final.

Variable dependiente: Estabilización de la subrasante

Subrasante

Es la capa del en su estado sin alterar donde se apoyan las diferentes capas de diseño del pavimento. Teniendo una resistencia suficiente ante las cargas del tráfico y distribuir dichas cargas de manera uniforme en el terreno de fundación (23). La subrasante denominado también como suelo de fundación existente en el proyecto, ubicada por debajo de la composición del pavimento y sobre la cual se realiza la construcción de la carretera, además debe tener la resistencia de soportar las cargas aplicadas por el tráfico y distribuir adecuadamente dichas cargas al terreno de fundación. Asimismo, la subrasante constituye la capa del suelo encargada de sustentar el pavimento, por ende, de soporta las tensiones producidas por la circulación de vehículos. Es esencial garantizar que el material que conforma la

subrasante sea capaz de resistir estas cargas a lo largo de su vida útil. Es decir, el material debe estar seleccionado cuidadosamente, con características admisibles, y debe ser compactado en capas. Este proceso se rige por las directrices estipuladas en el Manual de Ensayo de Materiales del (MTC) (24).

Estabilización de suelos

La estabilización, primordialmente busca la modificación de algunos o varios de los parámetros del suelo, como la disminución del índice plástico, incremento de la resistencia y durabilidad, a través de la incorporación de materiales o la modificación de sus propiedades físicas o químicas. Esto es necesario, ya que ciertos casos, el suelo de subrasante no cumple con las condiciones apropiadas para actuar como base de la estructura de pavimentos (25). Asimismo, el Manual de Suelos y Pavimentos (MTC), indica que la estabilización de la subrasante comprende un conjunto de acciones y técnicas aplicadas al suelo existente, con el propósito de incrementar sus características geotécnicas y permitir el soporte adecuado de las cargas de diseño previstas (26). Por otra parte, la estabilización se define como un procedimiento físico o químico que tiene como objetivo potenciar las propiedades geotécnicas del suelo (27).

En relación a los tipos de estabilización, en primero lugar, se encuentra la estabilización química, esta técnica implica el perfeccionamiento de las características mediante la introducción de sustancias químicas en el suelo, tales como el Cemento, Cal, Ácidos Fosfóricos y Fosfatos, Cloruro de Sodio o calcio, polímeros y resinas, con el objetivo de aumentar su estabilidad, resistencia y durabilidad, esta técnica se centra en modificar las características químicas para mejorar el comportamiento y rendimiento del suelo. En segundo lugar, se presenta la estabilización física, que se centra en técnicas destinadas en alterar los atributos físicos del suelo, como su configuración, cohesión, capacidad de drenaje y permeabilidad. Se utilizan materiales como geosintéticos, geotextiles, geomallas, o por mezcla de suelos con el fin de hacerlo más apto para soportar cargas y prevenir problemas como el asentamiento y la erosión. En tercer lugar, la estabilización mecánica apunta a optimizar la calidad del suelo natural sin modificar su composición y estructura. Se utilizan técnicas para incrementar los atributos mecánicos del suelo, tanto la resistencia y estabilidad. Se utiliza la compactación

para la mejora del grado de compactación con la finalidad de reducir los vacíos existentes en el suelo.

Límites de consistencia

El límite de consistencia se describe como el volumen de agua donde el suelo pasa del estado semisólido a una forma flexible, ósea es la humedad crítica en la cual el suelo tiene la menor resistencia a la deformación (28). El límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad son parámetros ampliamente empleados en la ingeniería civil, tanto de manera individual como en conjunto con otras propiedades del suelo. Se utilizan para establecer correlaciones con el comportamiento ingenieril del suelo, como su compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad y contracción-expansión. Es común relacionar estos parámetros con otras características del suelo para comprender mejor su respuesta ante cargas y procesos de construcción (24). El límite de Atterberg, se fundamenta en la premisa donde los suelos finos existentes en la naturaleza tienen la capacidad de experimentar varios estados, los cuales son influenciados por su inherente naturaleza y la proporción de agua que contiene. Por consiguiente, un suelo tiene la capacidad de manifestarse en estados que varían desde sólido hasta semisólido, plástico y líquido o viscoso, dependiendo de las condiciones específicas de la humedad.

Límite líquido

Podemos señalar que constituye el margen entre el límite líquido y plástico al aumentar o reducir, respectivamente el nivel de humedad (29). Además, El contenido de humedad, expresado en porcentaje, determina el punto en el que el suelo se encuentra en la transición entre los estados líquido y plástico (24). Desde un punto de vista conceptual, el límite líquido puede definirse como la humedad en la cual la capacidad de corte del suelo se anula, adquiriendo características propias de un líquido. Este parámetro se determina a través de un ensayo que establece una relación entre los niveles de humedad y la cantidad de golpes necesarios en un dispositivo en forma de cuchara (30), y se emplean las normativas ASTM D4318, AASHTO T89, MTC E 110 y NTP 339.129 como referencias para la determinación del límite líquido.

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad \text{o} \quad LL = kW^n \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

N : Numero de golpes.

W^n : Humedad.

K : Coeficiente, Tabla 3.

Tabla 3. Coeficiente para limite líquido (K).

N (Numero de golpes)	K (Factor para limite liquido)
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

Fuente: Extraído del Manual de Ensayo de materiales (MTC) (24 pág. 71).

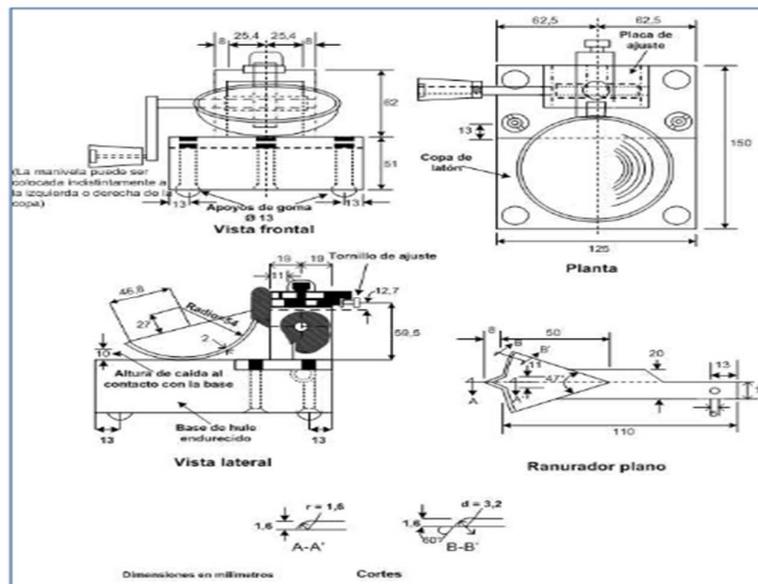


Figura 1. Equipo manual para ensayo de Limite Liquido (24 pág. 69).

Limite plástico

Definido como el porcentaje de humedad del suelo donde se desmorona al enroscarse en hilos de 3.20 mm de anchura (31), además

Se considera como el límite entre dos estados: si se excede, el suelo se volverá sólido, mientras que si se reduce el contenido de humedad, el suelo adoptará un estado semisólido (29). Por otro lado, se define como la humedad crítica de un suelo, donde el material exhibe deformación de naturaleza plástica en respuesta a las tensiones aplicadas. Empíricamente, este límite se vincula con la humedad inferior en la cual la formación de un cilindro con radio de 1.50 mm se vuelve inviable. Se emplean las normativas ASTM D4318, AASHTO T90, NTP 339.129 y MTC E 111, como referencias para la determinación la plasticidad.

$$\text{Limite Plastico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Índice de plasticidad

El índice de plasticidad es un indicador de la plasticidad de un suelo y se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Refleja la capacidad del suelo para deformarse sin fracturarse cuando se encuentra en un estado plástico (28). Esto indica el tamaño del intervalo de humedades en el suelo que tiene la consistencia plástica, donde se determina mediante la resta entre el límite líquido y el límite plástico del suelo (26). Por lo cual Atterberg formuló la definición del índice de plasticidad con el objetivo de caracterizar el rango de contenido de humedad natural en el cual un suelo muestra comportamiento plástico se conoce como intervalo de plasticidad. En consecuencia, el índice de plasticidad (IP) se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico (32).

Tabla 4. Clasificación de suelos según el índice de plasticidad.

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

Fuente: Manual de carreteras sección suelos y pavimentos (MTC) (26 pág. 32)

Proctor modificado

Es un ensayo de laboratorio que se utiliza para determinar la densidad máxima seca y la humedad ideal de un suelo. Consiste en compactar una muestra de suelo en capas utilizando una mayor energía de compactación que la del ensayo Proctor

Estándar. El Proctor Modificado se utiliza ampliamente en la construcción de obras viales y obras de ingeniería civil para establecer criterios de compactación de suelos (28). Se trata de un ensayo que comprende los procedimientos de compactación empleados en laboratorio para determinar la relación entre el contenido de agua y el peso unitario seco del suelo (31), y para su determinación se rige a la normativa ASTM D 1557, AASHTO T180, NTP 339.141, MTC E 115. El ensayo consiste en la preparación de la muestra, determinar la humedad inicial, ensayo de compactación se coloca una porción de la muestra humedecida en el molde ver Figura 3 de compactación de Proctor modificado que tiene un volumen conocido y una base perforada, se compacta la muestra en 5 capas utilizando un pisón normalizado y aplicando 56 golpes por capa, la energía de compactación utilizada es de 10lbs, cálculo de la densidad seca, construcción de la curva de compactación ver la Figura 2.

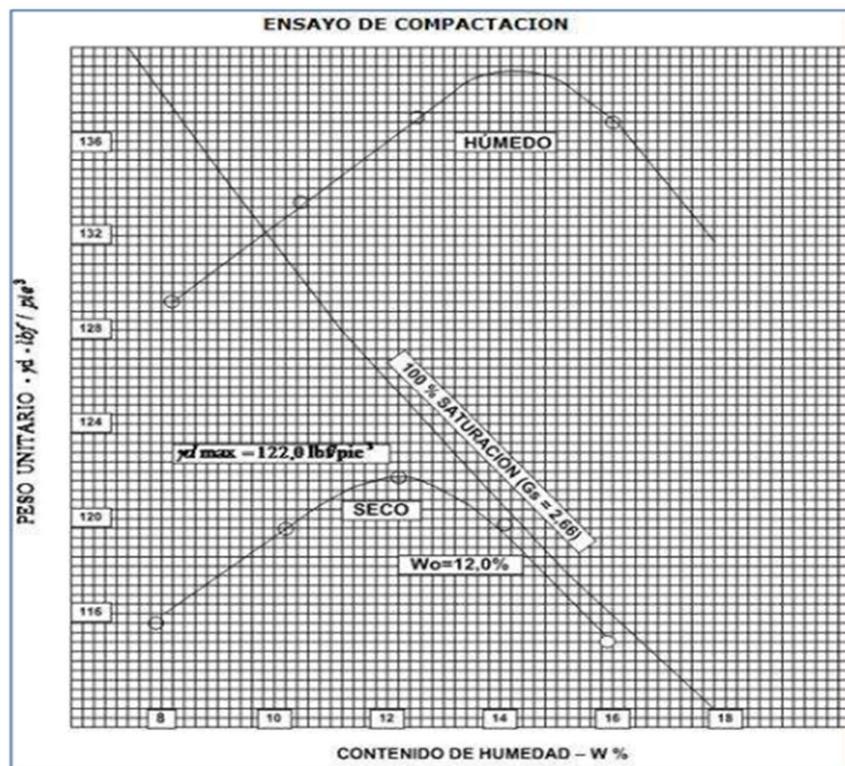


Figura 2. Gráfico de curva de compactación (24 pág. 118).

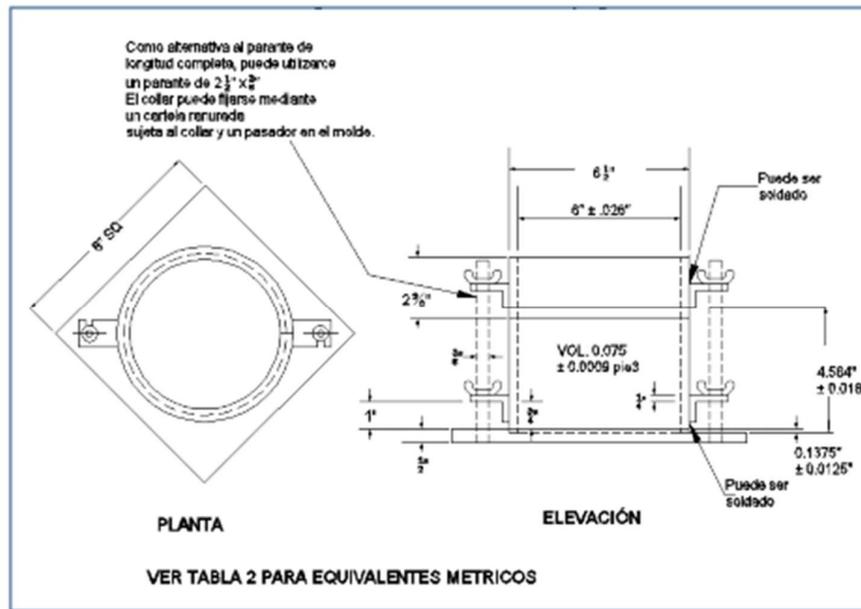


Figura 3. Molde cilíndrico de 6" (24 pág. 117).

California Bearing Ratio (CBR)

El Índice de carga (CBR) constituye un parámetro fundamental para la evaluación de la capacidad de resistencia al corte y la capacidad de carga de un suelo. Su determinación implica la comparación entre la presión requerida para penetrar una placa de ensayo estándar en el suelo bajo condiciones controladas y la fuerza requerida para penetrar la placa en una muestra de referencia de piedra triturada compacta (28). Es un parámetro, que es usado para ver la capacidad para sostener la carga del suelo de subrasante, capa base, súbbase y de afirmado. El cálculo del índice de soporte se realiza al 95% de la densidad en estado seco y utilizando una penetración de carga de 2.54mm (33), Se emplean las normativas estándar ASTM D 1883, AASHTO T193 y MTC E 132, como referencias para determinar el CBR. El ensayo consiste en la preparación del espécimen, acondicionamiento del molde referencia la Figura 4, compactación del espécimen, cálculo de la densidad seca, el ensayo de penetración. En este último, el espécimen se posiciona en una máquina de ensayo de CBR; luego se carga verticalmente un pistón perforador de 50 mm de diámetro sobre la superficie del espécimen a una velocidad específica, se registra la fuerza aplicada y la penetración del pistón en incrementos regulares de carga, el ensayo se continua hasta alcanzar un cierto nivel predeterminado de penetración (generalmente 2.5 mm o 5.0 mm). Finalmente para determinar el CBR, se relaciona la penetración en función de la carga aplicada, se determinar el valor

del CBR mediante la división de la relación de penetración obtenida por la relación de penetración correspondiente a una piedra triturada estándar Tabla 5.

Tabla 5. Propiedades de la piedra triturada.

Penetración		Presión		
Mn	Pulgadas	MN/m ²	Kg/cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1	6.9	70.31	1000
5.08	0.2	10.35	105.46	1500

Fuente: Recuperado del Manual de Ensayo de Materiales (MTC) (24 pág. 255).

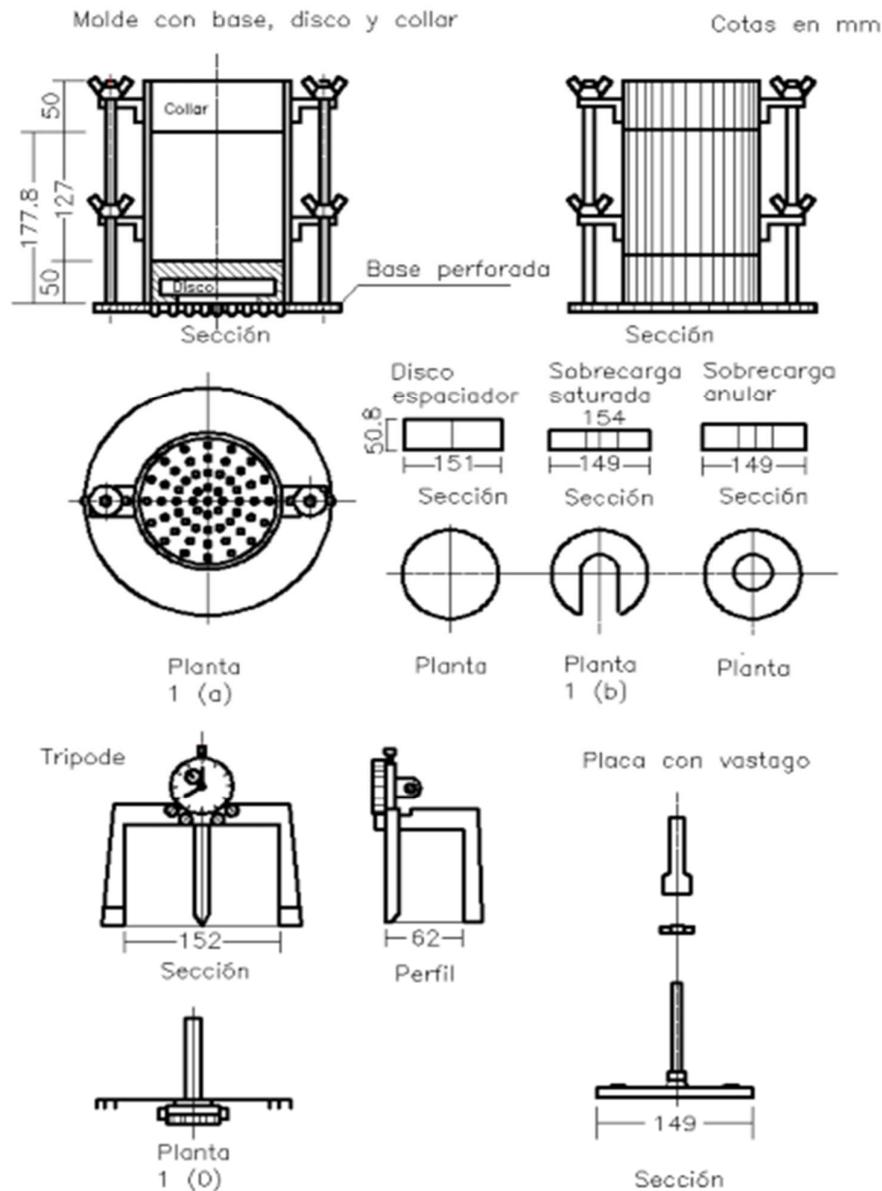


Figura 4. Equipos para el ensayo de Proctor Modificado (24 pág. 249).

Tabla 6: Clasificación de la subrasante de acuerdo al CBR.

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

Fuente: Extraído del Manual de Suelos y Pavimentos (MTC) (26).

Diseño de espesor de estabilización

La AASHTO define el diseño de espesor de estabilización como el proceso de determinar el grosor necesario de una capa estabilizante para perfeccionar las características del suelo subyacente y satisfacer con los requisitos de capacidad portante, resistencia al desgaste y durabilidad del pavimento. Considera factores como el CBR objetivo, el tráfico esperado, las condiciones climáticas y la vida útil deseada. Asimismo, la FHWA define el diseño de espesor de estabilización como el proceso de calcular la cantidad y el grosor óptimo de material estabilizante necesarios para optimizar las características del suelo y cumplir con los requisitos de capacidad portante y resistencia del pavimento. Consiste en la evaluación de las características del suelo, incluyendo el CBR inicial y CBR objetivo. Para diseñar el espesor de estabilización con cal y ceniza de madera que sobrepase los límites inferiores recomendados por el manual del MTC el cual indica que el CBR debe ser ≥ 6%, se evaluara los espesores de terreno estabilizado tanto con cal como con ceniza madera y la mezcla de ambos y se aplicó la ecuación para determinar el valor ponderado del CBR que es el siguiente:

$$CBR_E = \frac{D_{S1}^3 CBR_1 + D_{S2}^3 CBR_2}{(D_{S1})^3 + (D_{S2})^3} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

CBR_E : CBR Equivalente

D_{S1} : Suelo Estabilizado Espesor

D_{S2} : Terreno Natural Espesor

CBR₁: Suelo Estabilizado (CBR)

CBR₂: Terreno Natural (CBR)

Diseño de pavimento flexible

Pavimento

Un pavimento está conformada por estratos que descansa de manera integral sobre la superficie del terreno, previamente acondicionado para sustentarla a lo largo de un periodo definido como el periodo de diseño, y dentro de los límites establecidos para su funcionalidad (34). Un pavimento está compuesto por estratos superpuestos dispuestos de manera relativamente horizontal, contruidos técnicamente mediante la utilización de materiales adecuados y su posterior compactación. Esta disposición estratificada se apoya en la subrasante de una vía, determinada durante la fase de exploración, y se configura para hacer frente a las tensiones producidas debido a las cargas repetitivas del tráfico a lo largo del intervalo para el cual se ha planificado el pavimento (35). Es la disposición de las vías, conformada por una o varios estratos de materiales, ya sean manufacturados o naturales, dispuestas sobre un terreno preparado, con la finalidad de posibilitar el tránsito de vehículos (36).

En cuanto a los tipos de pavimentos, estos están diseñados para cumplir con requisitos particulares en función del tráfico, el entorno y otros factores. Tenemos en primer lugar, el pavimento rígido, es una estructura que brinda a la superficie de rodadura características funcionales y estructurales a través de una capa conformada por una placa de concreto y una subbase granular dispuestas sobre la subrasante. La losa absorbe de manera significativa las fuerzas generadas por las cargas de tránsito sobre el pavimento, disminuyendo de esta manera las tensiones en las capas subyacentes y la subrasante (26). En segundo lugar, pavimento semirrígido, esta estructura guarda similitudes fundamentales con un pavimento flexible, ya que una de sus capas experimenta un aumento de rigidez de forma artificial mediante la adición de un aditivo, que puede ser asfalto, emulsión, cal, cemento o productos químicos. La adición de estos aditivos busca principalmente corregir o alterar las características mecánicas de los materiales de la zona son inadecuados para la construcción del pavimento (37). Esto se ejecuta considerando que los materiales idóneos se encuentran a distancias que aumentarían significativamente los costos; en tercer lugar, el pavimento flexible constituye una configuración compuesta por diversas capas de materiales granulares y asfálticos,

diseñada con la finalidad de trasladar las tensiones generadas por las cargas del tránsito hacia las terracerías. Este tipo de pavimento tiene la capacidad de resistir el tráfico con un grado específico de deformación elástica sin experimentar fracturas debido a una superficie de rodamiento uniforme (38).

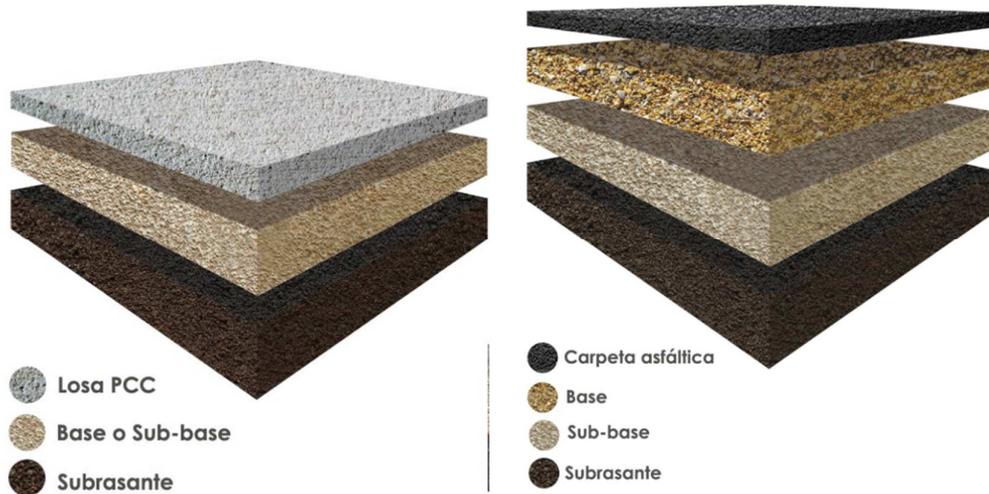


Figura 5. Característica típica de pavimento rígido y flexible (39).

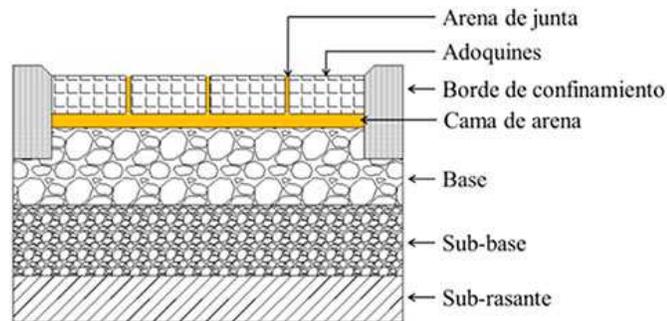


Figura 6. Característica típica de pavimento semirrígido (40)

Método AASTHO-93

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN - 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07 \text{ (Ec. 5)}$$

Donde:

W18 : Trafico de diseño

Z_R : Desviación estándar normal

S₀ : Desviación estándar combinada

ΔPSI: Servicialidad

M_R : Módulo resiliente (psi)

SN : Numero estructural.

El método AASHTO-93 se refiere a las pautas establecidas en su manual de diseño de pavimentos, particularmente la edición de 1993, cabe destacar que el diseño implica cálculos y análisis detallados para garantizar que la configuración de la estructura tenga la capacidad de resistir las cargas de tráfico y las condiciones medioambientales a lo largo de su vida útil. La ecuación básica del diseño de la estructura del pavimento flexible se desprenden las siguientes definiciones, en primer lugar, el tráfico de diseño, es la recopilación de datos sobre la velocidad del tráfico, el volumen de vehículos, los patrones de movimiento y la congestión. Además, se considera como el conteo de del conjunto de vehículos que circulan por una vía en un intervalo temporal específico (41). En segundo lugar, Módulo de resiliencia (M_R), se utiliza en ingeniería de pavimentos y suelos para medir la rigidez y la capacidad de recuperación elástica de un material.

En tercer lugar, la desviación estándar normal (Z_r), expresa el grado de confiabilidad seleccionado para un conjunto de datos dentro de una distribución normal. En cuarto lugar, desviación estándar combinada (S_0), es un parámetro que tiene en cuenta la variabilidad prevista en las predicciones del pavimento, abarcando aspectos como la construcción, el contexto ambiental y la incertidumbre del modelo (26). En quinto lugar, el Índice de serviciabilidad (PSI), es un requisito indispensable de un pavimento para permitir que los beneficiarios manejen de manera segura y confortable en un momento determinado (42). Finalmente el Numero estructural propuesto (SNR), señala el grosor completo del pavimento, el cual posteriormente se transformará en el grosor efectivo de cada una de las capas que conformarán la estructura del pavimento, abarcando la capa de rodadura, la base y la subbase, mediante la aplicación de los coeficientes estructurales correspondientes (26). Sin embargo, El espesor mínimo de un pavimento flexible depende de varios factores, como el tipo de suelo, el tráfico esperado y las condiciones climáticas. En general, el espesor mínimo recomendado para un pavimento flexible se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Dimensiones mínimas recomendadas para la capa superficial y base granular.

Tipo de Tráfico Expresado en EE	Espesor de Capa Superficial (mm)		Espesor de Base
T _{P1}	Lechada Asfáltica (Slurry Seal) de 12 mm	12	150mm
	Tratamiento superficial Bicapa	12	
	Micropavimento 25 mm	25	
	Capa asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.	50	
	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	50	
T _{P2}	Lechada Asfáltica (Slurry Seal) de 12 mm	12	150mm
	Tratamiento superficial Bicapa	12	
	Micropavimento 25 mm	25	
	Capa asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.	60	
	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	60	
T _{P3}	Micropavimento 25 mm	25	150mm
	Capa asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.	60	
	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	70	
T _{P4}	Micropavimento 25 mm	25	200mm
	Capa asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.	70	
	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	80	
T _{P5}	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	80	200mm
T _{P6}	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	90	200mm
T _{P7}	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	90	200mm
T _{P8}	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	100	250mm
T _{P9}	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	110	250mm
T _{P10}	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	120	250mm
T _{P11}	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	130	250mm
T _{P12}	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	140	250mm
T _{P13}	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	150	300mm
T _{P14}	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	150	300mm

Fuente: Recuperado de Manual de Carreteras Suelos y Pavimentos (26 pág. 145).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

La investigación aplicada es una forma de investigación cuyo objetivo es utilizar las ciencias naturales de la vida real para mejorar la condición humana y busca encontrar soluciones prácticas a los problemas existente (43). La investigación es de tipo aplicada, porque se emplea información determinada, procedimientos ya descritos y comprobados, orientados a solucionar problemas de mejoramiento de la subrasante.

Enfoque de investigación

El enfoque cuantitativo se caracteriza por ser un proceso científico estructurado y preestablecido que facilita la recopilación de datos de una población específica, abarcando aquellos que son contiguos, nominales y ordinales (44), Además, recibe esta denominación porque se ocupa de fenómenos susceptibles de medición, es decir, aquellos que pueden asignarse a un valor numérico. Emplea métodos analíticos para la interpretación de los datos recolectados, con el propósito primordial de describir, explicar, prever y controlar de manera objetiva sus causas, anticipando su ocurrencia mediante la revelación de dichas causas (45). La investigación adopta una perspectiva cuantitativa, se sustenta en la obtención de datos numéricos para respaldar la hipótesis y el logro de los objetivos establecidos.

Diseño de investigación

Una investigación con diseño experimental es un procedimiento cuya característica primordial es probar una relación causal cuantitativa entre una variable a otra, lo que significa manipular o controlar la variable independiente (43). El tipo cuasi experimental involucra la participación de un grupo de control, donde se puede medir y controlar la variable independiente en tiempos distintos con el propósito de buscar óptimos resultados (46). En la presente investigación es de diseño experimental porque busca relacionar a las variables, además es de tipo cuasi-experimental dado que tiene un grupo de comparación, el cual es el suelo natural de la subrasante, asimismo en cuanto a la manipulación de variable independiente se adiciono proporciones de cal y ceniza de madera de manera independiente y

mezcla de ambos al suelo natural, cuyo resultado vario las propiedades iniciales de dicho suelo.

3.2. Variables y operacionalización

Variable de estudio

Se refiere a una propiedad, concepto o característica de un fenómeno, entidad física, hecho, personas u otros seres vivos que puede variar y cuya variación puede ser medida u observada (47). La variable se define como una característica observada que puede tomar diversas cifras cuantificables o medición en el contexto de una investigación. Para recibir esta denominación, es necesario que tenga la capacidad de variar entre al menos dos valores (48).

Variable independiente: Cal(CA) y Ceniza de madera(CM)

Definición conceptual: La ceniza constituye un polvo de partículas finas conformado por alúmina, sílice, álcalis y diversos óxidos, caracterizándose por su naturaleza puzolánica, la cual interactúa con la cal hidratada con el propósito de generar elementos cementantes (22). La cal se refiere comúnmente a la cal viva o hidratada, un compuesto químico cáustico que puede ser utilizado para alterar las características del suelo. Por otro lado, la ceniza de madera hace referencia a los residuos resultantes de la combustión de madera, que a menudo se utiliza en procesos de estabilización de suelos debido a sus propiedades que pueden mejorar la cohesión y resistencia del terreno.

Definición operacional: Se dosificará adecuadamente diferentes proporciones de cal y ceniza de madera, posteriormente se evaluarán las modificaciones de las características mecánicas y físicas del suelo de la subrasante. El propósito de alterar las características geotécnicas de los suelos, buscamos mejorar su capacidad de soporte y otras propiedades relevantes para la construcción de infraestructuras viales.

Dimensión: Dosificación

Indicadores: 4%CA+4%CM, 4%CA+8%CM y 4%CA+12%CM

Escala de medición: De razón

Variable dependiente: Estabilización de la subrasante

Definición conceptual: La estabilización de suelos es un método para incrementar las características físico mecánicas del suelo a tratar e incrementar sus cualidades naturales. Asimismo, la planificación de una estabilización que involucra un aditivo implica varias etapas, que incluyen la categorización del suelo, la identificación del estabilizante y sus proporciones, y la metodología de estabilización (49). La selección de la metodología de diseño está directamente vinculada al uso previsto del suelo estabilizado es con fines de pavimentación.

Definición operacional: Una vez determinado del contenido óptimo de cal y ceniza de madera para la estabilización de la subrasante, se realizará la verificación técnica económico y se estimará el espesor de mejoramiento para garantizar que la subrasante sea apropiada y la estructura del pavimento no falle de manera prematura.

Dimensión: Propiedades mecánicas y físicas.

Indicadores: Índice de plasticidad, índice de capacidad de soporte de california(CBR), espesor de estabilización.

Escala de medición: De razón.

3.3. Población, muestra y muestro**Población**

Se refiere a todas las unidades de estudio en una investigación, las cuales son seleccionadas según la naturaleza del problema. Estas unidades deben tener características comunes y conformar el total de unidades que serán investigadas (50). La población en la presente investigación es la Av. Luzuriaga, desde la progresiva Km 0+000.00 al Km 3+300.00 abarcando una longitud de 3.30 km y ubicada en el distrito de Carhuaz, provincia de Carhuaz, región Ancash. Esta población se delimito en función a un criterio técnico que es la tipología de suelos.

Criterio de inclusión: Es la selección de la población que cumplen con ciertas características necesarias para formar parte del estudio. Estos criterios son establecidos por el investigador y son esenciales para garantizar la confiabilidad y la representatividad de los logros conseguidos (51). Se define claramente los

criterios que determinan quiénes formarán parte del grupo de investigación. Asimismo, la investigación se centró en la evaluación los suelos presentes en la subrasante desde la progresiva Km 0 + 000.00 al Km 3 + 300.00 que abarca una extensión 3.30 km de la Av. Luzuriaga.

Criterio de exclusión: Es la selección de la población que no cumplen con ciertas características o condiciones necesarias para formar parte del estudio (51). Se define claramente los criterios que determinan quiénes no formarán parte de la población de estudio y quiénes serán excluidos. La presente investigación excluirá a todos los suelos de subrasante desde la progresiva Km 0 + 000.00 al Km 3 + 300.00 que no pertenecen a la Av. Luzuriaga.

Muestra

“Es una parte representativa de la población del cual se recolectan datos, es decir es un subconjunto de la población” (52), además, no existe la cantidad establecida para una muestra, pero se debe tener en cuenta la correcta delimitación para alcanzar los objetivos del problema planteado, existen dos tipos, probabilísticas y no probabilísticas (46). La muestra en la presente investigación se abordó de manera integral los suelos de subrasante asociados a la Av. Luzuriaga de la progresiva Km 1+750 al Km 3+200.

Muestro

“Es el proceso por el cual se extrae la muestra en un determinado trabajo de investigación” (52). El muestreo no probabilístico se emplea en situaciones donde la magnitud de la población es reducida y se consideran sus rasgos comunes, además, es seleccionado por el investigador (46). El muestreo en la presenta investigación es no probabilístico, se determina bajo el criterio del investigador, se hará de acuerdo a la sección más crítica para la evaluación, podrá fijarse a voluntad propia.

Unidad de análisis

La unidad de análisis es el objeto de estudio del cual se obtienen los datos o la información para el análisis de la investigación (46). Es la unidad básica sobre la cual se recopilan datos y se realizan observaciones. La unidad de análisis son los

suelos de la Av. Luzuriaga, situada en el distrito de Carhuaz, provincia de Carhuaz, región Ancash.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

“Como el conjunto de reglas y operaciones para el manejo de los instrumentos que auxilian al individuo en la aplicación de los métodos” (53 pág. 48). La elección del método de recolección de datos dependerá de la naturaleza del estudio, la disponibilidad de recursos, la validez y confiabilidad de la información requerida. En consecuencia, este estudio utilizó la observación directa para recolectar y procesar datos, examinar las variaciones y evaluar los efectos de la muestra, tanto con y sin la incorporación de cal y ceniza de madera.

Instrumentos de recolección de datos

Se puede definir como el mecanismo o instrumento que permite recopilar los datos necesarios para evaluar la hipótesis de investigación, determinando su aceptación o rechazo después del análisis correspondiente (53). Los instrumentos pueden variar en forma y función, además, se seleccionan de acuerdo con la naturaleza del estudio y los objetivos establecidos. Los instrumentos en la presente investigación, se empleó un formato estandarizado de registro de datos del laboratorio para llevar a cabo los ensayos de Proctor modificado, CBR y Consistencia, tanto con cómo sin tratamiento posterior a la incorporación de cal y ceniza de madera.

Validez

La validez en el ámbito de la investigación hace referencia a la correspondencia con la verdad o la proximidad a la misma. En términos generales, se sostiene que los resultados de una investigación poseen validez cuando el estudio se encuentra exento de errores (54). Asimismo, la validez es la medida en la que un instrumento es capaz de evaluar la variable que intenta medir, o de recopilar los datos que busca obtener (53). Se procedió validar con la evaluación de un experto del laboratorio, poseedor de una notable experiencia, evidenciando de este modo la confiabilidad inherente a la presente investigación.

Confiabilidad del instrumento

Una definición técnica de confiabilidad, útil para resolver tanto problemas teóricos como prácticos, se basa en la investigación del grado de error de medición presente en un instrumento de medición (55). Asimismo, un instrumento se considera confiable, preciso o reproducible cuando las mediciones que realiza producen resultados consistentes en diferentes momentos, entornos y poblaciones, siempre que se aplique en las mismas condiciones (56). Los equipos utilizados en la presente investigación tienen certificados de calibración, lo cual garantiza la confiabilidad y validación de los instrumentos, asimismo se emitieron certificados por el laboratorio.

3.5. Procedimientos

Localización del área de estudio

La Av. Luzuriaga se ubica en el distrito de Carhuaz, provincia de Carhuaz, región Ancash, con una longitud de 3.30m Km, además, esta Av. forma parte de la ruta Carhuaz – Baños la Merced de acuerdo al Registro Nacional de Carreteras, en la Red Vial Rural, tiene la codificación de AN-612 Emp. PE 3N.

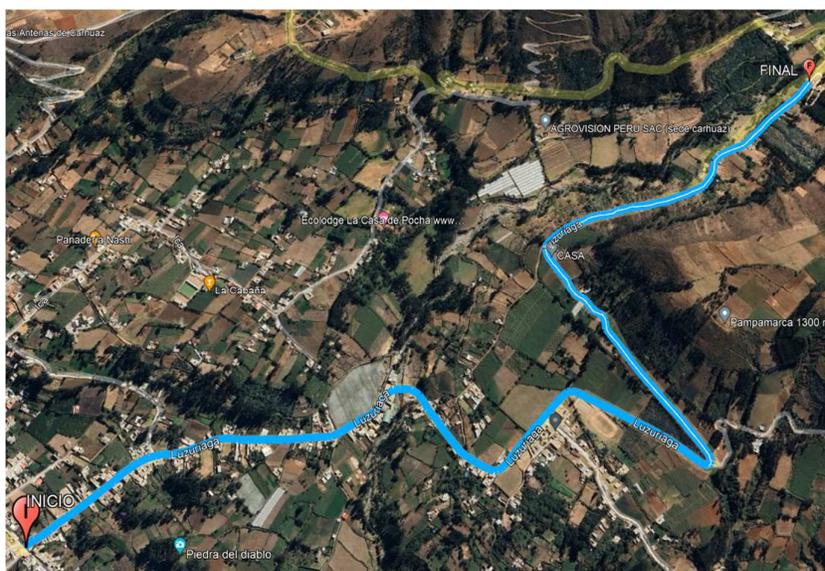


Figura 7. Delimitación del área de estudio Av. Luzuriaga.

Recolección de muestras

Este periodo se basó en la obtención de datos en el lugar de investigación; en primer lugar, el suelo utilizado en este estudio se obtuvo de la Av. Luzuriaga donde

se ubicó las zonas más críticas, las muestras se recolectaron mediante la excavación de 03 calicatas de 1.00 x 1.00 x 1.50m, en las progresivas Km 1+750.00, Km 2+350.00 y Km 3+200.00, seguidamente se extrajeron 200.00kg por calicata de muestras de suelo de la subrasante que fueron empaquetadas y llevadas al laboratorio de mecánica de suelos, rocas y concreto GEOCONSTRUMIN donde se llevó a cabo el trabajo experimental real con la muestra.



Figura 8. Muestra de la calicata N°01, Av. Luzuriaga en la progresiva Km 3+200.00.



Figura 9. Muestra de la calicata N°02, Av. Luzuriaga en la progresiva Km 2+350.00.



Figura 10. Muestra de la calicata N°03, Av. Luzuriaga Km: 1+750.00

En segundo lugar, se recurrió a la en la empresa M & CALERA SANTA S.A.C, es una entidad industrial dedicada producción y comercializa de óxido de calcio, cal viva y derivados. La empresa se encuentra ubicada en el distrito de Marcará, Carhuaz, Ancash. Además, el óxido de calcio (CaO) es un producto derivado de un proceso de calcinación de piedra caliza de alta pureza seleccionada rigurosamente de las canteras con una ley de 90%. Este proceso incluye molienda y clasificación, resultando la cal viva molida lista para ser comercializada en diferentes granulometrías, donde el porcentaje retenido en el tamiz N°30 (0%), tamiz N°100 (Max. 18%), donde se compró 2 sacos de MYCAL VIVA de 25kg.



Figura 11. Cal viva (óxido de calcio)



Figura 12. Muestra de Cal, en la empresa M & CALERA SANTA S.A.C

En tercer lugar, se acudió a la panadería Rosita, es una panadería dedicada a la producción de pan, ubicado en el distrito de Acopampa, Carhuaz, Ancash. En este lugar, se obtiene la ceniza de madera (CM), el cual es una sustancia fina en polvo de color gris a negro. Esta ceniza se produce mediante la calcinación de madera en hornos artesanales que superan los 600°C, estos residuos de combustión de madera se tamiza con la malla N°200 obteniendo aproximadamente 50kg.



Figura 13. Muestra de Ceniza de Madera, en la panadería Rosita.



Figura 14. Ceniza de madera (CM).

Caracterización de materiales

Análisis granulométrico (ASTM D 422)

El ensayo de gradación de partículas del suelo se llevó a cabo siguiendo las normativas ASTM D 422, NTP 339.129 y MTC E 107. Los equipos utilizados fueron una balanza y estufa, asimismo, los materiales que se utilizaron son los tamices de malla cuadrada de 3", 2" 1 ½", 1", ¾", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°140 y N°200, cepillo y brocha. En la primera fase, se tamizó la porción retenida en la criba N°4, usando las cribas 3", 2" 1 ½", 1", ¾", 3/8" y N°4, la operación se realizó de forma manual realizando movimiento de forma circular luego de desmontar los tamices se realiza la operación por un periodo de un minuto, determinando el peso de cada porción con una balanza de percepción de 0.1%. En la segunda fase, se tamizó la fracción fina que pasa la criba N°4, utilizando los tamices N°10, N°20, N°40, N°60, N°140 y N°200, la operación se realizó de forma manual realizando movimiento de forma circular luego de desmontar los tamices se realiza la operación por un periodo de un minuto, determinando el peso de cada porción con una balanza de percepción de 0.1%. en la tercera fase, se calculó el porcentaje retenido dividiendo el peso retenido entre el peso total, este procedimiento se repitió de manera similar para los demás tamices.

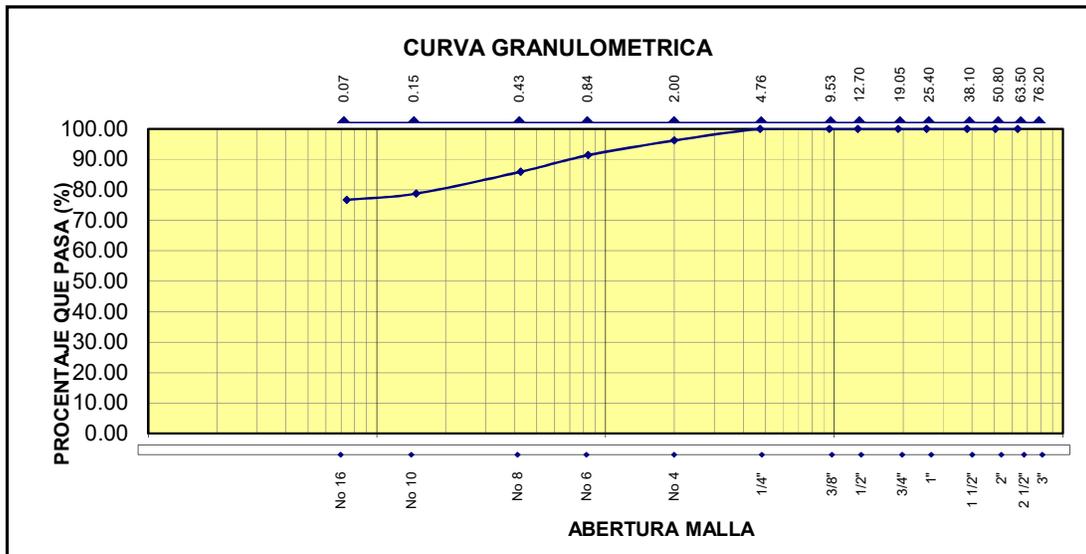


Figura 15. Curva Granulométrica de la muestra Patrón.

Límites de consistencia

Límite líquido (LL) (ASTM D4318)

El ensayo del Límite Líquido del suelo se llevó a cabo conforme a las normativas ASTM - D 4318, MTC - E 110 y NTP - 339.129. Los equipos utilizados fueron recipiente, acanalador, aparato de Casagrande, calibrador, estufa, tamiz N°40 y balanza, los materiales que se utilizaron son la espátula, y como insumo se utilizó agua pura, la muestra consistió en una porción representativa de 200g de material que pasa la criba N°40. Se realizó la preparación de la muestra en la capsula, añadiendo agua suficiente para que la muestra tenga una consistencia pastosa uniforme, posteriormente, la muestra preparada se colocó en el dispositivo de Casagrande esparciéndola hasta una altura aproximada de 10mm en su punto más profundo, la ranura se creó con el acanalador, luego levantando y liberando la copa a una frecuencia de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta lograr el cierre de la ranura, registrando la cantidad de golpes realizados. Se tomó una parte central una porción de muestra y se lleva al horno para calcular la humedad. El espécimen se mezcla nuevamente y se le agrega agua para incrementar la humedad y disminuir la cantidad de golpes, se realizaron pruebas para cierres que requirieron de 25 - 35, 20 - 30 y 15 - 25 golpes respectivamente, finalmente se determina la humedad siguiendo el método ASTM D-2216, este método consiste en calcular y consignar la masa del recipiente limpio y completamente seco, luego se seleccionaron las

muestras más representativas, se pesó el suelo en estado húmedo en el contenedor, se calcula y documenta dicho peso, además el contenedor con el material húmedo fue puesto en el horno a una temperatura de 110°C durante 12 horas. Una vez seco el material, se determina y registra el peso del recipiente y material seco, facilitando el cálculo de la humedad mediante la relación de peso del agua entre el peso del suelo seco; se calculó el limite liquido de cada espécimen mediante la relación de peso del agua entre el peso del suelo seco.



Figura 16. Ensayo de Limite Liquido.

Limite plástico (LP) (ASTM D 431)

Con respecto al ensayo de limite plástico del suelo, se llevaron cabo siguiendo las normativas ASTM D 4318, MTC E 111 y NTP 339.129. Los equipos utilizados fueron espátula, recipiente, balanza, estufa, tamiz N°40, superficie de rodadura y como insumo se utilizó agua destilada. La muestra es una porción representativa de 20g de material que paso por la criba N°40, previamente preparada en el ensayo de limite líquido, esta se amasa hasta lograr una esfera de la cual se tomó 2gr de la para el ensayo. El procedimiento se llevó a cabo moldeando la muestra con geometría elipsoidal y rodándola manualmente hasta formar cilindros de un diámetro de 3.2mm hasta desmoronaran, la porción resultante se pesó y coloco en la estufa, luego se determina la humedad de acuerdo a la normativa ASTM D-2216 ya descrito anteriormente.



Figura 17. Ensayo de Limite Plástico.

Proctor modificado (ASTM D 1557)

Con respecto al ensayo de Proctor Modificado del suelo, se llevaron a cabo conforme a las normativas ASTM - D 1557, MTC - E 115 y NTP - 339.141. Los equipos utilizados incluyeron el ensamblaje del molde, balanza, molde de 4", el pisón manual, horno, extractor de muestras, y como materiales se utilizaron la regla, tamices $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4 de acuerdo a las recomendaciones del ASTM E11. La muestra requerida fue de 16.00kg, posteriormente, se determinó la proporción de partículas atrapadas en la criba N°4, $\frac{3}{8}$ " o $\frac{3}{4}$ " para seleccionar entre los métodos A, B o C, se efectúa la evaluación mediante tamizado de los agregados gruesos y finos de acuerdo ASTM C136. Se eligió el molde de compactación siguiendo el procedimiento A, luego se determinó el peso y se registró. Se ensambló el conjunto del molde, la base y el collar, se determinó el contenido de agua y se prepararon 4 especímenes con agua cercana a la humedad óptima, luego para el resto de los especímenes, con variación de 2%, se utilizan 2300gr de suelo para cada muestra compactada utilizando el método A, al obtener las cantidades de agua de los especímenes se añadió gradualmente durante la mezcla, luego se registró el peso y se colocó al horno sin exceder los 60°C, esto se realizó antes de la compactación. Iniciada la compactación, se determinó el peso del molde y el plato de la base, los especímenes se compactaron en 5 capas, teniendo aproximadamente el mismo espesor, utilizando 25 golpes en cada capa. Se

aseguró que la quinta capa compactada se expandiera dentro del collar hasta un máximo 6mm desde la superficie del molde, en caso que la quinta capa se extendía más de 6mm el espécimen era descartado. Tras compactar la capa final, se retiró el collar y se niveló cuidadosamente el espécimen compactado con una regla, se anotó el peso de la muestra y del molde, posteriormente, se extrajo el material del molde y se tomó una parte del espécimen compactado para determinar la humedad, siguiendo la normativa del ASTM - D 2216 descrito anteriormente.



Figura 18. Peso de muestra de suelos 2500gr.

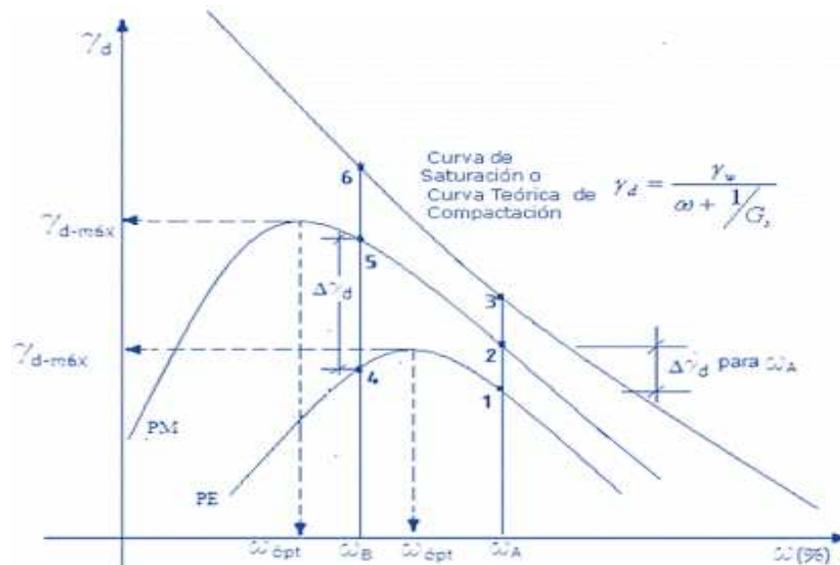


Figura 19. Curva de Compactación y curva de saturación (57).



22 ago 2023 1:08:13 p. m.
181 222491 8945395
799 Jirón Simón Bolívar
Cercado de Huaraz
Huaraz
Ancash

Figura 20. Ensayo de Proctor Modificado, compactación de la muestra dosificada en 5 capas dando 25 golpes por capa.



22 ago 2023 12:34:20 p. m.
181 222490 8945388
797 Jirón Simón Bolívar
Cercado de Huaraz
Huaraz
Ancash

Figura 21. Ensayo de Proctor Modificado, registro del peso de molde más suelo compactado.

California Bearing Ratio (CBR) (ASTM D 1883)

En relación al ensayo CBR del suelo, se siguieron las normativas ASTM D 1883 y MTC E 132. Los equipos empleados incluyeron una prensa, molde de 6", disco espaciador, pisón manual, aparato medidor de expansión, estufa, pesas, pistón de penetración, balanza, dos diales de recorrido, tanque, tamices 2", ¾" y N°4. La muestra se preparó para la compactación según la normativa NTP 339.141 o NTP

337.142 para un molde de 6". Se pesó el conjunto formado por el molde y base, se añadió el disco espaciador y collar, se estableció el contenido de humedad ideal y se calculó la densidad en estado seco mediante la prueba de Proctor modificado mencionado anteriormente. Posteriormente, se determinó el contenido de agua natural y se le añadió la cantidad necesaria para lograr la humedad óptima, luego de preparar los especímenes, se compactaron en 5 capas con golpes de 56, 25 y 12 golpes por capa, respectivamente, luego se tomó una porción de material 100gr antes y después de la compactación, se mezclaron y se determinó la humedad del suelo según las recomendaciones del ensayo MTC E 108. Tras completar la consolidación, se retiró el collar y se niveló el espécimen con un alisador, se desarmó el molde. Se volvió a ensamblar de forma invertida interponiendo un papel filtro entre el molde y la base sin el disco espaciador, luego, se dispuso sobre la muestra compactada la placa perforada con vástago, colocando encima los anillos necesarios para lograr la sobrecarga equivalente a la presión generada por todas las capas de materiales que se hallan sobre la superficie del suelo, con una carga total de al menos 4.54kg. Finalmente se colocaron los diales haciendo coincidir con el vástago y se anotó la primera medición, luego se sumergió dentro del recipiente con la carga adicional puesta y se mantuvo durante 96 horas con agua constante.



Figura 22. Ensayo de California Bearing Ratio (CBR), compactación de la muestra dosificada en 5 capas dando 56, 25 y 12 golpes por capa.



Figura 23. Ensayo de CBR, peso de molde más la muestra compactada sin sumergir.



Figura 24. Ensayo de CBR, se sumerge en agua los moldes durante 96 horas.

Pasado el periodo de inmersión de 96 horas, los moldes se retiran del tanque y se dejaron reposar por 15 minutos, se retira la sobrecarga e inmediatamente se pesa, luego se llevó a la prensa y se colocaron la sobrecarga de igual peso del pavimento no menor a 4.54kg. Se ajustó el dial del medidor para permitir la medición de la penetración del pistón y se aplicó una carga de 5 kg para que el pistón se asentara.

Luego, se llevó a cabo el ensayo de penetración, aplicando carga al pistón mediante un gato, con una velocidad constante de 1.27 mm por minuto. Dado que la prensa es manual, se controló utilizando el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se registraron las lecturas de carga. Finalmente, se desmontó el molde y se tomó una muestra de la parte superior para determinar la humedad.



Figura 25. Ensayo de CBR, se sumerge en agua la probeta durante 96 horas.



Figura 26. Ensayo de CBR, ensayo de penetración.

Tabla 8. Caracterización de la muestra patrón.

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D - 422)						CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D-2216)	
Tamices ATM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Contenido de Humedad	= 9.73%
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00	LIMITES DE CONSISTENCIA	
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	L.L.	= 32.01
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	L.P.	= 18.32
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	I.P.	= 13.69
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	CLASIFICACION DE SUELOS SUCS	
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00	(CL) Arcilla de Baja Plasticidad con Arena	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	CLASIFICACION DE SUELOS AASHTO	
N°04	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	A - 6 (11)	
N°10	2.00	142.48	3.76	3.76	96.24	ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)	
N°20	0.84	182.28	4.81	8.57	91.43	Máxima Densidad Seca	1.83 gr/cm3
N°40	0.43	205.88	5.43	14.00	86.00	Contenido Humedad Optima	12.80 %
N°100	0.15	272.18	7.18	21.18	78.82	VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)	
N°200	0.08	77.78	2.05	23.23	76.77	C.B.R. AL 100%	5.70 %
< N°200		1.50	0.04	23.27	76.73	C.B.R. AL 95%	4.70 %
Total		882.10					
% GRAVA		% ARENA			% FINOS		
0.00		23.23			76.77		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA			
0.00	0.00	3.76	10.24	9.23	76.77		

Dosificación de cal (CA) y ceniza de madera (CM)

La dosificación de cal y ceniza de madera para la estabilización de la subrasante de la Av. Luzuriaga se realizó con tasas de 4%CAL+4%CM, 4%CAL+8%CM y 4%CAL+12%CM, luego se realizaron los ensayos de Limite Liquido (ASTM D 4318), Limite plástico (ASTM D 4318), Ensayo de Proctor modificado (ASTM D 1557) y Ensayo California Bearing Ratio (CBR) (ASTM D 1883) para las diferentes dosificaciones.



Figura 27. Muestra patrón dosificada con 4% CA + 4% CM.



Figura 28. Muestra patrón dosificada con 4%CA + 8%CM.



Figura 29. Muestra patrón dosificada con 4%CA + 12%CM.

Diseño de espesor de estabilización

El espesor de estabilización mediante la rigidez equivalente es un enfoque que tiene en cuenta la rigidez del suelo estabilizado y el suelo natural para determinar el espesor necesario de la capa estabilizada, lo que proporciona una base más precisa para el diseño y la construcción de pavimentos estabilizados, este espesor se calculó mediante la ecuación 04. Además, se verificó que el espesor calculado de la capa estabilizada cumpla con los criterios de diseño y las especificaciones técnicas.

Diseño de pavimento flexible AASHTO-93

El método de diseño de pavimentos con el AASHTO - 93 implica el uso de la guía establecida en el "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures". Este método proporciona un enfoque racional para diseñar el pavimento flexible y tiene en cuenta varios factores, incluyendo el tráfico, el suelo, el clima y las propiedades de la estructura del pavimento. En primer lugar, se calculó ESAL de diseño, se realizó en conteo de tráfico, después de consolidar y revisar los datos recopilados de los conteos, se obtuvieron los resultados de los volúmenes de tráfico diarios, clasificados por tipo de vehículo y sentido de circulación. El informe presenta tanto los resultados individuales por sentido como la consolidación de ambos sentidos en la Tabla 9.

Tabla 9. Resumen de clasificación Vehicular

Tipo de vehículo		Sentido E - O							VDC	Sentido O - E							VDC
		Nov-23								Nov-23							
		Km: 0+000 - Av. Luzuriaga								Km: 0+000 - Av. Luzuriaga							
		D	L	M	M	J	V	S		D	L	M	M	J	V	S	
Auto	Auto	42	24	34	39	38	41	28	246	38	24	35	36	35	42	28	238
	Station Wagon	44	24	28	23	28	16	22	185	42	26	28	23	28	16	23	186
Camionetas	Pick Up	12	9	5	6	8	6	10	56	11	9	5	6	8	6	10	55
	Panel	4	3	2	1	1	1	2	14	4	3	2	1	1	1	1	13
	Rural (Combi)	23	29	24	32	37	35	8	188	22	29	24	32	37	36	7	187
Micro	Micro	2	4	3	2	2	3	2	18	2	5	3	2	2	3	2	19
Bus	2E	2	2	11	2	3	2	1	23	2	3	11	1	3	2	1	23
	3E								0								0
Camion	2E	18	8	3	14	9	12	13	77	16	8	3	13	12	12	13	77
	3E	12	5	2	4	3	4	3	33	8	6	1	4	3	4	3	29
	4E	4	2	1	2	2	1	1	13	4	2	1	1	2	1	1	12
Semi Trayler	2S1/2S2	2	2	1	2	1	3	2	13	2	2	1	2	1	3	2	13
	2S3																
	3S1/3S2																
	3S3																
Trayler	2T2																
	2T3																
	3T2																
	3T3																
Total		165	112	114	127	132	124	92	866	151	117	114	121	132	126	91	852

Para determinar el índice media diario (IMDs), se calcula en base al flujo vehicular diario promedio recopilado en la Tabla 9, los datos mostrados son los totales de ingreso y salida, que representa el número semanal de vehículos derivado del recuento diario, seguido por la obtención de un promedio semanal el cual resulta el IMD, para la variación estacional se tuvo un punto de aforo, donde los factores de corrección desempeñan un papel crucial en la compensación de las variaciones estacionales durante el año con el objetivo de obtener un promedio diario anual representativo. Asimismo, los factores correctivos se derivan de series históricas del Índice Medio Diario (IMD) correspondiente al tramo de interés o de vías situadas en áreas comparables a la del estudio. A pesar de que la investigación de tráfico se lleva a cabo en noviembre, período en el cual la cantidad de automóviles circulando en la carretera es notablemente bajo debido a las deficientes condiciones de transpirabilidad, se estima que el volumen vehicular diario registrado se aproximará al promedio anual.

En consecuencia, se ha seleccionado el Factor de Corrección asociado a dicho mes, y al peaje más cercano, se ha decidido emplear el Peaje Catac, ubicado en la zona cercana a la investigación, dicho peaje presenta una ligera variación superior e inferior a uno, sin embargo, considerando las condiciones particulares de la vía, se ha tomado los factores de corrección del mes de noviembre de los volúmenes de tráfico con un Factor de Corrección de 1.1169 para vehículos ligeros y 0.9958 para vehículos pesados, Por otra parte, respecto a la variación anual del número de vehículos livianos se tomó la tasa de crecimiento poblacional del distrito de Carhuaz que es de 1.50%, por otra parte para la variación anual de la cantidad de vehículos pesados se toma el crecimiento económico expresada como el producto bruto interno (PBI), el cual se es para la región Ancash de 4.20% extraída del indicador específico del PBI por departamentos según el (INEI) (58), finalmente se calcula la proyección del tráfico durante un ciclo de diseño de 20 años mediante la ecuación 6, los datos se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Trafico medio diario.

Sent.	VEHICULOS LIGEROS						BUS		CAMIONES UNITARIOS			SEMITRAILER				TOTAL	%
	Autos	Station Wagon	Pick Up	Panel	Rural Combi	Micros	2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3		
E - O	246	185	56	14	188	18	23		77	33	13	13				866	50.4%
O - E	238	186	55	13	187	19	23		77	29	12	13				852	49.6%
TOTAL	484	371	111	27	375	37	46		154	62	25	26				1718	
%	28.17%	21.59%	6.46%	1.57%	21.83%	2.15%	2.68%		8.96%	3.61%	1.46%	1.51%				100.00%	
IMD	69.14	53.00	15.86	3.86	53.57	5.29	6.57		22.00	8.86	3.57	3.71				245.43	
K	1.1169	1.1169	1.1169	1.1169	1.1169	1.1169	0.9958		0.9958	0.9958	0.9958	0.9958					
IMD	77.23	59.20	17.71	4.31	59.83	5.90	6.54		21.91	8.82	3.56	3.70				268.704	
IMD	77.00	59.00	18.00	4.00	60.00	6.00	7.00		22.00	9.00	4.00	4.00				270.00	
IMD	102.18	78.29	23.89	5.31	79.62	7.96	15.30		48.07	19.67	8.74	8.74				397.76	
IMD20	102.00	78.00	24.00	5.00	80.00	8.00	15.00		48.00	20.00	9.00	9.00				398.00	
Factor de corrección vehículo ligeros				F _{CL} =	1.1169												
Factor de corrección vehículo pesados				F _{CP} =	0.9958												
Tasa de crecimiento vehicular liviano				r =	1.50												
Tasa de crecimiento vehicular pesado				r =	4.20												
Periodo de diseño				n =	20.00												

Finalmente para determinar los ejes equivalentes ESAL, considerando la distribución de cargas por eje equivalente para pavimento flexible donde se muestran las ecuaciones para los diferentes ejes en el cuadro 6.3, además los factores de carril (F_c) y dirección (F_d) se toman del cuadro 6.1 tomadas del Manual de Carreteras Suelos y Pavimentos (MTC), considerando una calzada con dos sentidos y un sentido por carril se toman los valores de F_d de 0.50 y F_c de 1.00, considerando el factor de vehículos pesados (F_{ca}) de 30.40 y los factores de ajuste por presión de 1.00, los resultados se obtienen mediante las ecuaciones 7 y 8 que se representa en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores del índice medio diario.

Tipo de Vehículo		IMDpi	F_d	F_c	F_{vpi}	F_{pi}	F_{ca}	ESAL
Bus	2E	15.00	0.50	1.00	0.0011	1.00	30.40	87.727
	3E	0.00	0.50	1.00	2.6313	1.00	30.40	0.000
Camiones	2E	22.00	0.50	1.00	4.5037	1.00	30.40	549764.535
	3E	9.00	0.50	1.00	3.2846	1.00	30.40	164025.522
	4E	4.00	0.50	1.00	2.7895	1.00	30.40	61912.629
Semi Traylor	2S1/2S2	4.00	0.50	1.00	6.5229	1.00	30.40	144773.000
								920563.414

Por otro lado, para determinar el número estructural (SN) mediante la ecuación de pavimento flexible de AASHTO-93 plasmada en la ecuación 5, las variables de ingreso son el Módulo de resiliencia (M_r) el cual se calcula mediante la ecuación 9, con los valores del CBR equivalente del suelo estabilizado con 4%CA+4%CM, 4%CA+8%CM, y 4%CA+12%CM, luego para la Confiabilidad (%R) de categoría de carga indicada en EE es de 920563.414, la categoría de circulación es T_{P4} donde el grado de fiabilidad se toma 80.00%, por otro lado la desviación estándar combinada (S_0) es de 0.45, el coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Z_r) -0.842, índice de serviciabilidad inicial se tomó de acuerdo a al rango de tráfico mencionado el cual es 3.80 y para la serviciabilidad final se tomó 2.00. Luego de obtener el valor de SN este se ajusta el grosor efectivo de las capas individuales en la estructura del pavimento flexible, que incluye el asfalto, la base y la sub-base, mediante la ecuación 10; asimismo, para determinar el índice estructural de la capa asfáltica en caliente a 20 °C con un módulo de elasticidad de 430,000 PSI se utiliza

el ábaco representada en la Figura 30, donde ingresamos el valor del módulo Resiliente a lo largo del eje horizontal y con la intersección con la curva se proyecta en el eje vertical obteniendo un valor de a_1 igual a 0.44; por otro lado, para índice estructural de la base considerando una base granular de CBR de 100% se utilizó el ábaco plasmado en de Figura 31, donde se obtiene un valor para a_2 de 0.14; asimismo para el coeficiente estructural de la sub-base teniendo en cuenta la característica de la sub-base granular de un valor de CBR de 40%, registramos el valor en el ábaco ilustrada en la Figura 32, donde obtenemos un valor para a_3 de 0.12.

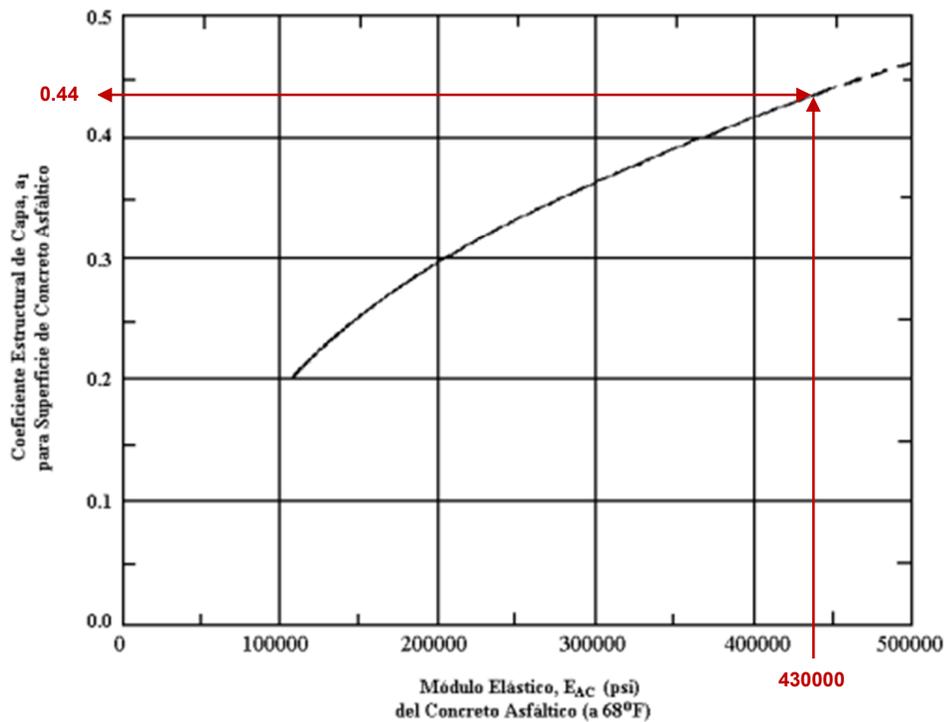


Figura 30. Abaco para la carpeta asfáltica a_1 .

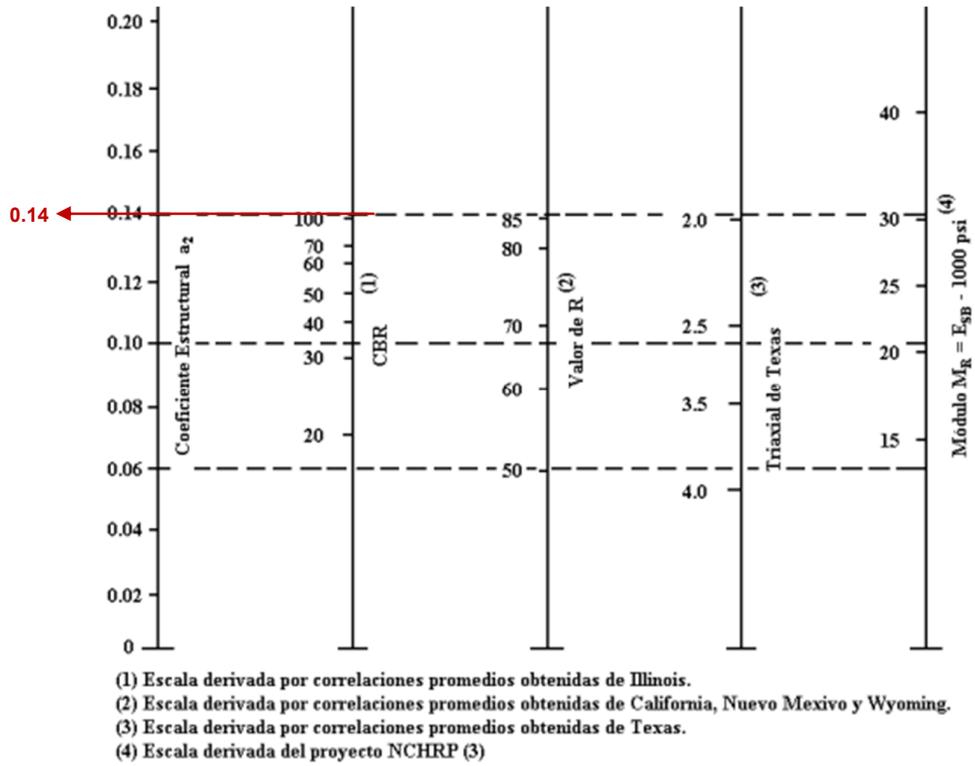


Figura 31. Abaco para la capa granular a₂.

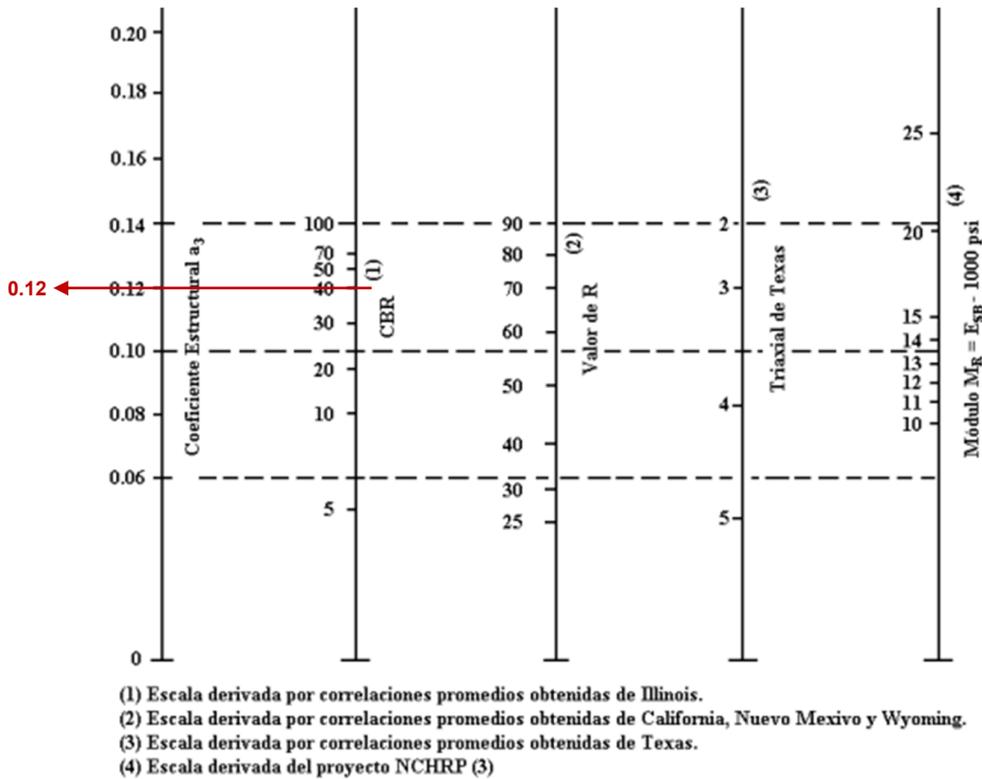


Figura 32. Abaco para capa sub-base granular a₃.

Por el contrario, el Manual de Carreteras de Suelos y Pavimentos del (MTC), para la estructura del pavimento flexible recomienda los coeficientes estructurales para la capa asfáltica en caliente a 20°C y módulo resiliente de 430, 000 PSI el valor a_1 de 0.17, asimismo, el índice estructural para la base granular del pavimento con un valor de CBR de 100% se tiene un valor de a_2 igual a 0.054 y para la sub-base granular de un valor de CBR de 40% el valor es de a_3 igual a 0.047. Acerca del coeficiente de drenaje (m_i) se toma considerando la calificación de buena con un tiempo de evacuación del agua en un día y que la humedad afectara la estructura del pavimento mayor a 25% se toma el valor de 1.00.

3.6. Método de análisis de datos

La información derivada de los ensayos de laboratorio, tal como se explicó previamente, fue examinada utilizando hojas de cálculo, tablas, cuadros y gráficas estadísticas. Este análisis se ha llevado a cabo con el objetivo de estudiar la relación entre la variable independiente y dependiente. Los resultados obtenidos fueron interpretados para formar conclusiones pertinentes que abordaran tanto el problema general como los específicos planteados en la investigación. Además, se procedió a verificar las hipótesis establecidas en el curso de este estudio.

3.7. Aspectos éticos

El estudio llevado a cabo refleja la dedicación y esfuerzo invertidos para la ejecución efectiva del proyecto de investigación, demostrando autenticidad y veracidad. Se contó con el respaldo de referencias bibliográficas provenientes de diversos autores, citadas de acuerdo con la norma ISO 690, siguiendo los valores y principios característicos del investigador.

IV. RESULTADOS

Descripción de la zona de estudio

Ubicación Política

El área de estudio está ubicada en la Av. Luzuriaga, distrito de Carhuaz, provincia de Carhuaz, departamento de Ancash.

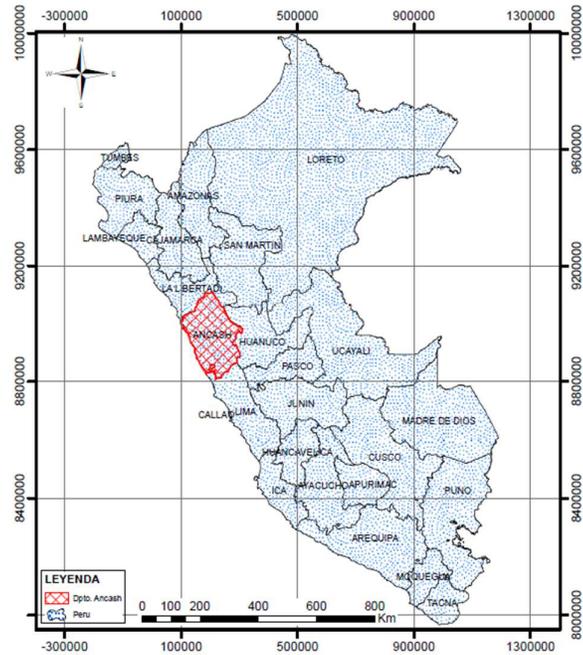


Figura 33. Ubicación del departamento de Ancash.

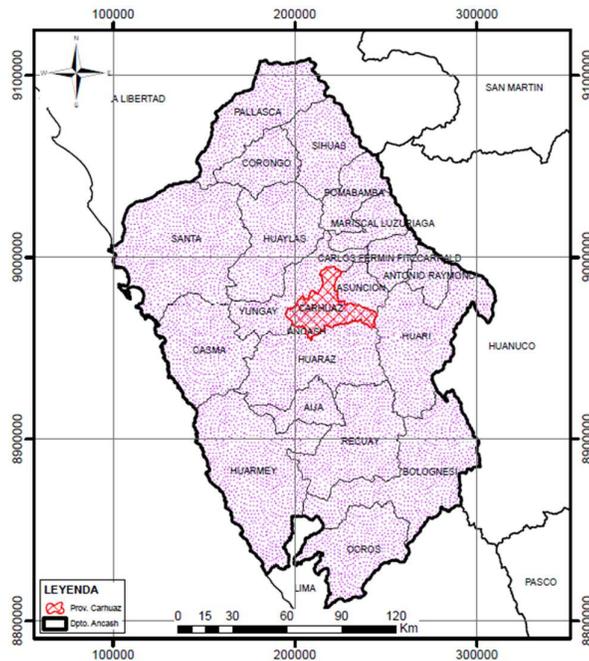


Figura 34. Ubicación de la provincia de Carhuaz.

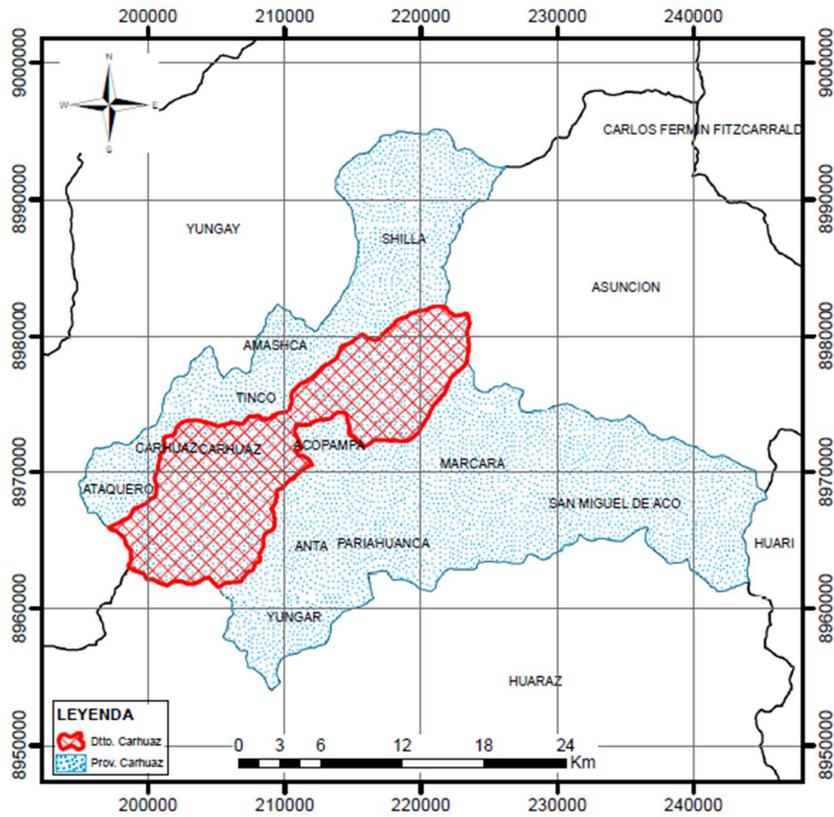


Figura 35. Ubicación del distrito de Carhuaz.

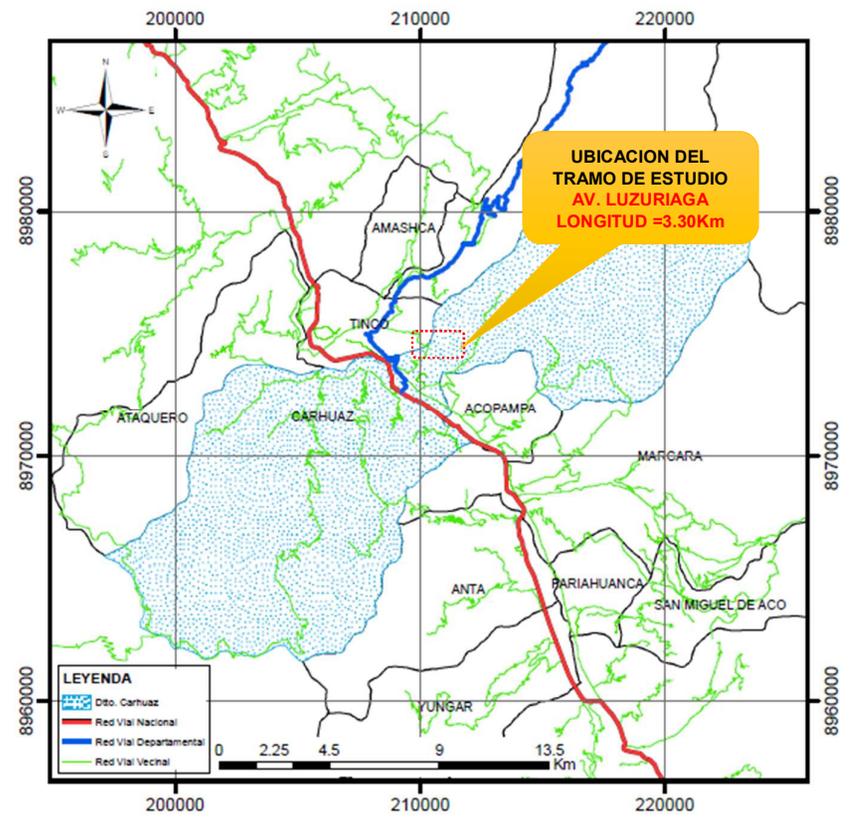


Figura 36. Ubicación del área de estudio Av. Luzuriaga

Limites

Norte : Provincia de Yungay.

Sur : Provincia de Huaraz.

Este : Provincia de Asunción.

Oeste : Provincia de Casma.

Ubicación geográfica

La investigación se encuentra ubicada en distrito de Carhuaz se sitúa en las coordenadas geográficas 9°16'54" S y 77°38'47" O, abarcando una superficie de aproximadamente 804.00 km². Esta área presenta una altitud de 2,648 m.s.n.m. Según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la población del distrito alcanzó los 45,184 habitantes en el año 2017.

clima

El clima del distrito es diverso, marcado por dos estaciones bien definidas: el invierno, que corresponde al periodo lluvioso de enero a abril; y el verano, que va de mayo a diciembre, durante este último periodo, se experimenta un clima caluroso durante el día y temperaturas frías por la noche, la temperatura promedio oscila entre los 10°C y los 20°C a lo largo del año. Además, la precipitación en el distrito varía entre 500 y 700 mm al año.

Objetivo específico N°01: Reducir el índice plástico con la adición de cal y ceniza de madera de los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.

Tabla 12. Valores del índice de plasticidad.

N°	Muestra Dosificada	LL (%)	LP (%)	IP (%)
01	SN	32.01	18.32	13.69
02	SN + CAL (2%)	30.24	18.22	12.02
03	SN + CAL (4%)	28.61	18.18	10.43
04	SN + CAL (6%)	28.64	20.13	8.51
05	SN + CAL (8%)	27.91	20.6	7.31
06	SN (+ CAL (4%) + CM (4%)	39.21	31.7	7.51
07	SN (88%) + CAL (4%) + CM (8%)	38.46	32.31	6.15
08	SN (86%) + CAL (4%) + CM (10%)	38.54	34	4.54

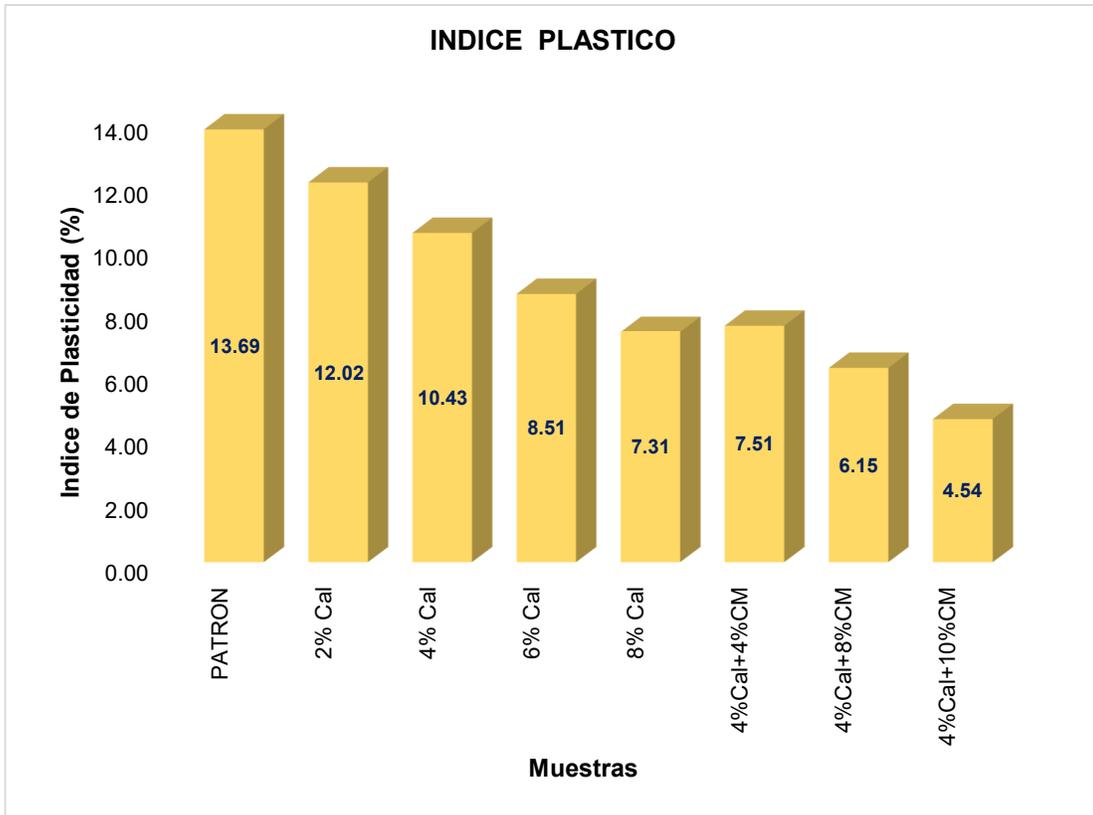


Figura 37. Índice de plasticidad con dosificación de cal y ceniza de madera.

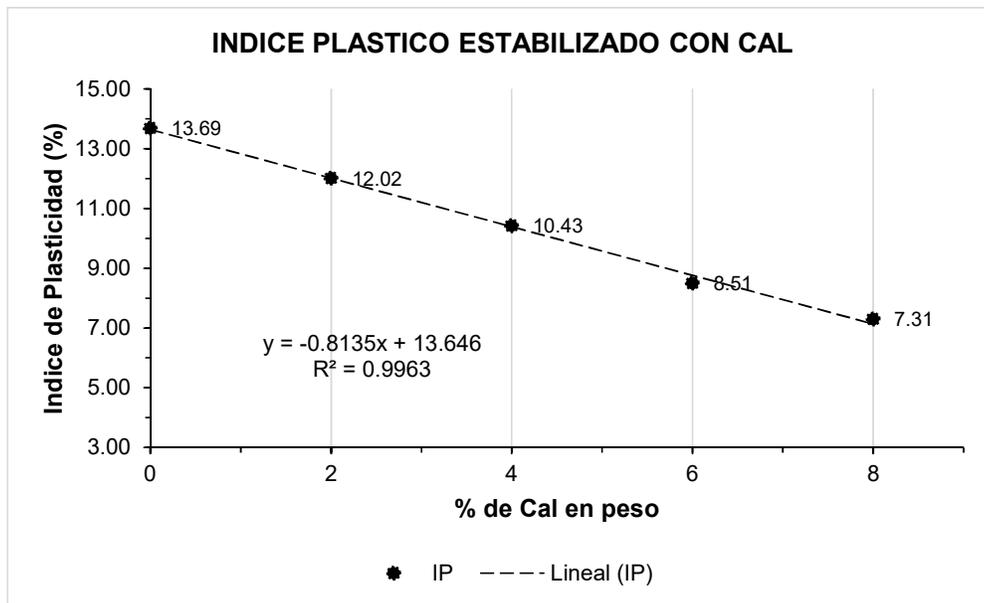


Figura 38. Índice de plasticidad con dosificación de cal.

Tradicionalmente los suelos con una elevada concentración de arcilla o expansivos son estabilizados con cal, ya que tiene la capacidad de mejorar las propiedades del

suelo bajo reacciones químicas o cambios físicos, en ese contexto, se adoptó la estabilización con cal como punto de partida y se puede observar en la Figura 38 que a mayor tasa de incorporación de cal el índice plástico se reduce.

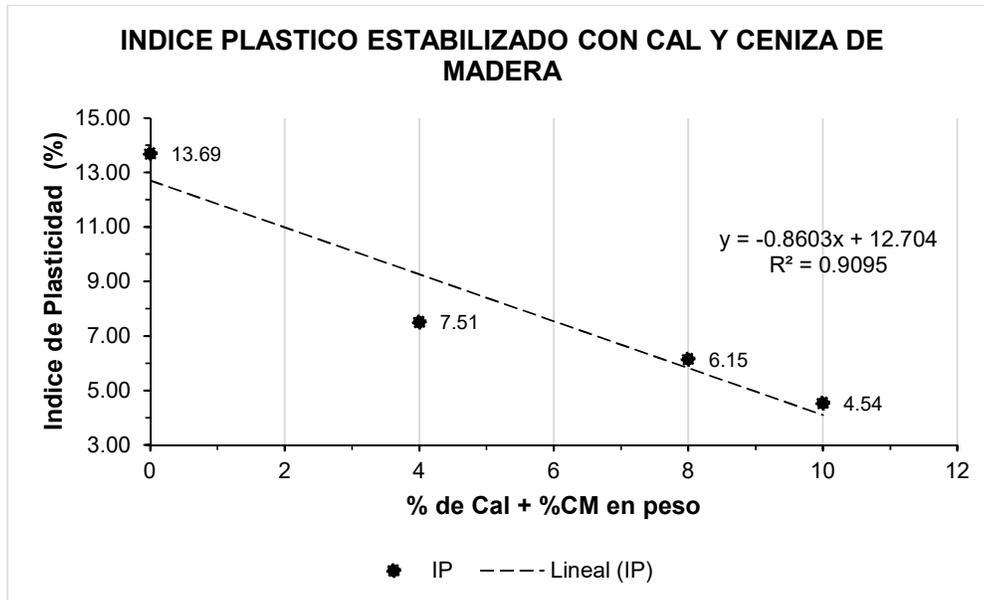


Figura 39. Grafica de dispersión para la subrasante con dosificación de cal y ceniza de madera.

De acuerdo a la

Tabla 12 y Figura 39, el índice plástico (IP) del suelo de la subrasante tiene un valor de 13.69% esto indica que el suelo tiene una plasticidad media, esto indica que el suelo tiene una tendencia a experimentar alteraciones significativas en volumen y deformaciones bajo carga. Los suelos medianamente plásticos, como los arcillosos, pueden ser problemáticos en aplicaciones de construcción, ya que pueden llevar asentamientos y deformaciones no deseadas en la estructura de pavimentos; por otra parte, luego a de adicionar mezcla de cal y ceniza de madera (CM) en tasas de 4% Cal+4%CM, 4% Cal+8%CM y 4% Cal+10%CM donde se obtuvo valores de índice de plasticidad de 7.51, 6.15 y 4.54% respectivamente, estos valores indican una reducción significativa en la plasticidad del suelo en comparación con su estado sin alterar, esto es beneficioso para proyectos de construcción y pavimentación, ya que un suelo menos plástico es más adecuado para proporcionar una base estable y resistir las cargas sin deformación excesiva; esto se debe principalmente a las componentes químicos de la cal y ceniza de madera aumentan el pH del suelo, el aumento del pH causa una disminución en la

carga superficial de las partículas del suelo, lo que disminuye su tendencia a atraer y retener agua y, por lo tanto, a mayor tasa de adición de cal y ceniza de madera el índice de plasticidad disminuye.

Objetivo específico N°02: Determinar el incremento de la resistencia de carga con la adición de cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.

Tabla 13. Valores de CBR.

N°	Muestra Dosificada	MDS (gr/cm ³)	OCH (%)	CBR (95% MDS)
01	SN (100%)	1.83	12.8	4.7
02	SN (98%) + CAL (2%)	1.91	12.4	6.2
03	SN (96%) + CAL (4%)	1.92	11.9	10.3
04	SN (94%) + CAL (6%)	2.01	11.1	10.2
05	SN (92%) + CAL (8%)	2.06	10.3	12.1
06	SN (92%) + CAL (4%) + CM (4%)	1.89	10.6	19.5
07	SN (88%) + CAL (4%) + CM (8%)	1.9	11.2	24.2
08	SN (84%) + CAL (4%) + CM (12%)	1.92	12.5	31.4

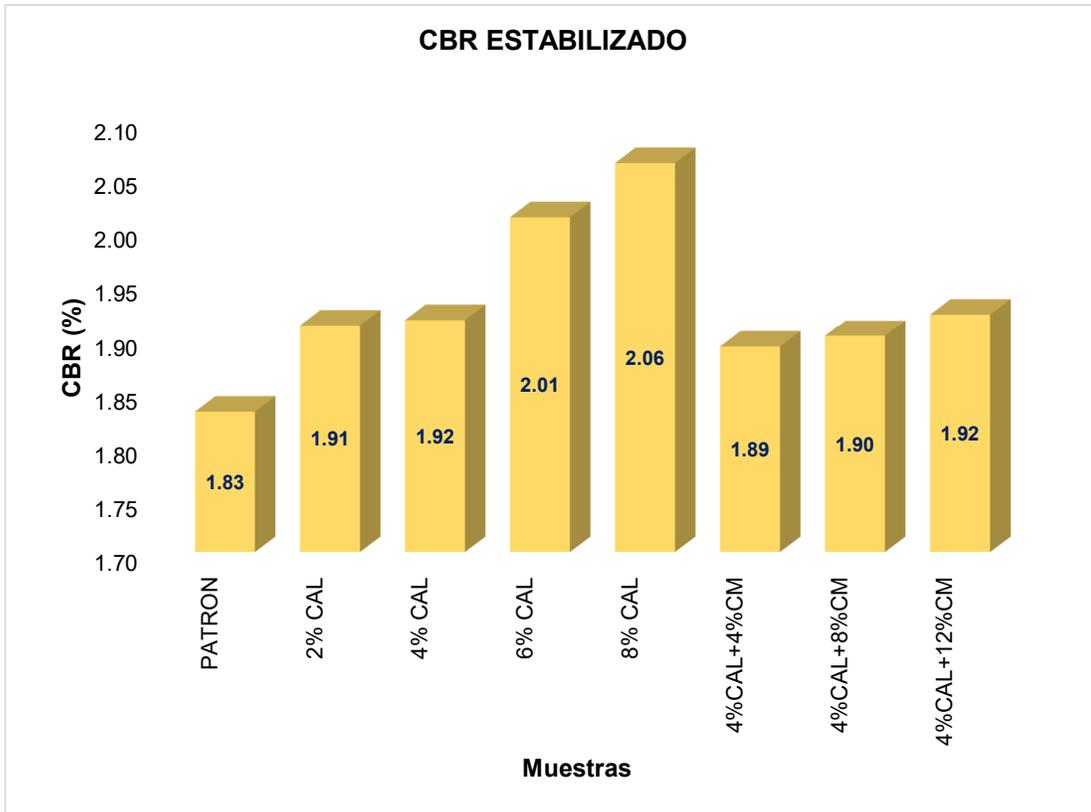


Figura 40. CBR estabilizado, con dosificación de cal y ceniza de madera. Tradicionalmente los suelos con elevada concentración de arcilla o expansivos son estabilizados con cal, ya que tiene la capacidad de mejorar las propiedades del suelo bajo reacciones químicas o cambios físicos, es por ello, se adoptó la estabilización con cal como punto de partida y se puede observar en la Figura 41, que a mayor tasa de incorporación de cal, la capacidad de soporte experimenta un incremento.

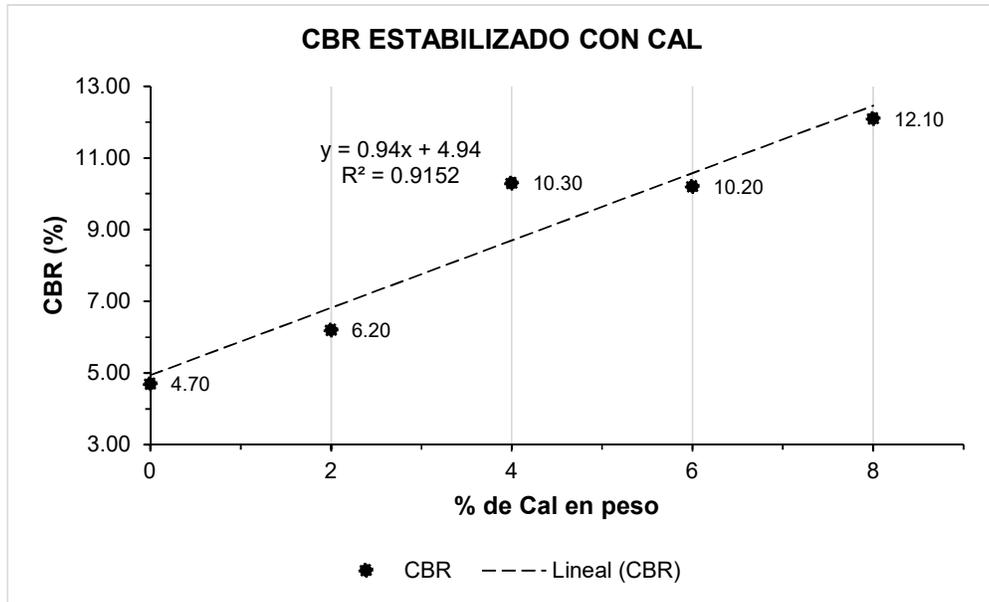


Figura 41. Grafica de dispersión del CBR, subrasante con dosificación de cal.

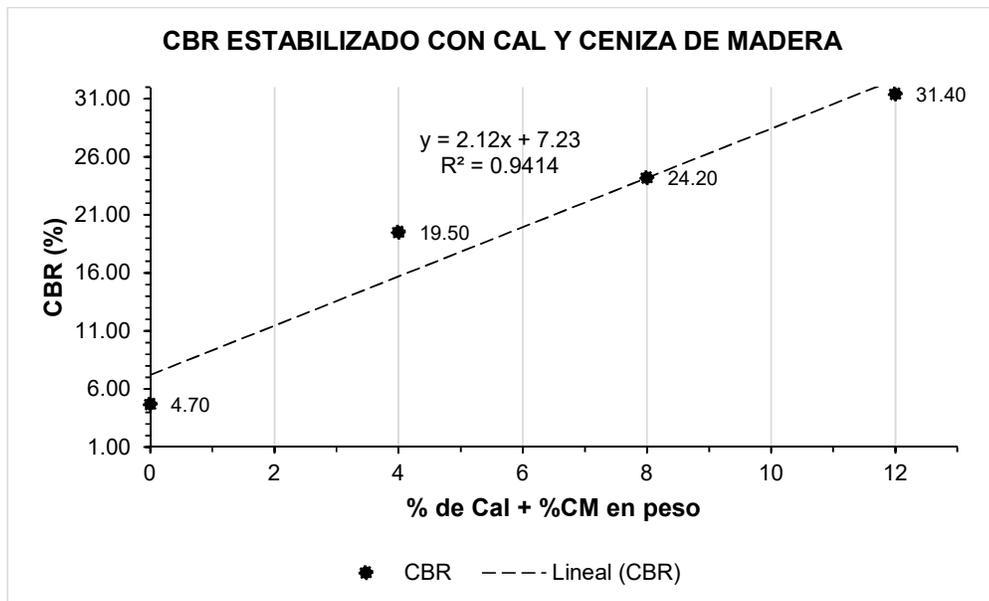


Figura 42. Grafica de dispersión del CBR, subrasante con dosificación de cal y ceniza de madera.

De acuerdo a la Tabla 13 y la Figura 42, el CBR del suelo de la subrasante tiene un valor de 4.70%, esto indica que el suelo en su condición original tiene una capacidad de soporte baja, siendo propenso a deformaciones bajo carga y no sea adecuado si se plantea construir una carretera o estructura en este suelo sin mejora; es por ello, que luego de adicionar la mezcla de cal y ceniza de madera (CM) en tasas de 4% Cal+4%CM, 4% Cal+8%CM y 4% Cal+12%CM, obteniéndose valores de 19.50, 24.20 y 31.40% respectivamente, como se puede observar la

combinación de cal y ceniza de madera ha tenido un efecto sinérgico en la estabilización del suelo, ya que a una mayor tasa de adición de la mezcla sugiere una alta capacidad de carga, asimismo, lo cual podría ser beneficioso para proyectos de construcción y pavimentación al poseer una mayor estabilidad y capacidad de soporte; esto se debe principalmente a los componentes químicos de la cal y ceniza de madera, en el caso de cal, al agregarse al suelo y se exponerse a la humedad experimenta una reacción de hidratación con el agua formando un hidróxido de calcio, esto contribuye a mejorar la cohesión entre las partículas del suelo aumentando su capacidad para soportar cargas.

Objetivo específico N°03: Determinar el espesor de estabilización con la adición de cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.

Tabla 14. CBRP para espesores de estabilización de 0.50, 0.70 y 0.90m.

N°	Muestra Dosificada	CBR (95% MDS)	CBR 0.50m	CBR 0.70m	CBR 0.90m
01	SN (100%)	4.7			
02	SN (98%) + CAL (2%)	6.2	4.87	5.3	5.86
03	SN (96%) + CAL (4%)	10.3	5.32	6.95	9.02
04	SN (94%) + CAL (6%)	10.2	5.31	6.91	8.94
05	SN (92%) + CAL (8%)	12.1	5.52	7.67	10.41
06	SN (92%) + CAL (4%) + CM (4%)	19.5	6.34	10.64	16.12
07	SN (88%) + CAL (4%) + CM (8%)	24.2	6.87	12.52	19.74
08	SN (84%) + CAL (4%) + CM (12%)	30.4	7.56	15.01	24.53

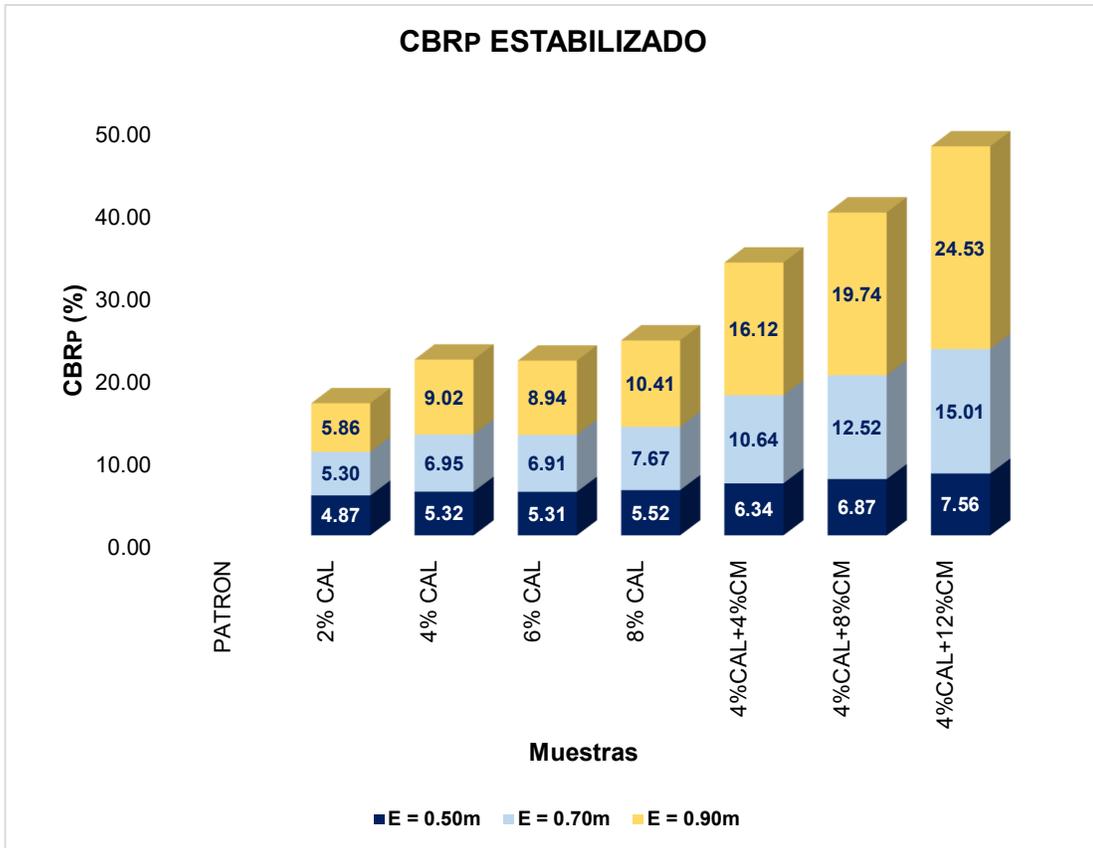


Figura 43. Valores de CBRP estabilizado de la subrasante con dosificación de cal y ceniza de madera.

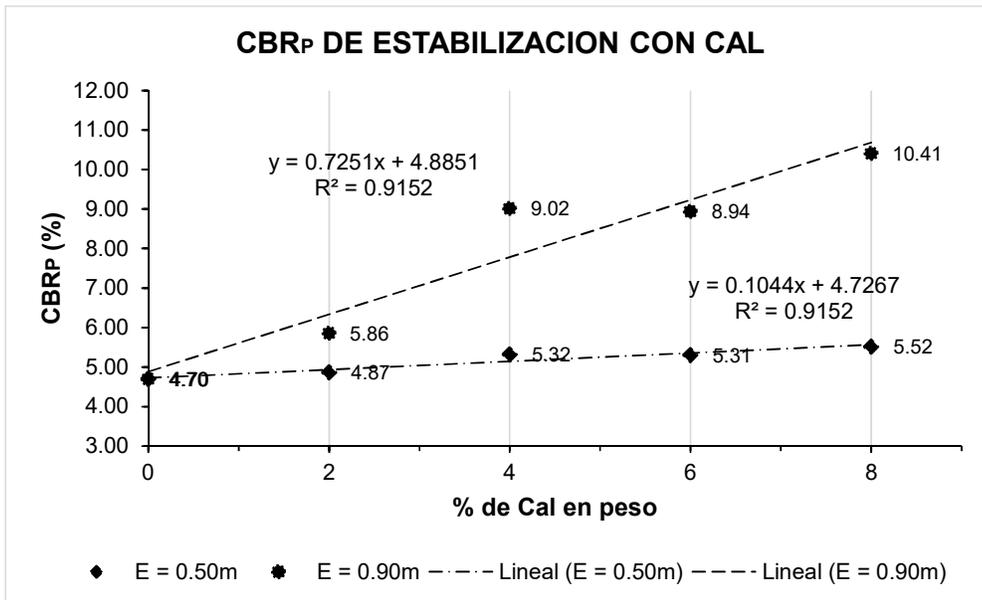


Figura 44. Grafica de dispersión del CBR, subrasante con dosificación de cal.

La cal es una enmienda ampliamente utilizada en la estabilización de suelos con alto contenido de arcilla y su aplicación en el espesor de estabilización puede mejorar significativamente las propiedades del suelo, es por ello que fue considerado como el punto inicial la estabilización con cal y se puede observar en la Figura 44 que a mayor tasa de incorporación de cal el CBRP estabilizado incrementa y se requiere un espesor de estabilización de 0.90m para superar lo mínimo establecido en el Manual de Suelos y Pavimentos del MTC.

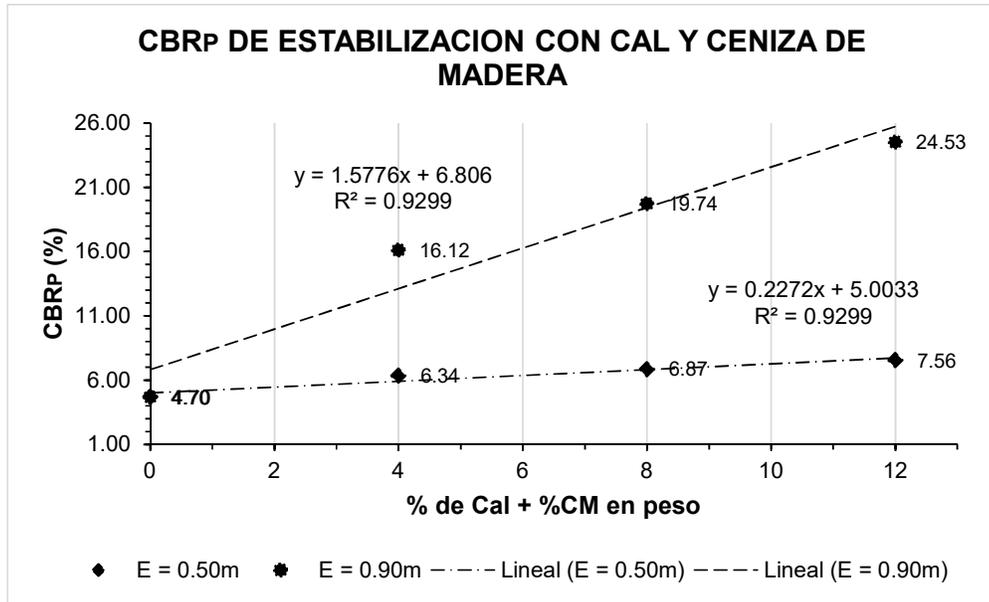


Figura 45. Grafica de dispersión del CBR, subrasante con dosificación de cal y ceniza de madera.

De acuerdo a la Tabla 14, Figura 45 el CBRP ponderado del suelo de la subrasante adicionando cal y ceniza de madera en 4%CAL+4%CM, 4%CAL+8%CM y 4%CAL+12%CM requiere un espesor mínimo de estabilización de 0.50m para lograr aumentar el CBRP de estabilización en 6.34, 6.87 y 7.56% respectivamente, para superar lo mínimo establecido en el Manual de Suelos y Pavimentos del MTC, donde indica que el CBR mínimo debe ser $\geq 6\%$, teniendo en cuenta que el valor del CBR se utiliza para determinar el espesor adecuado del pavimento, además los suelos con CBR más alto son capaces de soportar cargas mayores sin deformación excesiva y requieren un pavimento más delgado. Por otro lado, en suelos con CBR más bajo pueden necesitar un pavimento más grueso para soportar las mismas cargas, por esta razón el espesor de estabilización de 0.90m brinda óptimos valores

de CBR_P de 16.20, 19.74 y 24.53% para los porcentajes descritos anteriormente; esto se debe principalmente a los componentes químicos de la cal (óxido de calcio) y la ceniza de madera (sílice) al mezclarse con la arcilla reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio con la presencia de humedad para formar compuestos cementantes los cuales unen las partículas floculadas proporcionando resistencia adicional, razón por la cual aumenta la capacidad de soporte.

Objetivo específico N°04: Determinar las dimensiones de la estructura del pavimento flexible con la adición de cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.

Para calcular el grosor de las capas del pavimento flexible se trabajó con los valores de CBR_P obtenidos con un espesor de estabilización de 0.90m, la metodología AASHTO-93 se refiere a las pautas establecidas por la AASHTO en su manual de diseño de pavimentos, particularmente la edición de 1993 y el Manual Suelos y Pavimentos del MTC. Las variables y los espesores obtenidos en cada se detallan en la Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17.

Tabla 15. Parámetros de diseño empleados CBR_P (4%CA + 4%CM).

Parámetros de diseño					0 - 20 años		
Numero de ejes equivalentes					920563.413	Espesor propuesto (cm)	
Módulo Resiliente, $M_r(\text{psi})$ CBR_P $_{(95MDS)(4\%CA+4\%CM)} = 16.12\%$					15139.256		
Nivel de Confianza, $R(\%)$					80.00		
Factor de Confiabilidad, Z_R					-0.842		
Desviación Estándar Combinada					0.45		
Serviciabilidad Inicial					3.80		
Serviciabilidad Final					2.00		
ΔPSI					1.80		
Numero estructural requerido			AASHTO	MTC	SN		2.42
Mescla asfáltica		a1 =	0.44	0.17	D1 (pulg.)		3.00
Base	m2 = 1.00	a2 =	0.14	0.054	D2 (pulg.)	8.00	20.00
Sub-base	m3 = 1.00	a3 =	0.12	0.047	D3 (pulg.)	8.00	20.00
Espesor de la estructura del pavimento					(pulg.)	19.00	48.00
Numero estructural propuesto					SN	3.40	3.38

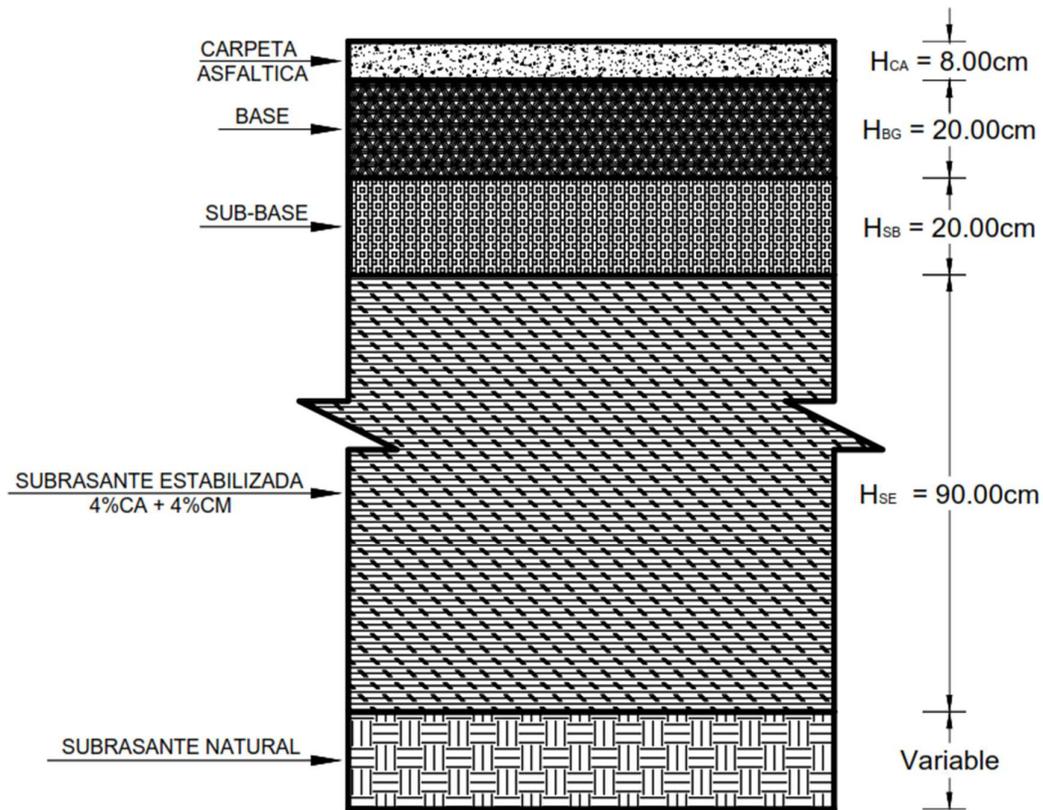


Figura 46. Estructura del pavimento flexible CBR_p (4%CA + 4%CM).

Tabla 16. Parámetros de diseño empleados CBR_p (4%CA + 8%CM).

Parámetros de diseño					0 - 20 años		
Numero de ejes equivalentes					920563.413	Espesor propuesto (cm)	
Módulo Resiliente, $M_r(\text{psi})$ $CBR_p (95MDS)(4\%CA + 8\%CM) = 19.74\%$					17235.071		
Nivel de Confianza, $R(\%)$					80.00		
Factor de Confiabilidad, Z_R					-0.842		
Desviación Estándar Combinada					0.45		
Serviciabilidad Inicial					3.80		
Serviciabilidad Final					2.00		
ΔPSI					1.80		
Numero estructural requerido			AASHTO	MTC	SN		2.30
Mescla asfáltica	a1 =	0.44	0.170	D1 (pulg.)	2.00		5.00
Base	m2 = 1.00	a2 =	0.14	0.054	D2 (pulg.)	8.00	20.00
Sub-base	m3 = 1.00	a3 =	0.12	0.047	D3 (pulg.)	6.00	15.00
Espesor total del pavimento					(pulg.)	16.00	40.00
Numero estructural propuesto					SN	2.72	2.64

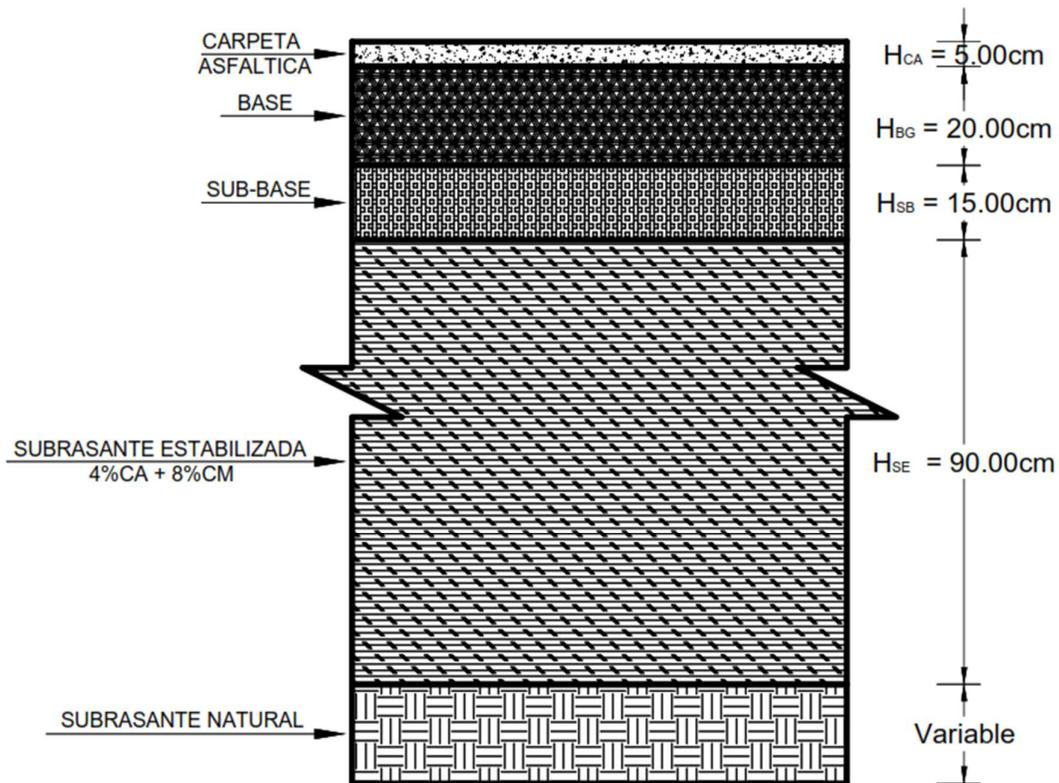


Figura 47. Estructura del pavimento flexible CBR_P (4%CA + 8%CM).

Tabla 17. Parámetros de diseño empleados CBR_P (4%CA + 12%CM).

Parámetros de diseño					0 - 20años		
Numero de ejes equivalentes					920563.413	Esesor propuesto (cm)	
Módulo Resiliente, Mr(psi) CBR _P (95MDS)(4%CA + 12%CM) = 24.53%					19806.026		
Nivel de Confianza, R(%)					80.00		
Factor de Confiabilidad, ZR					-0.842		
Desviación Estándar Combinada					0.45		
Serviciabilidad Inicial					3.80		
Serviciabilidad Final					2.00		
ΔPSI					1.80		
Numero estructural requerido			AASHTO	MTC	SN		2.18
Mescla asfáltica	a1 =	0.44	0.17	D1 (pulg.)	2.00		5.00
Base	m2 = 1.00	a2 =	0.14	0.054	D2 (pulg.)	6.00	15.00
Sub-base	m3 = 1.00	a3 =	0.12	0.047	D3 (pulg.)	6.00	15.00
Espesor total del pavimento					(pulg.)	14.00	35.00
Numero estructural propuesto					SN	2.44	2.37

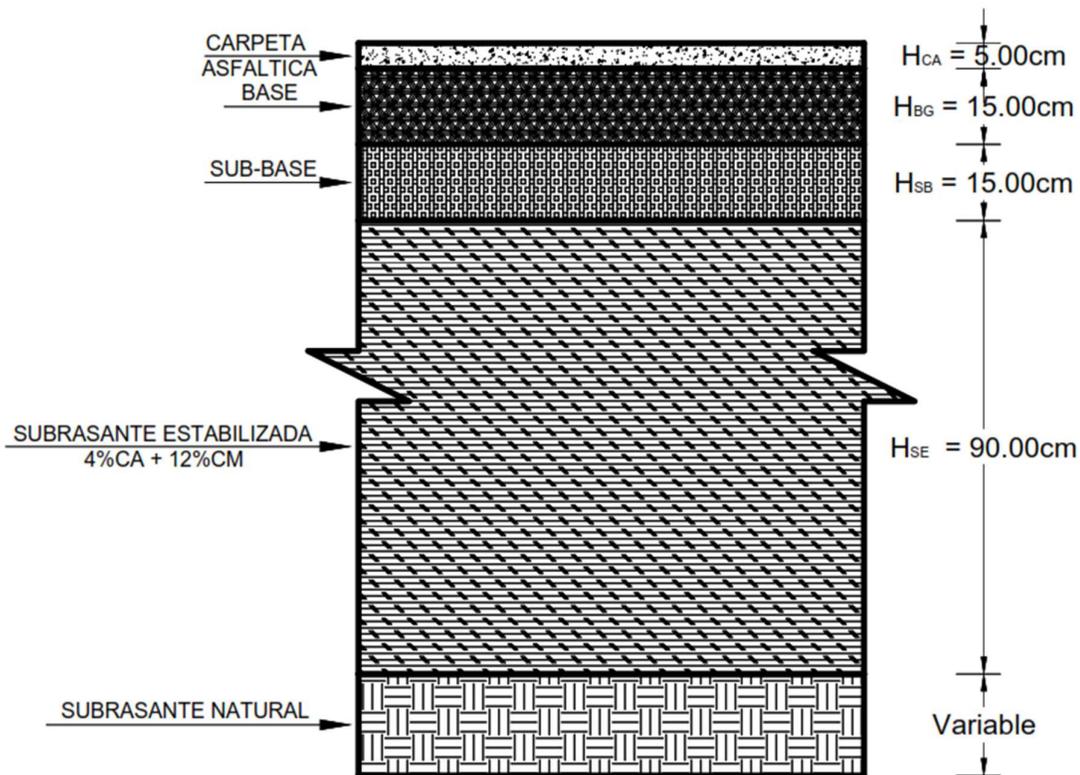


Figura 48. Estructura del pavimento flexible CBR_P (4%CA + 12%CM).

De acuerdo a la Figura 46, Figura 47 y Figura 48 donde se observa la estructura del pavimento, con el espesor de estabilización de 0.90m adicionando cal y ceniza de madera al suelo de la subrasante en 4%CAL+4%CM, 4%CAL+8%CM y 4%CAL+12%CM requiere un espesor de 0.48m, 0.40m y 0.35m respectivamente, asimismo, se observa que a mayor proporción de adición de cal (CA) y ceniza de madera (CM) las dimensiones de la estructura del pavimento flexible disminuye, esto se debe principalmente el CBR_P incrementa a mayor proporción del estabilizador, por lo cual el módulo resiliente incrementa (M_r) y se tiene como resultado la reducción del número estructural (SN), por tanto se requieren menor espesor; sin embargo el Manual de Suelos y Pavimentos del MTC, para un rango de tráfico pesado de 920563.413EE, tiene la categoría de T_{P4} requiere un espesor mínimo asfáltico en caliente de 0.08m y base 0.20m, a razón de ello la mezcla de 4%CA + 4%CM cumple con el diseño de la estructura del pavimento, donde el SN requerido es de 2.38 y el propuesto de 3.38 es mayor al requerido, donde el asfalto es de 0.08m, la base de 0.20m y de sub-base de 0.20m.

Tabla 18. Resumen de espesores del pavimento flexible.

Dosificación	ESAL	Mr (PSI)	SN _R	SN _P	C. Asfáltica (cm)	Base (cm)	Sub-Base (cm)
4%CA+4%CM	920563.41	15139.26	2.42	3.40	8.00	20.00	10.00
4%CA+8%CM	920563.41	17235.07	2.30	2.72	5.00	20.00	15.00
4%CA+12%CM	920563.41	19806.03	2.18	2.44	5.00	15.00	15.00

Contrastación de la hipótesis

Prueba de normalidad para el índice plástico

Prueba de hipótesis

H₀: La variable índice plástico sigue una distribución normal.

H₁: La variable índice plástico no sigue una distribución normal.

Tabla 19. Prueba de normalidad para el índice plástico.

Variable	Planteamiento de hipótesis	Nivel	Prueba estadística	Regla de decisión	Resultado	Conclusión
Índice plástico	H ₀ : Hipótesis nula. H ₁ : Hipótesis alterna.	$\alpha = 5\%$	Si $n < 50$, entonces Shapiro - Wilk Si $n \geq 50$, entonces Kolmogorov - Smirnov	p-valor ≤ 0.05 , se acepta la H ₁ . p-valor > 0.05 , se acepta la H ₀ .	p - valor = 0.356	p - valor > 0.05 Aceptamos H ₀ : Los datos de la variable tienen normalidad para un = 5.0%

En la Tabla 19 se presentan los resultados derivados de la prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk, además, se observa que el p-valor de la variable del índice plástico es de 0.356, siendo este menor al 5% (p-valor > 0.05). Este hallazgo indica que los datos de estas variables tienen una distribución normal, en consecuencia, se eligió emplear el coeficiente de Pearson, una prueba paramétrica que posibilita la evaluación de la relación entre estas dos variables.

Pruebas de normalidad para resistencia

Prueba de hipótesis

H₀: Los datos de la variable resistencia tienen una distribución normal.

H₁: Los datos de la variable resistencia no tienen una distribución normal.

Tabla 20. Prueba de normalidad para la resistencia.

Variable	Planteamiento de hipótesis	Nivel	Prueba estadística	Regla de decisión	Resultado	Conclusión
Resistencia	H ₀ : Hipótesis nula. H ₁ : Hipótesis alterna.	$\alpha = 5\%$	Si $n < 50$, entonces Shapiro - Wilk Si $n \geq 50$, entonces Kolmogorov - Smirnov	p-valor ≤ 0.05 , se acepta la H ₁ . p-valor > 0.05 , se acepta la nula H ₀	p - valor = 0.769	p - valor > 0.05 Aceptamos H ₀ : Los valores de la variable CBR tiene normalidad para un = 5.0%

En la Tabla 20 se presentan los resultados derivados de la prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk, además, se observa que el p-valor de la variable de resistencia es de 0.769, siendo este menor al 5% (p-valor > 0.05). Este hallazgo indica que los datos de estas variables tienen una distribución normal, en consecuencia, se eligió emplear el coeficiente de Pearson, una prueba paramétrica que posibilita la evaluación de la relación entre estas dos variables.

Pruebas de normalidad para el espesor de estabilización

Prueba de hipótesis

H₀: La variable espesor de estabilización sigue una distribución normal.

H₁: La variable espesor de estabilización no sigue una distribución normal.

Tabla 21. Prueba de normalidad para el espesor de estabilización.

Variable	Planteamiento de hipótesis	Nivel	Prueba estadística	Regla de decisión	Resultado	Conclusión
Espesor de estabilización	H ₀ : Hipótesis nula. H ₁ : Hipótesis alterna.	$\alpha = 5\%$	Si $n < 50$, entonces Shapiro - Wilk Si $n \geq 50$, entonces Kolmogorov - Smirnov	p-valor ≤ 0.05 , se acepta la H ₁ . p-valor > 0.05 , se acepta la nula H ₀	p - valor = 0.771	p - valor > 0.05 Aceptamos H ₀ : Los valores de la variable espesor de estabilización tienen normalidad para un = 5.0%

En la Tabla 21 se presentan los resultados derivados de la prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk, además, se observa que el p-valor de la variable espesor de

estabilización es de 0.771, siendo este menor al 5% (p-valor > 0.05). Este hallazgo indica que los datos de estas variables tienen una distribución normal, en consecuencia, se eligió emplear el coeficiente de Pearson, una prueba paramétrica que posibilita la evaluación de la relación entre estas dos variables.

Prueba de correlación

Prueba de correlación para el índice plástico

Prueba de hipótesis

H₀: La adición de cal y ceniza de madera no reduciría el índice plástico en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.

H₁: La adición de cal y ceniza de madera reduciría el índice plástico en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.

Tabla 22. Prueba de hipótesis para la variable índice plástico.

Variable	Planteamiento de hipótesis	Nivel	Prueba estadística	Regla de decisión	Resultado	"r"	Conclusión
Índice plástico	H ₀ : Hipótesis nula. H ₁ : Hipótesis alterna.	α = 5%	Coficiente de correlación de Pearson	p-valor ≤ 0.05, se rechaza la H ₀ . p-valor > 0.05, se acepta la H ₁	p - valor = 0.046	r = - 0.954	p - valor ≤ 0.05 Aceptamos la H ₁ , para un = 5.0%

En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos de la prueba estadística paramétrica de Pearson, el cual analizo la relación entre el índice plástico y la incorporación de cal y ceniza de madera, se observa que el coeficiente de correlación es $r^2 = -0.954$ y un p-valor de 0.046 el cual es menor al error asumido de 5% (p-valor ≤ 0.05) la misma que evidencia que se acepta la hipótesis alterna, además, se concluye que existe evidencia estadística significativa para mencionar que la adición de cal y ceniza de madera en el espesor de estabilización reduce el índice plástico del suelo de la subrasante de la Av. Luzuriaga, en otras palabras a medida que la incorporación de cal y ceniza de madera aumenta, el índice plástico de los suelos de la subrasante reduce.

Prueba de correlación para la resistencia

Prueba de hipótesis

H₀: La adición de cal y ceniza de madera no incrementaría la resistencia en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.

H₁: La adición de cal y ceniza de madera incrementaría la resistencia en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.

Tabla 23. Prueba de hipótesis para la variable resistencia.

Variable	Planteamiento de hipótesis	Nivel	Prueba estadística	Regla de decisión	Resultado	"r"	Conclusión
Resistencia	H ₀ : Hipótesis nula. H ₁ : Hipótesis alterna.	$\alpha = 5\%$	Coefficiente de correlación de Pearson	p-valor ≤ 0.05 , se rechaza la H ₀ . p-valor > 0.05 , se acepta la H ₁	p - valor = 0.030	r = 0.970	p - valor ≤ 0.05 Aceptamos la H ₁ , para un = 5.0%

En la

Tabla 23 se muestran los resultados obtenidos de la prueba estadística paramétrica de Pearson, el cual analizó la relación entre la resistencia y la incorporación de cal y ceniza de madera, se observa que el coeficiente de correlación es $r^2 = 0.970$ y un p-valor de 0.030 el cual es menor al error asumido de 5% ($p\text{-valor} \leq 0.05$) la misma que evidencia que se acepta la hipótesis alterna, además, se concluye que existe evidencia estadística significativa para mencionar que la adición de cal y ceniza de madera en el espesor de estabilización incrementa la resistencia del suelo de la subrasante de la Av. Luzuriaga, en otras palabras a medida que la incorporación de cal y ceniza de madera aumenta, la resistencia de los suelos de la subrasante incrementa.

Prueba de correlación para el espesor de estabilización

Prueba de hipótesis

H₀: La adición de cal y ceniza de madera en el espesor de estabilización no incrementaría la resistencia en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.

H₁: La adición de cal y ceniza de madera en el espesor de estabilización incrementaría la resistencia en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.

Tabla 24. Prueba de hipótesis para la variable espesor de estabilización.

Variable	Planteamiento de hipótesis	Nivel	Prueba estadística	Regla de decisión	Resultado	“r”	Conclusión
Espesor de estabilización	H ₀ : Hipótesis nula. H ₁ : Hipótesis alterna.	α = 5%	Coefficiente de correlación de Pearson	p-valor ≤ 0.05, se rechaza la H ₀ . p-valor > 0.05, se acepta la H ₁ .	p - valor = 0.007	r = 0.993	p - valor ≤ 0.05 Aceptamos la H ₁ , para un = 5.0%

La

Tabla 24 se muestran los resultados obtenidos de la prueba estadística paramétrica de Pearson, el cual analizo la relación entre el espesor de estabilización y la incorporación de cal y ceniza de madera, se observa que el coeficiente de correlación es $r^2 = 0.993$ y un p-valor de 0.007 el cual es menor al error asumido de 5% ($p\text{-valor} \leq 0.05$) la misma que evidencia que se acepta la hipótesis alterna, además, se concluye que existe evidencia estadística significativa para mencionar que la adición de cal y ceniza de madera en el espesor de estabilización incrementa la capacidad de carga del suelo de la subrasante de la Av. Luzuriaga, en otras palabras a medida que la incorporación de cal y ceniza de madera aumenta, la resistencia de carga de los suelos de la subrasante incrementa.

V. DISCUSIÓN

- Con el objetivo de reducir el índice plástico adicionando cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, se realizó el ensayo de límites de consistencia, obteniendo un índice de plástico de 13.69% que corresponde a una plasticidad media característica de los suelos arcillosos que constituyen la capa de subrasante de la Av. Luzuriaga, la misma que fue mejorado con la adición de cal y ceniza de madera en 4%CA+4%CM, 4%CA+8%CM y 4%CA+12%CM en peso logrando reducir los valores de índice de plasticidad en 7.51, 6.15 y 4.54%, respectivamente, valores que cumplen con los estándares de calidad establecidos en el Manual de Suelos y Pavimentos del MTC; además, según los resultados obtenidos utilizando la prueba estadística paramétrica de Pearson, el cual muestra un coeficiente de correlación de $r^2 = -0.954$ y un p-valor de 0.046, menor al error asumido de 5%, por lo cual se pudo establecer que la incorporación de cal y ceniza de madera tiene una relación significativa con el descenso del índice plástico de los suelos de la Av. Luzuriaga, que corresponde a una plasticidad baja, por ende, se optimizaron las condiciones de estabilización de los suelos que constituye la subrasante; Estos resultados encontrados son similares a la investigación de Ikeagwuani, Obeta y Agunwamba (2019), donde determinaron la influencia de la incorporación de cal y ceniza de aserrín en suelo natural 16% SA + 4% cal logrando reducir los valores del índice de plasticidad en promedio de 53.4% a 7.4%, asimismo, Luyo y Tello (2022) analizaron la inclusión de cal y ceniza para estabilizar las características mecánicas y físicas en la subrasante de la trocha carrozable AP-557 Chumbibamba, con la incorporación de ceniza y cal en 18%CL + 2%C, logrando reducir los valores del índice plástico de 21.00% a 11.00%, coincidiendo con los resultados de la presente investigación de reducir el índice de plasticidad; en cuanto a la relevancia con la utilización de cal y ceniza de madera como estabilizadores puede tener beneficios ambientales al reutilizar materiales y reducir la necesidad de recursos tradicionales, esto podría alinearse con enfoques sostenibles y amigables con el medio ambiente en la construcción de carreteras.

- Con el objetivo verificar el incremento de la capacidad de soporte adicionando cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, se realizó el ensayo de California Bearing Ratio (CBR) (ASTM D1883), obteniendo un CBR de 4.70% que corresponde a una categoría de subrasante insuficiente característica de los suelos arcillosos que constituyen la capa de subrasante de la Av. Luzuriaga, la misma que fue mejorada con la adición de cal y ceniza de madera en 4%CA+4%CM, 4%CA+8%CM y 4%CA+12%CM en peso, logrando incrementar los valores del CBR en 19.50%, 24.20% y 30.40%, respectivamente; además, según los resultados obtenidos utilizando la prueba estadística paramétrica de Pearson, el cual muestra un coeficiente de correlación de $r^2 = 0.970$ y un p-valor de 0.030 el cual es menor al error asumido de 5%, se logró determinar que la incorporación de cal y ceniza de madera tiene una relación significativa en el incremento de la resistencia de carga de los suelos de la Av. Luzuriaga, que corresponde a una categoría de subrasante buena a muy buena mejorando las condiciones de estabilidad de la subrasante. Estos resultados son similares a la investigación De la Rosa Toro y Reyes (2021) que adicionaron cal y ceniza de fondo (CMF) en porcentajes de 3.5%Cal + 5%CMF, 3.5%Cal + 15%CMF, y 3.5%Cal + 20%CMF en peso, los valores del CBR (95% MDS) incrementaron en 21.50, 46.50 y 38.50% respectivamente, cabe indicar que a mayor tasa de incorporación de cal y ceniza de madera el CBR incrementa, además las tasas de incorporación que fluctúan entre 15 – 20% disminuye el CBR; los resultados de la presente investigación guardan relación, bajo el contexto que se utilizó la misma metodología, los mismos instrumentos y herramientas; dentro de las limitaciones que se tuvieron durante el desarrollo del estudio es el factor de la obtención de la ceniza, ya que ceniza de fondo (CMF) son residuos de la cocción en la producción de ladrillos artesanales a diferencia de la presente investigación que utilizó ceniza de madera proveniente de hornos artesanales de panadería, además el tamaño de muestra fue reducido en comparación a otros estudios donde la muestra fue mayor; en cuanto a la relevancia, al estabilizar los suelos de la subrasante, la investigación podrá contribuir a mejorar la infraestructura vial en la Av. Luzuriaga y que las carreteras sean más duraderas, resistentes y seguras, beneficiando a la comunidad local.

- Con el objetivo de determinar el espesor de estabilización adicionando cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, se realizó mediante el método del CBR equivalente, y teniendo en cuenta que la muestra de suelo de la subrasante se adiciono porcentajes de cal y ceniza de madera en 4%CA+4%CM, 4%CA+8%CM y 4%CA+12%CM en peso, los resultados obtenidos para un espesor de estabilización de 0.90m el CBR_P fue de 16.12, 19.74 y 24.53%, respectivamente; además, según los resultados obtenidos utilizando la prueba estadística paramétrica de Pearson, el cual muestra un coeficiente de correlación de $r^2 = 0.993$ y un p-valor de 0.007 el cual es menor al error asumido de 5%, se logró determinar que la incorporación de cal y ceniza de madera tiene una relación significativa en el aumento de la resistencia de carga de los suelos de la Av. Luzuriaga, que corresponde a una categoría de subrasante buena a muy buena, mejorando las condiciones de estabilidad de la subrasante; estos resultados guardan relación con las investigaciones De la Rosa Toro y Reyes (2021), ya espesor de estabilización es de 0.30m siendo este espesor menor al diseñado en nuestra presente investigación, sin embargo, dicho espesor recomendado es de forma empírica y sin tener en cuenta el suelo de fundación hasta una profundidad de 1.50m, lo cual carece de una base técnica sólida para la determinación del espesor de estabilización, lo cual podría afectar la efectividad y durabilidad de la intervención; en relación a la relevancia, como la estabilización de suelos resulto eficaz, se podrá generar ahorros económicos a largo plazo al reducir la necesidad de reparaciones frecuentes en la carretera, lo cual será relevante para entidades gubernamentales y comunidades locales que buscan utilizar eficientemente sus recursos financieros.
- Con el objetivo de determinar las dimensiones de las capas de la estructura del pavimento flexible con el método AASHTO-93 adicionando cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante en 4%CA+4%CM, 4%CA+8%CM y 4%CA+12%CM en peso, las dimensiones fueron de 0.48cm, 0.40cm y 0.35cm respectivamente, observándose que a mayor tasa de incorporación de cal y ceniza el espesor de diseño se reduce; estos resultados guardan relación con la investigación realizado por andaluz (2020) llega a la conclusión de que la

inclusión de ceniza de cáscara de arroz conlleva una reducción en los espesores de las diversas capas del pavimento flexible con medidas de subbase (20 cm), base (18 cm) y carpeta asfáltica (10 cm), los resultados de la presente investigación guardan relación, bajo el contexto que se utilizaron la misma metodología, los mismos instrumentos y herramientas, sin embargo, las limitaciones de la investigación se centraron en un conjunto específico de parámetros de estabilización, como la cantidad de cal y ceniza de madera utilizada y esta variación de estos parámetros podría influir en la aplicabilidad de los resultados en diferentes escenarios, además, las restricciones financieras o de recursos podrían afectar la extensión y la profundidad del estudio limitando la cantidad de datos recopilados; en relación a la relevancia, la metodología y los resultados de la investigación podrán ser valiosos para otros ingenieros y profesionales en campos relacionados y contribuir al conocimiento científico y técnico más amplio en la mejora de prácticas y estándares en ingeniería vial.

VI. CONCLUSIONES

- La presente investigación se desarrolló con el fin de evaluar nuevas alternativas de estabilización de suelos en la construcción de carreteras, para este propósito, se eligieron dos aditivos: la cal y la ceniza de madera, este último es un producto natural que se encuentra en la naturaleza y es hábil para estabilizar suelos. El estudio se centra en la Av. Luzuriaga, donde se encuentran sectores críticos con presencia de suelos cohesivos de baja resistencia. Los indicadores que se evaluaron en la presente investigación son las propiedades del suelo, como el índice plástico (IP) y la resistencia (CBR), espesor de estabilización con el fin de hacer una comparación de entre la muestra patrón y la muestra experimental.
- Siendo la problemática de la presente investigación el elevado índice plástico de los suelos de la Av. Luzuriaga, y con el fin de reducir el índice plástico, se realizaron dosificaciones de cal (CA) y ceniza de madera (CM) en porcentajes de 4%CA + 4%CM, 4%CA + 8%CM y 4%CA + 12%CM, estas proporciones de aditivos se plantearon para reducir índice plástico del suelo de la subrasante. Por lo tanto, al adicionar cal (CA) y ceniza de madera (CM) en las proporciones mencionadas, se logró reducir los valores del índice plástico del 13.69% a 7.51%, 6.15% y 4.54%, respectivamente; estos valores se encuentran dentro del rango recomendado por las Especificaciones Generales del Manual de Carreteras del MTC; los resultados de la presente investigación tienen la misma tendencia que los presentador por Ikeagwuani, Obeta y Agunwamba (2019), quienes determinaron la influencia de la incorporación de cal y ceniza de aserrín en suelo natural 16% SA + 4% cal lograron reducir los valores del índice de plasticidad en promedio de 53.4% a 7.4%; la prueba estadística paramétrica de Pearson arrojó un coeficiente de correlación de $r^2 = -0.954$ y un p-valor de 0.046, menor al error asumido de 5%, esto permite establecer que la incorporación de cal y ceniza de madera tiene una relación significativa con el descenso del índice de plástico de los suelos de la Av. Luzuriaga, partir de los resultados encontrados, se cierran las brechas del conocimiento en relación a la estabilización de suelos con el uso de cal y ceniza de madera, se pudo

verificar la efectividad de los aditivos en la evaluación del parámetro índice plástico.

- Siendo la problemática de la presente investigación la baja resistencia de los suelos de la Av. Luzuriaga, y con el propósito del incrementar la resistencia, se realizaron dosificaciones de cal (CA) y ceniza de madera (CM) en porcentajes de 4%CA + 4%CM, 4%CA + 8%CM y 4%CA + 12%CM. Estas proporciones de aditivos se plantearon con la finalidad de incrementar la resistencia del suelo de la subrasante; en ese sentido, al adicionar cal (CA) y ceniza de madera (CM) en las proporciones mencionadas, la resistencia aumentó de 4.70% a 19.5%, 24.20% y 31.40% respectivamente, estos valores indican una categoría de subrasante buena a muy buena, lo que indica una mejora significativa en la estabilidad de la subrasante; los resultados de la presente investigación tienen la misma tendencia que los presentador por De la Rosa Toro y Reyes (2021) que adicionaron cal y ceniza de fondo (CMF) en porcentajes de 3.5%Cal + 5%CMF, 3.5%Cal + 15%CMF, y 3.5%Cal + 20%CMF en peso, los valores del CBR (95% MDS) incrementaron en 21.50, 46.50 y 38.50% respectivamente, cabe destacar que a mayor tasa de incorporación de cal y ceniza de madera el CBR incrementa, además, las tasas de incorporación entre 15 y 20% pueden disminuir el CBR; la prueba estadística paramétrica de Pearson arrojó un coeficiente de correlación de $r^2 = 0.970$ y un p-valor de 0.030, menor al error asumido de 5%, esto permite establecer que la incorporación de cal y ceniza de madera tiene una relación significativa en el aumento de la resistencia de los suelos de la Av. Luzuriaga, a partir de los resultados encontrados se cierran las brechas del conocimiento en relación a la estabilización de suelos con el uso de cal y ceniza de madera, se pudo verificar la efectividad de los aditivos en la evaluación del parámetro de resistencia de carga.
- Siendo la problemática de la presente investigación la baja resistencia de los suelos de la Av. Luzuriaga, que demanda un espesor adecuado de estabilización, con el fin de incrementar la resistencia de carga mediante la adición de cal (CA) y ceniza de madera (CM) en porcentajes de 4%CA + 4%CM, 4%CA + 8%CM y 4%CA + 12%CM; Estas proporciones de aditivos se seleccionaron con la finalidad de incrementar la resistencia; en ese sentido, al

añadir cal (CA) y ceniza de madera en las proporciones mencionadas, y considerando un espesor de estabilización de 0.90m, los valores de CBR equivalente fueron 16.12%, 19.74% y 24.53%, respectivamente. Estos valores superan el mínimo establecido en el Manual de Suelos y pavimentos del MTC, donde indica que el CBR mínimo debe ser $\geq 6\%$. Estos resultados guardan relación con las investigaciones De la Rosa Toro y Reyes (2021), ya que el espesor de estabilización es de 0.30 m siendo este espesor menor al de nuestra investigación; la prueba estadística paramétrica de Pearson arrojó un coeficiente de correlación de $r^2 = 0.993$ y un p-valor de 0.007, menor al error asumido de 5%, se determinó que la incorporación de cal y ceniza de madera tiene una relación significativa en el aumento de la resistencia de los suelos de la Av. Luzuriaga, partir de los resultados encontrados, se cierran las brechas del conocimiento en relación a la estabilización de suelos con el uso de cal y ceniza de madera, se verifico la efectividad de los aditivos en la evaluación del parámetro de espesor de estabilización.

- Siendo la problemática de la presente investigación la presencia de suelos arcillosos del tipo CL en la Av. Luzuriaga, lo que requiere una estructura de pavimento adecuada, con el fin de determinar las dimensiones de la estructura del pavimento flexible mediante la adición de cal (CA) y ceniza de madera (CM) en porcentajes de 4%CA + 4%CM, 4%CA + 8%CM y 4%CA + 12%CM. Estas proporciones de aditivos se establecieron con la finalidad de reducir las dimensiones de la estructura del pavimento flexible. En ese sentido al añadir cal (CA) y ceniza de madera (CM) en las proporciones mencionadas, se requiere un espesor de la estructura del pavimento flexible de 0.48m, 0.40m y 0.35m respectivamente. Además, la categoría de trafico de tipo T_{P4} requiere un espesor mínimo de carpeta asfáltica en caliente de 0.08m y base 0.20m, por lo tanto, la mezcla de 4%CA + 4%CM cumple con el diseño de la estructura del pavimento flexible de 0.48cm de espesor conformada por la carpeta asfáltica de 0.08m, la base granular de 0.20m y de sub-base granular de 0.20m, donde el número estructural requerido (SN) de 2.38 es menor al propuesto que es de 3.40; estos resultados guardan relación con la investigación realizado por andaluz (2020) concluye que la inclusión de ceniza de cáscara de arroz conlleva

a una reducción en los espesores de las diversas capas del pavimento flexible con medidas de subbase (20 cm), base (18 cm) y carpeta asfáltica (10 cm). En definitiva, esta investigación cierra brechas en el conocimiento sobre el uso de cal y ceniza de madera con fines de estabilización, sirviendo como iniciativa para futuras investigaciones a una escala más amplia o escala real, y proporcionando una base sólida para el avance en el campo de la estabilización de suelos para carreteras.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda en futuras investigaciones ampliar el alcance de la presente investigación, considerando diferentes tipologías de suelos, con diferentes condiciones de humedad en diferentes regiones.
- Se recomienda en futuras investigaciones evaluar el comportamiento únicamente de la ceniza de madera para fines de conocer las diferencias con la presente investigación donde se consideró la cal como agente estabilizador.
- Se recomienda en futuras investigaciones evaluar el módulo Resiliente de los suelos estabilizados y realizar diseños de pavimentos sin la dependencia del CBR del laboratorio.
- Se recomienda en futuras investigaciones utilizar la cal y ceniza de madera verificando el comportamiento posterior a la estabilización mediante métodos de evaluación in-situ lo cual nos permitiría un enfoque complementario a la realizado en la presente investigación.

REFERENCIAS

- (1) ADEKUNLE ALUYEDE, A. (mayo de 2021). EFFECTS OF LIME AND WOOD ASH ON GEOTECHNICAL PROPERTIES OF LATERITE. INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIONS IN ENGINEERING RESEARCH AND TECHNOLOGY: <https://goo.su/UOXuup>
- (2) ALARCON, J., JIMENEZ, M., y BENITEZ, R. (abril de 2020). Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000100005>
- (3) AMIC. (2012). Manual de Mecánica de Suelos y Cimentaciones de la Asociación. Mexico.
- (4) ANDALUZ, R. (2022). Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante. <https://goo.su/TJS6>
- (5) APARICIO ROQUE, F. G. (2015). Guia de Investigacion Cientifica.
- (6) ARIAS GONZALES, J. (2020). Proyecto de Tesis guia para la elaboracion . Arequipa: Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2020-05577.
- (7) ARIAS GONZÁLES, J. L., HOLGADO TISOC, J., TAFUR PITTMAN, T. L., y VASQUEZ PAUCA, M. J. (s.f.). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: EL MÉTODO ARIAS PARA REALIZAR UN PROYECTO DE TESIS. Retrieved 20 de abril de 2023, from <https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>
- (8) ARIAS, F. (2012). El proyecto de invetigacion, introduccion a la metodologia cientifica. Venezuela: Caracas.
- (9) AZANERO SANDOVAL, F. (2016). Como elaborar una Tesis Universitaria. Lima: R&F PUBLICACIONES Y SERVICIOS S.A.C.
- (10) AZAÑERO SANDOVAL, F. (2016). Como Elaborar una Tesis Universitaria. Lima: R&F PUBLICACIONES Y SERVICIOS S.A.C.
- (11) BAHAMONDES, R., ECHAVEGUREN, T., y VARGAS-TEJADA, S. (diciembre de 2013). Análisis de métodos de diseño de pavimentos de

adoquines de hormigón. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000300002>

- (12) BELTRAN, J. C., y SERRANO, S. A. (2018). MANUAL PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, RIGIDOS Y ARTICULADOS AJUSTADO A ENSAYOS DE LABORATORIO. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-pedagogica-y-tecnologica-de-colombia/pavimentos/manual-para-el-diseno-de-pavimentos-flexibles/33987194>
- (13) BEYENE, A., TESFAYE, Y., TSIGE, D., SORSA, A., WEDAJO, T., y MEKURIA, G. (Octubre de 2022). Experimental study on potential suitability of natural lime and waste ceramic dust in modifying properties of highly plastic clay. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10993>
- (14) BRAJA M., D. (2015). FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTECNICA. Retrieved 26 de abril de 2023, from https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das
- (15) BRAJA, D. (2012). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. Mexico: Cengage Learning.
- (16) COMUNICACIONES, M. D. (2020). PROVIAS NACIONAL. Retrieved 18 de abril de 2023, from MEMORIA ANUAL 2019: <https://www.pvn.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/pvn-memoria-anual-2019.pdf>
- (17) DE LA ROSA TORO GUTIERREZ, D., y REYES PANDURO, J. A. (2021). UNIVERSIDAD RICARDO PALMA. Comparación de Métodos Estabilizadores (Geomalla Biaxial y Ceniza de Fondo más Cal) a Nivel Subrasante en la Carretera AY-795 en Socos - Ayacucho: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4952>
- (18) DIMTER, S., ZAGVOZDA, M., TONC, T., y SIMUN, M. (mayo de 2022). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ma15093090>
- (19) EDDYHRBS. (2011). ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD - Pavimentos de concreto asfáltico método AASHTO-93. Proyectos y apuntes teórico-

prácticos de Ingeniería Civil para compartir con ustedes.:
<https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/09/indice-de-serviciabilidad-pavimentos-de.html>

- (20) GEOSUPPORT. (06 de enero de 2013). Estudios Geotécnicos. Descriptores geotécnicos (5): plasticidad, límites de Atterberg y consistencia: <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptores-geotecnicos-5-plasticidad-limites-de-atterberg-y-consistencia/>
- (21) GIDDAY, B. G., y MITTAL, S. (febrero de 2020). Improving the characteristics of dispersive subgrade soils using lime. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e0338>
- (22) GIORDANI, C., y LEONE, D. (s.f.). Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario. Pavimentos: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_ano/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf
- (23) GOMEZ, E. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogotá: Agora editores.
- (24) GUILLEN GUILLEN, C. (s.f.). LMSE. Retrieved 26 de abril de 2023, from DETERMINACION DE LOS LIMITES LIQUIDOS Y PLASTICOS Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales: <https://www.rua.unam.mx/portal/Descargas/index/86746>
- (25) HERNANDEZ SAMPERI, R., MENDOZA TORRES, P., MENDEZ VALENCIA, S., y CUEVAS ROMO, A. (2012). METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION PARA BACHILLERATO. Mexico: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A de C.V.
- (26) HORLE VEGA, P., y RODRIGUEZ LOPEZ, C. (2019). Estabilización del suelo de la trocha carrozable con fibras de raquis de Musa Paradisiaca y cenizas de hojas Eucaliptus de los caseríos Canchas a Colcap, Jimbe, Santa, Áncash – 2019. Retrieved 24 de abril de 2023, from https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46335/Hoyle_VPM-Rodriguez_LCA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- (27) IKEAGWUANI, C., OBETA, J., y AGUNWAMBA, J. (febrero de 2019). ScienceDirect. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.10.004>
- (28) INEI. (2023). Producto Bruto Interno Por Departamentos. <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/producto-bruto-interno-por-departamentos-9089/>
- (29) KAVITHA, S., ASHIK, A., A.R. ARSHA, F., R, A., y ARVEE, S. J. (17 de abril de 2023). ScienceDirect. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.705>
- (30) KRISHNAN, K. D., y RAVINCHANDRAN, P. T. (2022). Materials Today: Proceedings. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.266>
- (31) LORIA, L. G. (2019). Tipos de Pavimentos. <https://twitter.com/lgloria27/status/1081985022947667968/photo/2>
- (32) LUYO VARGAS, S., y TELLO SLEE, G. J. (2022). USMP. Incorporación de cal y cenizas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante en la trocha AP557 Chumbibamba, ubicada en el distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac: <https://hdl.handle.net/20.500.12727/11112>
- (33) MADRID, R., MECHAN, V., ASTO, L., BARBOZA, C., y SECLLEN, K. (Diciembre de 2023). Influence of fibres on the resilient modulus and expansion of clayey subgrade soils. <https://doi.org/10.1080/10298436.2023.2298262>
- (34) MANTEROLA, C., GRANDE, L., OTZEN, T., GARCIA, N., SALAZAR, P., y QUIROZ, G. (2018). Reliability, precision or reproducibility of the measurements. Methods of assessment, utility and applications in clinical practice. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182018000600680>
- (35) MECÁNICA DE SUELOS APLICADA A CIMENTACIÓN Y VÍAS DE TRANSPORTE. (02 de octubre de 2015). COMPACTACIÓN CON PROCTOR ESTANDAR AASHTO T99-01 ASTM D698 Y MODIFICADO AASHTO T180-01 AASHTM D1557:

<https://dpcingenierocivil.blogspot.com/2015/10/mecanica-de-suelos-aplicada-cimentacion.html>

- (36) MELENDEZ ACURIO, J. R. (2009). Ingeniería de Pavimentos, Materiales, Diseño y Conservación. Lima: ICG.
- (37) MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC). (junio de 2013). MANUAL DE CARRETERAS ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCION EG-2013. Retrieved 24 de abril de 2023, from <https://goo.su/rNo4z>
- (38) MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC). (09 de abril de 2014). Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Retrieved 17 de abril de 2023, from Sección Suelos y Pavimentos:
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf
- (39) MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC). (03 de junio de 2016). Caminos y Ferrocarriles/Normas de carreteras. Retrieved 27 de abril de 2023, from MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES:
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-06-16%20Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- (40) MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC). (21 de julio de 2022). Estadística - Infraestructura de Transportes - Infraestructura Vial. Retrieved 18 de abril de 2023, from Estadísticas del MTC, Estadísticas MTC - Transportes: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadistica-infraestructura-de-transportes-infraestructura-vial>
- (41) MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC). (mayo de 2016). MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES. Retrieved 26 de abril de 2023, from

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

- (42) MONSALVE ESCOBAR, L. M., GIRALDO VASQUEZ, L. C., y MAYA GAVIRIA, J. (2012). DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RIGIDO. UNIVERSIDAD DE UINCHO: <https://goo.su/XH9mW7O>
- (43) MORAN DELGADO, G., y ALVARADO CERVANTES, D. (2010). METODOS DE INVESTIGACION. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- (44) MUTHU, L., GEETHA, S., SELVAKUMAR, M., y DIVYA, K. (2021). Strength enhancement of Clayey Sand subgrade using lime and rice husk ash. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.039>.
- (45) NEOMOTOR. (diciembre de 2019). Clasificación: ¿Cuál es el país con las mejores carreteras del mundo? Conduccion: <https://neomotor.epe.es/conduccion/clasificacion-cual-es-el-pais-con-las-mejores-carreteras-del-mundo-EANM1699>
- (46) NIKUZE, J. (02 de febrero de 2021). Stabilization of expansive subgrade soil with cow dung, ash and lime. UNIVERSITY OF RWANDA: <http://154.68.126.42/handle/123456789/1717>
- (47) OSORIO, S. (25 de noviembre de 2010). Apuntes de Geotecnia con Enfoque en Laderas. Consistencia del Suelo - Límites de Atterberg - Índices: https://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_2498.html
- (48) OYOLA GARCIA, A. E. (marzo de 2021). Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo. <https://doi.org/10.35434/rcmhnaaa.2021.141.905>
- (49) PEREZ MANTILLA, Yenner. (2017). Resistencia del concreto $f'c=210$ kg/cm² sustituyendo al cemento en 4% y 8% por la ceniza de tronco de Eucalipto (Eucaliptus Globulus). Retrieved 24 de abril de 2023, from http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/7975/tesis_57364.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- (50) PUSHPAKUMARA, B., y MENDIS, W. (Diciembre de 2022). Suitability of Rice Husk Ash (RHA) with lime as a soil stabilizer in geotechnical applications. <https://doi.org/10.1186/s40703-021-00169-w>
- (51) QUERO VIRIA, M. (mayo-agosto de 2010). Confiabilidad y coeficiente Alpha de Cronbach. TeloS: <https://www.redalyc.org/pdf/993/99315569010.pdf>
- (52) REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES - LICENCIA DE. (31 de mayo de 2016). NORMA TECNICA. CE 0.10 Pavimentos Urbanos DS N° 010-2010: <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619679-ce-010-pavimentos-urbanos-ds-n-010-2010>
- (53) REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES - LICENCIA DE EDIFICACIÓN. (01 de Junio de 2016). CE.020 Estabilizacion de Tuelos y Taludes: <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619680-ce-020-suelos-y-taludes-ds-n-017-2012>
- (54) RONDON QUINTANA, H. A., y REYES LIZCANO, F. A. (2015). Pavimentos Materiales, construccion y diseño. Bogota: Ecoe Ediciones Ltda.
- (55) SANCHEZ FLORES, F. A. (junio de 2019). Epistemic Fundamentals of Qualitative and Quantitative Research: Consensus and Dissensus. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.19083/ridu.2019.644>
- (56) SERMENT, V. (2012). Pavimentos Rígidos y Flexibles, Ventajas y Desventajas. ASOCIACIÓN MEXICANA DE INGENIERIA DE VIAS TERRESTRES, A. C.: https://www.amivtac.org/spanelWeb/file-manager/Biblioteca_Amivtac/Reuniones-Nacionales/XIX/XIX-006-a-Pavimentos-Rigidos-y-Flexibles-Ventajas-y-Desventajas.pdf
- (57) VILLASIS-KEEVER, M., MARQUEZ GONSALES, H., NELLELY CRUZ, J., MIRANDA NOVALES, G., y ESCAMILLA NUÑEZ, A. (2018). Research protocol VII. Validity and reliability of the measurements. <https://doi.org/10.29262/ram.v65i4.560>
- (58) ZALWANGO, T., BAZAIRWE, A., y SAFIKI, A. (2021). Scilit. [https://doi.org/DOI: 10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.5.10](https://doi.org/DOI:10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.5.10)

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGIA
Problema General:	Objetivo general:	Hipótesis general:	INDEPENDIENTE Cal y Ceniza de Madera	Dosificación	0% Cal + 0%CM	Laboratorio	Tipo de investigación Aplicada Enfoque de investigación Cuantitativo El diseño de la investigación CuasiExperimental El nivel de la investigación: Explicativo Población: Av. Luzuriaga Muestra: Av. Luzuriaga Muestreo: No probabilístico
¿De qué manera influye utilizar Cal y Ceniza de Madera en la Estabilización de Suelos de la Subrasante, Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023?	Estabilizar los Suelos de la Subrasante de la Av. Luzuriaga utilizando Cal y Ceniza de Madera, Carhuaz, Ancash, 2023.	La adición de cal y ceniza de madera mejoraría las propiedades del suelo de la subrasante, Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.			4% Cal + 4%CM	Laboratorio	
					4% Cal + 8%CM	Laboratorio	
					4% Cal + 12%CM	Laboratorio	
Problemas Específicos:	Objetivos específicos:	Hipótesis específicas:					
¿Cómo influye la adición de cal y ceniza de madera en la reducción del índice plástico en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023?	Reducir el índice plástico con la adición de cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.	La adición de cal y ceniza de madera reduciría el índice plástico en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.	DEPENDIENTE Estabilización de la subrasante.	Propiedades Físicas	Índice de Plasticidad	Laboratorio	
¿Cómo influye la adición de cal y ceniza de madera en el incremento de la resistencia en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023?	Determinar el incremento de la resistencia con la adición de cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.	La adición de cal y ceniza de madera incrementaría la capacidad de soporte del suelo de la subrasante, Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.		Propiedades Mecánicas	Ensayo CBR (% CBR)	Laboratorio	
¿Cómo influye la adición de cal y ceniza de madera en el espesor de estabilización para el incremento de la resistencia en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023?	Determinar el espesor de estabilización con la adición de cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.	La adición de cal y ceniza de madera en el espesor de estabilización incrementaría la resistencia en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.			Espesor de estabilización	CBR Equivalente	
¿Cómo influye la adición de cal y ceniza de madera en la reducción de las dimensiones de la estructura del pavimento flexible en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023?	Determinar las dimensiones de la estructura del pavimento flexible con la adición de cal y ceniza de madera en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.	La adición de cal y ceniza de madera reduciría las dimensiones de la estructura del pavimento flexible en los suelos de la subrasante de la Av. Luzuriaga, Carhuaz, Ancash, 2023.			Espesor de la estructura del pavimento flexible.	Ecuación de AASHTO-93	

Anexo 2. Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION
Variable 1 Cal (CA) y Ceniza de Madera (CM)	La ceniza constituye un polvo de partículas finas conformado por alúmina, sílice, álcalis y diversos óxidos, caracterizándose por su naturaleza puzolánica, la cual interactúa con la cal hidratada con el propósito de generar elementos cementantes (22).	Se dosificará adecuadamente diferentes proporciones de cal y ceniza de madera, posteriormente se evaluarán las modificaciones de las características mecánicas y físicas del suelo de la subrasante. El propósito de alterar las características geotécnicas de los suelos, buscamos mejorar su capacidad de soporte y otras propiedades relevantes para la construcción de infraestructuras viales.	Dosificación	0% Cal + 0%CM	Razón
				4% Cal + 4%CM	
				4% Cal + 8%CM	
				4%Cal + 12%CM	
Variable 2 Estabilización de la subrasante	La estabilización de suelos es un método para incrementar las características físico mecánicas del suelo a tratar e incrementar sus cualidades naturales. Asimismo, la planificación de una estabilización que involucra un aditivo implica varias etapas, que incluyen la categorización del suelo, la identificación del estabilizante y sus proporciones, y la metodología de estabilización (49).	Una vez determinado del contenido óptimo de cal y ceniza de madera para la estabilización de la subrasante, se realizará la verificación técnica económico y se estimará el espesor de mejoramiento para garantizar que la subrasante sea apropiada y la estructura del pavimento no falle de madera prematura.	Propiedades Físicas	Índice de Plasticidad	Razón
			Propiedades Mecánicas	Ensayo CBR (% CBR) Espesor de estabilización	

Anexo 3. Composición Química y Física de la Cal Viva.

	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE CALIDAD, SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL		M&CALERA SANTA S.A.C.	
			Código	DGE-FT-01
	FICHA TÉCNICA: ÓXIDO DE CALCIO - MYCAL VIVA		Versión	04
			Fecha	14-07-2023
			Página	1 de 4

I. DESCRIPCION Y DEFINICION DEL PRODUCTO



- El óxido de calcio es un producto obtenido a partir de un proceso de calcinación de piedra caliza de buena pureza escogida de propias canteras con una alta ley mayor al 90% y estrictamente seleccionada, seguida por un proceso de molienda y clasificación, obteniendo la cal viva molida lista para ser comercializada en diferentes granulometrías.
- Definición**
Nuestro producto: MYCAL VIVA
Nombre Químico: Oxido de Calcio
Formula Química: Ca(O)
Estado Físico: Solido
Peso Molecular: 74.09 g/mol
Nombre Comercial: Cal Viva

II. COMPOSICION

PROPIEDADES QUIMICAS			PROPIEDADES FISICAS	
Nombre del Compuesto	Formula	Valor	Granulometría	
Cal Total	CaO	Max. 91%	Retenido sobre Tamiz #30 (590 µm)	0 %
Cal Útil (Disponibile)		> 81%	Retenido sobre Tamiz #100(150 µm)	Max. 2 %
Óxido de Azufre	SO ₃	< 0.03%	Retenido sobre Tamiz #100(150 µm)	Max. 18 %
Oxido de Silicio	SiO ₂	< 0.24%	Gravedad especifica	2.65 g/cm ³
Oxido de Magnesio	MgO	< 0.05%		
Oxido de Aluminio	Al ₂ O	< 0.24%		
Oxido de Fierro	Fe ₂ O	< 0.19%		
Perdida por calcinación		3 %		

	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE CALIDAD, SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL		M&CALERA SANTA S.A.C.	
			Código	DGE-FT-01
	FICHA TÉCNICA: ÓXIDO DE CALCIO - MYCAL VIVA		Versión	04
			Fecha	14-07-2023
		Página	2 de 4	

III. PRESENTACION



- Sacos de polipropileno laminado 25 Kg.
- Sacos de polipropileno laminado de 40 Kg.
- En Big Bag con Liners y rotulado 1 TN, ½ TN.
- A Granel en Tolva
- Bombonas

IV. USOS Y BENEFICIOS DE SU APLICACIÓN

- ✓ **Minería:** en los procesos de flotación, lixiviación y cianuración de metales preciosos (Oro y Plata).
- ✓ **Industria siderúrgica:** se utiliza como fundente básico, desulfurante y escorificante.
- ✓ **Industria metalúrgica:** Resaltando sobre el aluminio y cobre, se utiliza en los procesos de fundición, concentración y refinación de dichos metales.
- ✓ **Tratamiento de agua:** es utilizada tanto en la potabilización, como el acondicionamiento de aguas industriales y el tratamiento de aguas residuales.
- ✓ **Agricultura:** actúa como regulador del PH, neutralizador, y precipitante de impurezas. Leer más
- ✓ **Industria Azucarera:** Para el proceso de clarificación y alcalinizado del jugo de caña. Incrementa el PH, además de aglomerar y flocular diversas impurezas en el jugo de caña.
- ✓ **Construcción:** Suelos arcillosos, construcción de pavimentos asfálticos y revestimientos protectores.

	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE CALIDAD, SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL		M&CALERA SANTA S.A.C.	
			Código	DGE-FT-01
	FICHA TÉCNICA: ÓXIDO DE CALCIO - MYCAL VIVA		Versión	04
			Fecha	14-07-2023
		Página	3 de 4	

V. ALMACENAMIENTO

- Se debe mantener protegido del contacto de la humedad y del anhídrido carbónico del aire.
- Almacenar en un lugar fresco, seco y ventilado, lejos de fuentes de calor e ignición.
- Proteger contra daños físicos.
- Los envases de este material pueden ser peligrosos cuando están vacíos ya que retienen residuos del producto (polvo, sólidos).
- Mantener la bolsa herméticamente cerrada.

VI. PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES

Transporte y Manipuleo	Cuidados al Contacto
<ul style="list-style-type: none"> • Proteger del agua. • Estar totalmente cubierto. • Proteger de la intemperie. • Utilizar: Crema protectora aplicada al cuello, puños, tobillos, cintura y manos. • No presenta olor • No es inflamable • No posee explosión potencial • Reacción: El óxido de calcio reacciona con ácidos, formando sales de calcio, de las cuales algunas serían solubles. 	<ul style="list-style-type: none"> • La exposición al óxido de calcio por las vías de inhalación, contacto con la piel, ojos o por la ingestión, puede afectar el organismo. • La exposición aguda a corto plazo, irritará ojos, nariz, garganta y piel. • Los factores térmicos pueden ser constituyentes de quemaduras intensas, bronquitis y neumonía. • La exposición a largo plazo puede producir dermatitis, úlceras y perforaciones al tabique nasal. • El contacto con la piel producirá irritación, quemaduras intensas, corrosión y posible daño severo. • El contacto con los ojos produce quemaduras graves y pérdida de visión. • La inhalación del polvo de cal, causa tos, estornudos e inflamación del aparato respiratorio. • La ingestión produce quemaduras y causticidad. • En caso de incendios pequeños, el agente de extinción sería polvo químico seco CO2, neblina de baja, de alta o espuma normal.

	<p align="center"><i>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE CALIDAD, SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL</i></p>	M&CALERA SANTA S.A.C.	
		Código	DGE-FT-01
<p align="center">FICHA TÉCNICA: ÓXIDO DE CALCIO - MYCAL VIVA</p>	Versión	04	
	Fecha	14-07-2023	
	Página	4 de 4	

VII. INFORMACION ADICIONAL

- Para el manipuleo seguro del producto, recurrir a la hoja MSDS del producto.
- Por otros datos técnicos del producto y modo de empleo póngase en contacto con nosotros.

VIII. CONSIDERACIONES

- Los resultados del producto pueden variar, dado que la materia prima es un producto natural.
- La información y las instrucciones suministradas en esta HDT no constituye una garantía de performance técnica ni de idoneidad para aplicaciones particulares y no establece relaciones contractuales legalmente válidas.
- Esta versión de HDT sustituye todas las versiones anteriores.

Anexo 4. Resultados de ensayos.

	<h1 style="margin: 0;">GEOCONSTRUMIN</h1> <p style="margin: 0; font-size: small;">Geotecnia - Construcción & Minería</p> <p style="margin: 0; font-size: x-small; color: green;">CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS – LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ROCAS Y CONCRETO</p>		
PROYECTO :	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"		
UBICACIÓN :	AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH	RESPONSABLE :	ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
SOLICITA :	TESISISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ	FECHA :	27 de Julio de 2023
	MUESTRA :	MUESTRA PATRON	

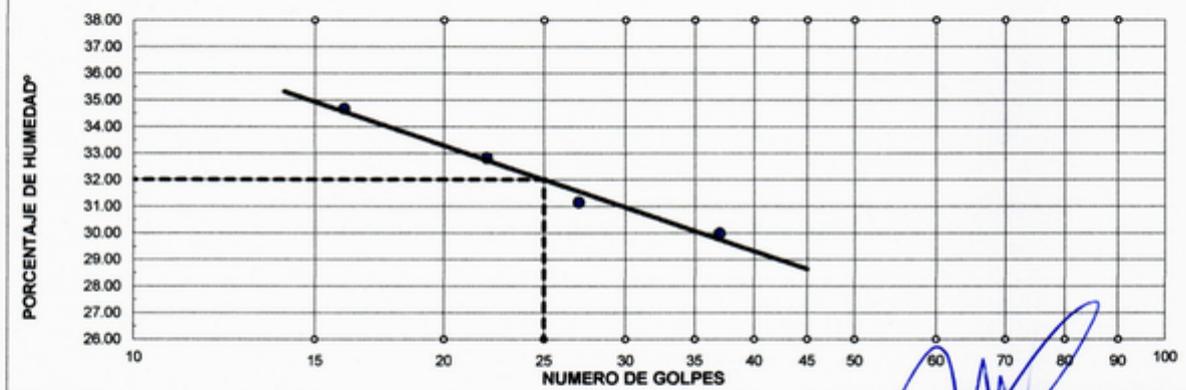
CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)

Muestra N°	M - 1	M - 2	M - 3
(1) Tara de recipiente	A-01	A-02	A-03
(2) Masa del recipiente (g)	30.40 g	30.20 g	28.70 g
(3) Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	758.30 g	745.90 g	703.90 g
(4) Masa del recipiente + suelo seco (g)	695.30 g	682.40 g	642.70 g
(5) Masa de agua (g) = (3) - (4)	63.00 g	63.50 g	61.20 g
(6) Masa de suelo seco (g) = (4) - (2)	664.90 g	652.20 g	614.00 g
(7) Contenido de humedad = (5)/(6)	9.48 %	9.74 %	9.97 %
Contenido de humedad (%)	9.73 %		

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
	C-1	C-2	C-3	C-4	T-1	T-2	T-3
01. No.de golpes	37	27	22	16			
02. N° de tarro	C-1	C-2	C-3	C-4	T-1	T-2	T-3
03. Masa de suelo húmedo + tarro g	34.01	34.25	35.06	33.32	17.11	17.32	15.91
04. Masa de suelo seco + tarro g	30.84	31.02	31.44	29.95	16.91	17.11	15.71
05. PESO DEL AGUA g	3.17	3.23	3.62	3.37	0.20	0.21	0.20
06. PESO DEL TARRO g	20.27	20.65	20.41	20.23	15.80	16.00	14.60
07. PESO DEL SUELO SECO g	10.57	10.37	11.03	9.72	1.11	1.11	1.11
08. HUMEDAD %	29.99	31.15	32.82	34.67	18.02	18.92	18.02
LL.=	32.01 %	LP.=	18.32	LP.=	13.70 %		

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



GEOCONSTRUMIN
 GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUC: 20602039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
 ING. CIVIL- MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
 TITULAR GERENTE

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 27 de Julio de 2023

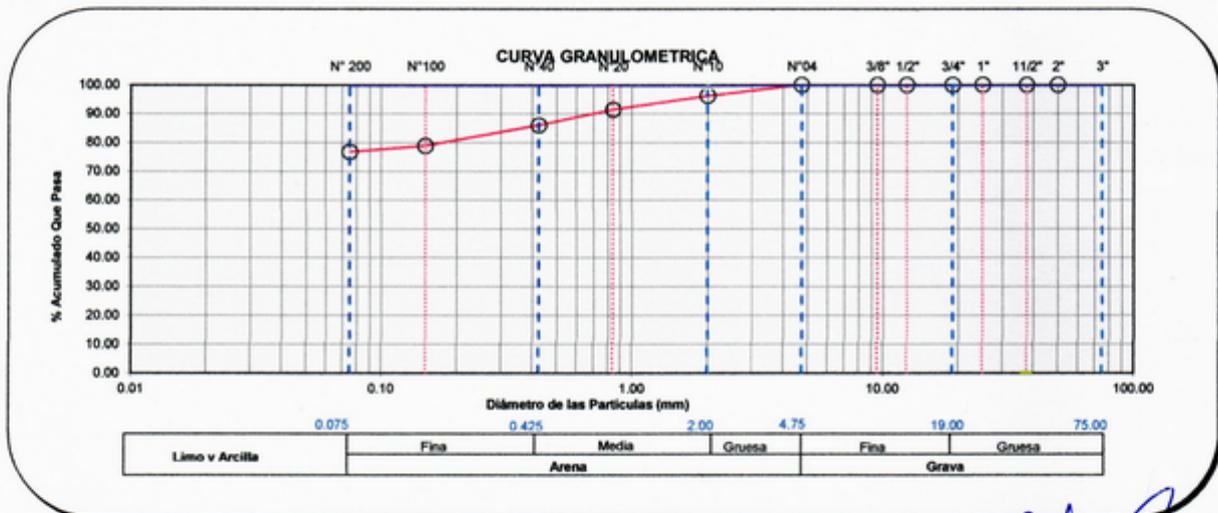
SOLICITA : TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

MUESTRA : MUESTRA PATRON

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO Peso de tara = 125.40 g P. tara + suelo seco = 3915.72 g P. suelo seco = 3790.32 g P. tara + suelo seco lavado = 1007.50 g Humedad natural = 9.73 %
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
No.04	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00	
No.10	2.000	142.48	3.76	3.76	96.24	
No.20	0.840	182.28	4.81	8.57	91.43	
No.40	0.425	205.88	5.43	14.00	86.00	LIMITES DE CONSISTENCIA L.L. : 32.01 % L.P. : 18.32 % I.P. : 13.70 %
No.100	0.150	272.18	7.18	21.18	78.82	
No.200	0.075	77.78	2.05	23.23	76.77	
<No.200		1.50	0.04	23.27	76.73	
		882.10				

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



% GRAVA	0.00	GRUESA	0.00
		FINA	0.00
% ARENA	23.23	GRUESA	3.76
		MEDIA	10.24
		FINA	9.23
% FINOS	76.77		76.77

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCION Y MINERIA E.I.R.L.
RUC/24602039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL, MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
TITULAR GERENTE



GEOCONSTRUMIN

Geotecnia - Construcción & Minería

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS – LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ROCAS Y CONCRETO

PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 27 de Julio de 2023

SOLICITA : TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

MUESTRA : MUESTRA PATRON

CLASIFICACIÓN DE SUELO SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

Tamices ASTM	Abertura (mm)	% Acumulado	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.00 %	100.00 %
2"	50.000	0.00 %	100.00 %
1 1/2"	37.500	0.00 %	100.00 %
1"	25.000	0.00 %	100.00 %
3/4"	19.000	0.00 %	100.00 %
1/2"	12.500	0.00 %	100.00 %
3/8"	9.500	0.00 %	100.00 %
N° 4	4.750	0.00 %	100.00 %
N° 10	2.000	3.76 %	96.24 %
N° 20	0.850	8.57 %	91.43 %
N° 40	0.425	14.00 %	86.00 %
N° 100	0.250	21.18 %	78.82 %
N° 200	0.075	23.23 %	76.77 %
< N° 200	-	23.27 %	76.73 %

D ₆₀ :	0.07 mm
D ₃₀ :	0.07 mm
D ₁₀ (diámetro efectivo):	0.06 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	1.19
Coefficiente de curvatura (Cc):	1.05

Sistema unificado de clasificación de suelos
(S.U.C.S.)

Suelo de partículas gruesas

Mezcla de Arcilla y Arena

**(CL) Arcilla de Baja Plasticidad con
Arena**

Límite líquido (LL)	:	32.01 %
Límite plástico (LP)	:	18.32 %
Índice de plasticidad (IP)	:	13.70 %

CLASIFICACIÓN DE SUELO AASHTO

A-6(11) GRUPO 1

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUC: 20602039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRÍA EN GEOTECNIA
CIP 78282
TITULAR GERENTE

PROYECTO :

"ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN :

AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

RESPONSABLE :

ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA :

27 de Julio de 2023

SOLICITA :

TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

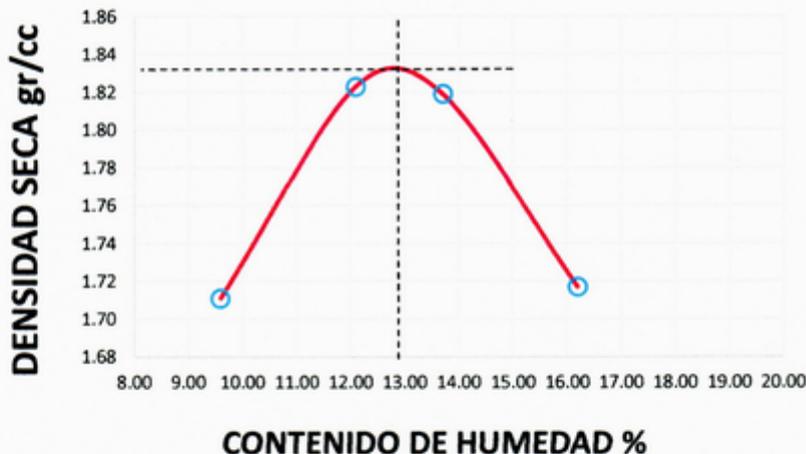
MUESTRA :

MUESTRA PATRON

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°		1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD						
PESO MOLDE+SUELO	gr.	5,097.00	5,255.00	5,278.00	5,209.00	
PESO MOLDE	gr.	3,339.10	3,339.10	3,339.10	3,339.10	
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	1,757.90	1,915.90	1,938.90	1,869.90	
VOLUMEN DEL MOLDE	cc	937.39	937.39	937.39	937.39	
DENSIDAD HUMEDA	gr/cc.	1.88	2.04	2.07	2.00	
DENSIDAD SECA	gr/cc	1.71	1.82	1.82	1.72	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD						
CAPSULA N°		R-1	R-2	R-3	R-4	
SUELO HUMEDO + CAPSULA	gr.	212.30	199.80	217.60	215.00	
SUELO SECO + CAPSULA	gr.	196.30	181.00	194.60	188.70	
PESO RECIPIENTE	gr.	28.80	25.70	26.90	26.40	
PESO DE AGUA	gr.	16.00	18.80	23.00	26.30	
PESO DE SUELO SECO	gr.	167.50	155.30	167.70	162.30	
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.60	12.10	13.70	16.20	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
1.830 gr/cm³

Conten. humedad óptima
12.80 %

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCION Y MINERIA E. R. L.
RUC: 28802039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
TITULAR GERENTE

OBSERVACIONES:

El método seleccionado para el ensayo de Proctor Modificado fue el MÉTODO A.
N° DE GOLPES/CAPA: 25
N° CAPAS: 5

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

SOLICITA : TESISISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ **RESPONSABLE :** ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 27 de Julio de 2023 **MUESTRA :** MUESTRA PATRON

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

COMPACTACION C B R

Molde N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Altura Molde mm.	124		120		120	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso molde + suelo húmedo gr	10979.000	11002.000	11389.000	11437.000	11172.000	11267.000
Peso del molde gr	6680.000	6680.000	7410.000	7410.000	7390.000	7390.000
Peso del suelo húmedo gr	4299.000	4322.000	3979.000	4027.000	3782.000	3877.000
Volumen del molde cc	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000
Densidad Humeda gr./cc	2.063	2.074	1.909	1.932	1.815	1.860
Humedad %	12.800	13.400	12.400	14.000	12.300	15.100
Densidad seca gr./cc	1.829	1.829	1.698	1.695	1.616	1.616

Tarro N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Tarro suelo húmedo gr.	203.30	245.30	212.30	222.80	216.50	218.70
Tarro suelo seco gr.	183.30	219.70	191.90	198.60	195.70	193.60
Agua gr.	20.00	25.60	20.40	24.20	20.80	25.10
Peso del Tarro gr.	27.60	28.60	27.70	25.90	26.80	27.60
Peso del suelo seco gr.	155.70	191.10	164.20	172.70	168.90	166.00
Humedad %	12.80	13.40	12.40	14.00	12.30	15.10
Promedio de la humedad %	13.1		13.2		13.7	

ENSAYO EXPANSION

Molde N°	FECHA	HORA	TIEMPO	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
				DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
					m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
	20/07/2023	04:00 p.m.	0h.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	21/07/2023	04:00 p.m.	24h.	0.072	1.829	1.475	0.091	2.311	1.926	0.122	3.099	
	22/07/2023	04:00 p.m.	48h.	0.088	2.235	1.803	0.108	2.743	2.286	0.128	3.251	
	23/07/2023	04:00 p.m.	72h.	0.104	2.642	2.130	0.156	3.962	3.302	0.196	4.978	
	24/07/2023	04:00 p.m.	96h.	0.156	3.962	3.195	0.176	4.470	3.725	0.201	5.105	

ENSAYO CARGA - PENETRACION

Molde N°	PENETRACION			MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
	Tiempo (Min)	mm	plg	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
				Dial	corregida	Lb/plg ²	Dial	corregida	Lb/plg ²	Dial	corregida	Lb/plg ²
	0.50	0.635	0.025	3	42	14	2	34	11	2	27	9
	1.00	1.270	0.050	7	82	27	5	65	22	3	46	15
	1.50	1.905	0.075	11	129	43	8	96	32	5	63	21
	2.00	2.540	0.100	15	170	57	11	126	42	8	93	31
	3.00	3.810	0.150	25	266	89	18	195	65	15	162	54
	4.00	5.080	0.200	34	363	121	25	276	92	21	233	78
	5.00	6.350	0.250	42	449	150	32	340	113	28	299	100
	6.00	7.620	0.300	49	517	172	37	398	133	35	375	125
	8.00	10.160	0.400									
	10.00	12.700	0.500									

PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

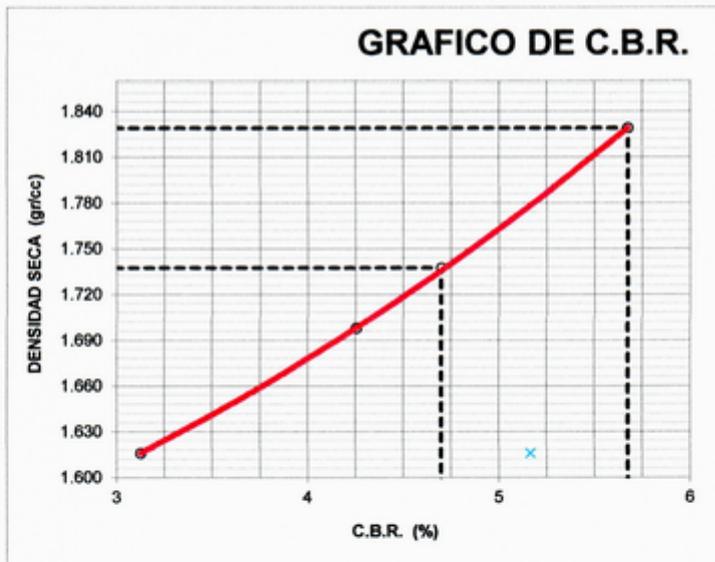
SOLICITA : TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

FECHA : 27 de Julio de 2023

MUESTRA : MUESTRA PATRON

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01" AL 100% = **5.7%**
C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = **4.7%**

LEYENDA

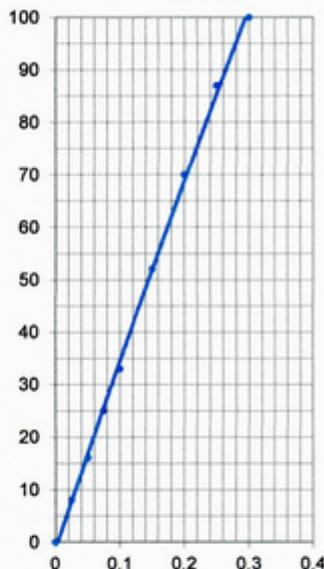
— CURVA A 0.1"

C.B.R 0. = 5.7%

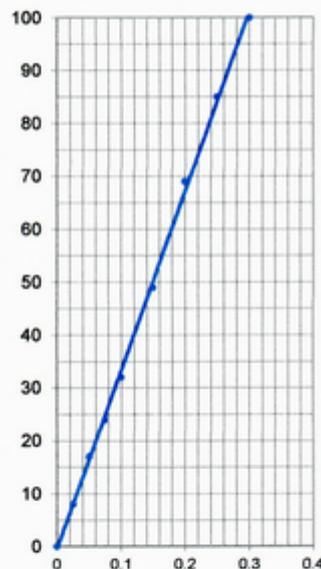
C.B.R 0.1" = 4.3%

C.B.R 0.1" = 3.1%

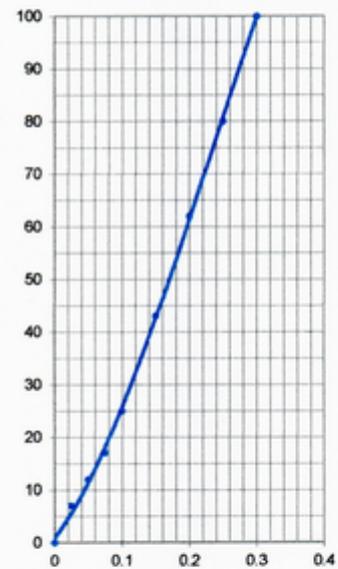
CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES



Anexo 3. Resultados de ensayos



GEOCONSTRUMIN

Geotecnia - Construcción & Minería

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS – LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ROCAS Y CONCRETO

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

SOLICITA : TESISISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 2 de Agosto de 2023

MUESTRA : MUESTRA PATRON 2% CAL

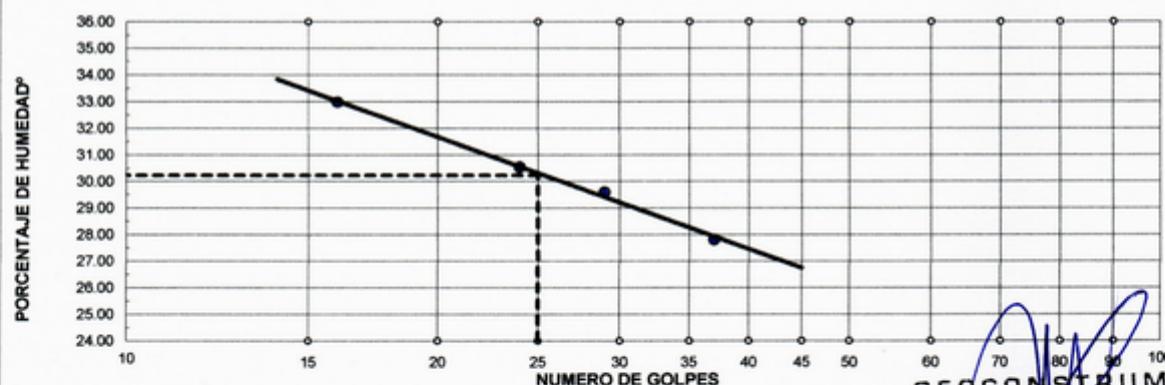
CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)

Muestra N°	M - 1	M - 2	M - 3
(1) Tara de recipiente	A-01	A-02	A-03
(2) Masa del recipiente (g)	36.90 g	38.30 g	32.60 g
(3) Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	270.50 g	290.50 g	378.40 g
(4) Masa del recipiente + suelo seco (g)	254.90 g	273.50 g	353.60 g
(5) Masa de agua (g) = (3) - (4)	15.60 g	17.00 g	24.80 g
(6) Masa de suelo seco (g) = (4) - (2)	218.00 g	235.20 g	321.00 g
(7) Contenido de humedad = (5)/(6)	7.16 %	7.23 %	7.73 %
Contenido de humedad (%)	7.37 %		

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	Anexo 3. Resultados de ensayos				LIMITE PLASTICO			
	37	29	24	16	T-1	T-2	T-3	
01. No.de golpes	37	29	24	16				
02. N° de tarro	C-1	C-2	C-3	C-4	T-1	T-2	T-3	
03. Masa de suelo húmedo + tarro g	48.56	47.83	52.39	60.99	17.11	17.22	15.91	
04. Masa de suelo seco + tarro g	45.74	45.45	49.62	55.89	16.91	17.03	15.71	
05. PESO DEL AGUA g	2.82	2.38	2.77	5.10	0.20	0.19	0.20	
06. PESO DEL TARRO g	35.60	37.41	40.55	40.43	15.80	16.00	14.61	
07. PESO DEL SUELO SECO g	10.14	8.04	9.07	15.46	1.11	1.03	1.10	
08. HUMEDAD %	27.81	29.60	30.54	32.99	18.02	18.45	18.18	
L.L.=	30.24 %				L.P.= 18.22			I.P.= 12.02 %

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



GEOCONSTRUMIN
 GEOTECNIA, CONSTRUCCION Y MINERIA E.I.R.L.
 RUC: 20502439260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
 ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
 CIP 76282
 TITULAR GERENTE



GEOCONSTRUMIN

Geotecnia - Construcción & Minería

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS – LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ROCAS Y CONCRETO

PROYECTO :

"ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN :

AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

RESPONSABLE :

ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA :

2 de Agosto de 2023

SOLICITA :

TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

MUESTRA :

MUESTRA PATRON 2% CAL

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°		1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD						
PESO MOLDE+SUELO	gr.	5,166.00	5,324.00	5,357.00	5,288.00	
PESO MOLDE	gr.	3,339.10	3,339.10	3,339.10	3,339.10	
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	1,826.90	1,984.90	2,017.90	1,948.90	
VOLUMEN DEL MOLDE	cc	937.39	937.39	937.39	937.39	
DENSIDAD HUMEDA	gr/cc.	1.95	2.12	2.15	2.08	
DENSIDAD SECA	gr/cc	1.78	1.90	1.90	1.79	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD						
CAPSULA N°		R-1	R-2	R-3	R-4	
SUELO HUMEDO + CAPSULA	gr.	212.30	206.90	219.80	214.00	
SUELO SECO + CAPSULA	gr.	196.30	188.30	196.70	187.80	
PESO RECIPIENTE	gr.	27.70	26.90	26.80	27.80	
PESO DE AGUA	gr.	16.00	18.60	23.10	26.20	
PESO DE SUELO SECO	gr.	168.60	161.40	169.90	160.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.50	11.50	13.60	16.40	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
1.910 gr/cm³

Conten. humedad óptima
12.40 %

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUC 20701839260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
TITULAR GERENTE

OBSERVACIONES:

El método seleccionado para el ensayo de Proctor Modificado fue el MÉTODO A.

N° DE GOLPES/CAPA: 25

N° CAPAS: 5

Dirección: Jr. Simón Bolívar N° 799 – Huaraz/ Teléfono (043)231231 – Celular 954438197 RPM #954438197 /correo

canteralaboratorio@gmail.com

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

SOLICITA : TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 2 de Agosto de 2023 MUESTRA : MUESTRA PATRON 2% CAL

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

COMPACTACION C B R

Molde N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Altura Molde mm.	124		120		120	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso molde + suelo húmedo gr	11155.000	11186.000	11391.000	11441.000	11135.000	11229.000
Peso del molde gr	6680.000	6680.000	7410.000	7410.000	7390.000	7390.000
Peso del suelo húmedo gr	4475.000	4506.000	3981.000	4031.000	3745.000	3839.000
Volúmen del molde cc	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000
Densidad Humeda gr./cc	2.147	2.162	1.910	1.934	1.797	1.842
Humedad %	12.400	13.200	11.900	13.300	12.100	14.900
Densidad seca gr./cc	1.910	1.910	1.707	1.707	1.603	1.603
Tarro N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Tarro suelo húmedo gr.	187.80	224.50	203.60	212.80	198.40	201.60
Tarro suelo seco gr.	170.20	201.60	184.90	190.90	179.80	179.20
Agua gr.	17.60	22.90	18.70	21.90	18.60	22.40
Peso del Tarro gr.	28.00	27.50	28.20	26.60	26.20	28.70
Peso del suelo seco gr.	142.20	174.10	156.70	164.30	153.60	150.50
Humedad %	12.40	13.20	11.90	13.30	12.10	14.90
Promedio de la humedad %	12.8		12.6		13.5	

ENSAYO EXPANSION

Molde N°	FECHA	HORA	TIEMPO	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03				
				DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
					m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
	25/07/2023	09:00 a.m.	0h.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	26/07/2023	09:00 a.m.	24h.	0.052	1.321	1.065	0.071	1.803	1.503	0.093	2.362	1.969
	27/07/2023	09:00 a.m.	48h.	0.067	1.702	1.372	0.079	2.007	1.672	0.097	2.464	2.053
	28/07/2023	09:00 a.m.	72h.	0.072	1.829	1.475	0.114	2.896	2.413	0.141	3.581	2.985
	29/07/2023	09:00 a.m.	96h.	0.114	2.896	2.335	0.134	3.404	2.836	0.152	3.861	3.217

ENSAYO CARGA - PENETRACION

Molde N°	PENETRACION			MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
	Tiempo (Min)	mm	plg	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
				Dial	corregida	Lb/plg ²	Dial	corregida	Lb/plg ²	Dial	corregida	Lb/plg ²
	0.50	0.635	0.025	4	51	17	3	39	13	2	31	10
	1.00	1.270	0.050	8	93	31	6	71	24	4	53	18
	1.50	1.905	0.075	14	154	51	9	107	36	7	83	28
	2.00	2.540	0.100	19	213	71	13	149	50	10	115	38
	3.00	3.810	0.150	28	302	101	20	223	74	17	183	61
	4.00	5.080	0.200	39	416	139	28	299	100	25	268	89
	5.00	6.350	0.250	49	524	175	36	387	129	31	337	112
	6.00	7.620	0.300	56	594	198	43	456	152	39	422	141
	8.00	10.160	0.400									
	10.00	12.700	0.500									

Dirección: Jr. Simón Bolívar N° 799 - Huaraz/ Teléfono (043)231231 - Celular 954438197 / correo electrónico canteralaboratorio@gmail.com

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCION Y MINERIA E.I.R.L.
RUC: 10407339260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
TITULAR GERENTE

PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

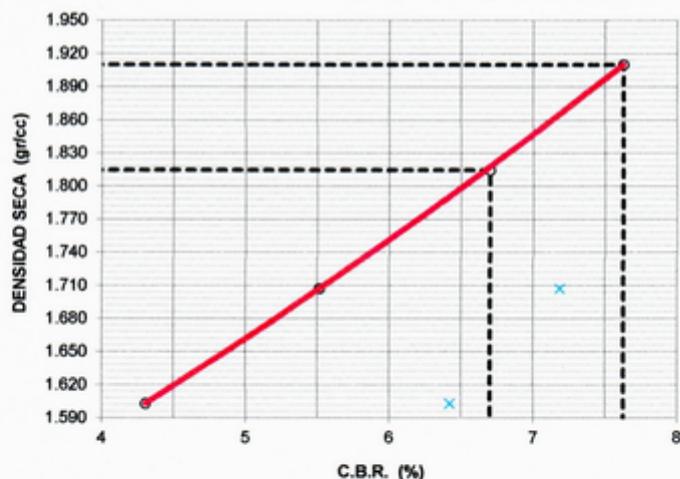
SOLICITA : TESISISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

FECHA : 2 de Agosto de 2023

MUESTRA : MUESTRA PATRON 2% CAL

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01" AL 100% = **7.1%**
C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = **6.2%**

LEYENDA

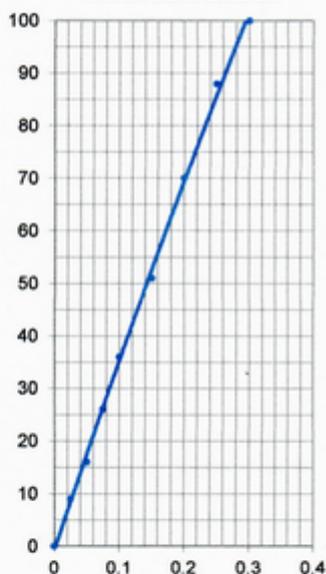
— CURVA A 0.1"

C.B.R 0.1" = 7.1%

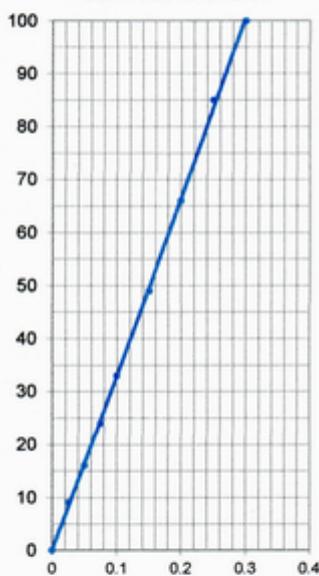
C.B.R 0.1" = 5.0%

C.B.R 0.1" = 3.8%

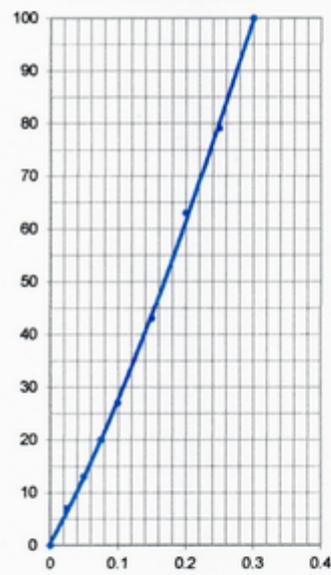
CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES



PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 2 de Agosto de 2023

SOLICITA : TESISISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

MUESTRA : MUESTRA PATRON 4% CAL

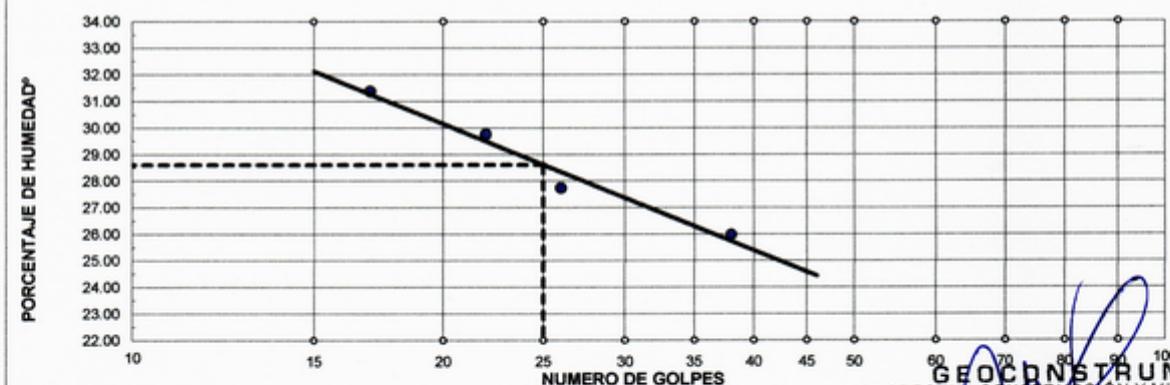
CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)

Muestra N°	M - 1	M - 2	M - 3
(1) Tara de recipiente	A-02	A-07	A-08
(2) Masa del recipiente (g)	30.40 g	29.30 g	25.40 g
(3) Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	329.10 g	312.70 g	272.80 g
(4) Masa del recipiente + suelo seco (g)	305.60 g	290.20 g	253.60 g
(5) Masa de agua (g) = (3) - (4)	23.50 g	22.50 g	19.20 g
(6) Masa de suelo seco (g) = (4) - (2)	275.20 g	260.90 g	228.20 g
(7) Contenido de humedad = (5)/(6)	8.54 %	8.62 %	8.41 %
Contenido de humedad (%)	8.53 %		

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
	38	26	22	17	A-4	A-5	A-7
01. No.de golpes							
02. N° de tarro	C-1	C-3	C-5	C-8	A-4	A-5	A-7
03. Masa de suelo húmedo + tarro g	51.12	45.94	44.52	51.97	16.20	16.50	16.60
04. Masa de suelo seco + tarro g	48.93	44.52	42.91	49.23	16.00	16.30	16.40
05. PESO DEL AGUA g	2.19	1.42	1.61	2.74	0.20	0.20	0.20
06. PESO DEL TARRO g	40.50	39.40	37.50	40.50	14.90	15.20	15.30
07. PESO DEL SUELO SECO g	8.43	5.12	5.41	8.73	1.10	1.10	1.10
08. HUMEDAD %	25.98	27.73	29.76	31.39	18.18	18.18	18.18
L.L.=	28.61 %	L.P.= 18.18			I.P.= 10.43 %		

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUT 2032039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 18282
TITULAR GERENTE

PROYECTO :

"ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y GENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN :

AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

RESPONSABLE :

ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA :

2 de Agosto de 2023

SOLICITA :

TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

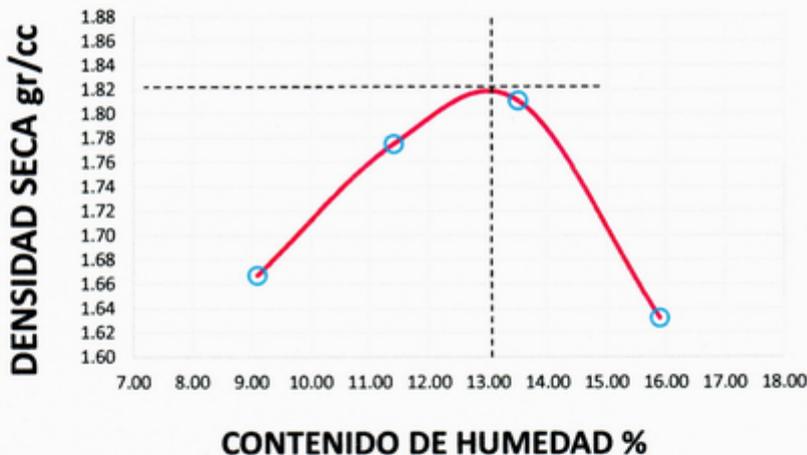
MUESTRA :

MUESTRA PATRON 4% CAL

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°		1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD						
PESO MOLDE+SUELO	gr.	5,044.00	5,192.00	5,265.00	5,112.00	
PESO MOLDE	gr.	3,339.10	3,339.10	3,339.10	3,339.10	
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	1,704.90	1,852.90	1,925.90	1,772.90	
VOLUMEN DEL MOLDE	cc	937.39	937.39	937.39	937.39	
DENSIDAD HUMEDA	gr/cc.	1.82	1.98	2.06	1.89	
DENSIDAD SECA	gr/cc	1.67	1.78	1.81	1.63	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD						
CAPSULA N°		R-1	R-2	R-3	R-4	
SUELO HUMEDO + CAPSULA	gr.	227.90	219.70	224.90	222.70	
SUELO SECO + CAPSULA	gr.	211.20	199.90	201.50	195.90	
PESO RECIPIENTE	gr.	27.80	26.90	27.70	27.20	
PESO DE AGUA	gr.	16.70	19.80	23.40	26.80	
PESO DE SUELO SECO	gr.	183.40	173.00	173.80	168.70	
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.10	11.40	13.50	15.90	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
1.820 gr/cm³

Conten. humedad óptima
13.00 %

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUC: 20802034260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
TITULAR GERENTE

OBSERVACIONES:

El método seleccionado para el ensayo de Proctor Modificado fue el MÉTODO A.

N° DE GOLPES/CAPA: 25

N° CAPAS: 5

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

SOLICITA : TESISISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 2 de Agosto de 2023 MUESTRA : MUESTRA PATRON 4% CAL

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

COMPACTACION C B R

Molde N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Altura Molde mm.	124		120		120	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso molde + suelo húmedo gr	10942.000	11003.000	11429.000	11531.000	11164.000	11335.000
Peso del molde gr	6680.000	6680.000	7410.000	7410.000	7390.000	7390.000
Peso del suelo húmedo gr	4262.000	4323.000	4019.000	4121.000	3774.000	3945.000
Volúmen del molde cc	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000
Densidad Humeda gr./cc	2.045	2.074	1.929	1.977	1.811	1.893
Humedad %	13.000	14.600	12.900	15.700	12.900	18.000
Densidad seca gr./cc	1.810	1.810	1.709	1.709	1.604	1.604
Tarro N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Tarro suelo húmedo gr.	204.90	215.50	220.60	215.20	212.20	215.60
Tarro suelo seco gr.	184.50	191.60	198.50	189.50	191.20	187.00
Agua gr.	20.40	23.90	22.10	25.70	21.00	28.60
Peso del Tarro gr.	27.80	28.00	26.60	25.90	28.20	28.00
Peso del suelo seco gr.	156.70	163.60	171.90	163.60	163.00	159.00
Humedad %	13.00	14.60	12.90	15.70	12.90	18.00
Promedio de la humedad %	13.8		14.3		15.5	

ENSAYO EXPANSION

Molde N°	FECHA	HORA	TIEMPO	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02			MOLDE N° 03			
				DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
					m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
	7/09/2023	02:00 p.m.	0h.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	8/09/2023	02:00 p.m.	24h.	0.033	0.838	0.678	0.042	1.067	0.889	0.056	1.422	
	9/09/2023	02:00 p.m.	48h.	0.044	1.118	0.901	0.053	1.346	1.122	0.068	1.727	
	10/09/2023	02:00 p.m.	72h.	0.056	1.422	1.147	0.071	1.803	1.503	0.090	2.286	
	11/09/2023	02:00 p.m.	96h.	0.075	1.905	1.536	0.087	2.210	1.842	0.095	2.413	

ENSAYO CARGA - PENETRACION

Molde N°	PENETRACION			MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
	Tiempo (Min)	mm	plg	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²
	0.50	0.635	0.025	7	87	29	6	75	25	5	66	22
	1.00	1.270	0.050	16	180	60	13	145	48	9	103	34
	1.50	1.905	0.075	26	279	93	21	226	75	15	167	56
	2.00	2.540	0.100	38	409	136	28	300	100	21	228	76
	3.00	3.810	0.150	54	578	193	39	418	139	33	351	117
	4.00	5.080	0.200	76	804	268	57	605	202	46	494	165
	5.00	6.350	0.250	93	983	328	70	737	246	56	599	200
	6.00	7.620	0.300	104	1098	366	79	835	278	63	663	221
	8.00	10.160	0.400									
	10.00	12.700	0.500									

Dirección: Jr. Simón Bolívar N° 799 - Huaraz / Teléfono (043)231231 - Celular 954438197 / correo electrónico canteralaboratorio@gmail.com

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUC: 2062039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
TITULAR GERENTE

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023*

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

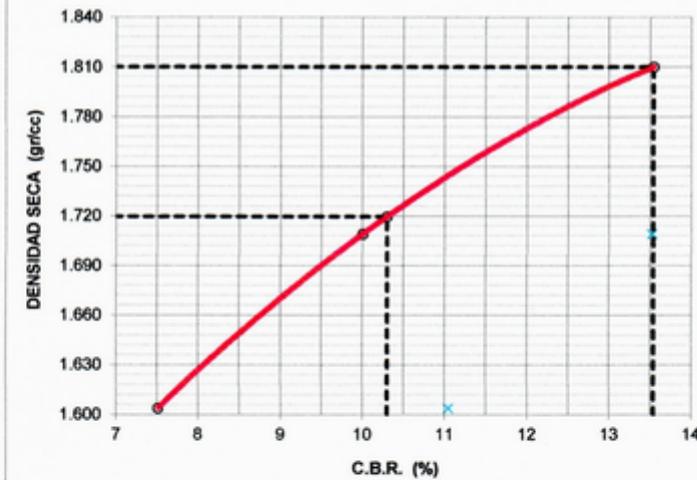
SOLICITA : TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

FECHA : 2 de Agosto de 2023

MUESTRA : MUESTRA PATRON 4% CAL

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01* AL 100% = 13.5%
C.B.R. 01* AL 95% M.D.S. = 10.3%

LEYENDA

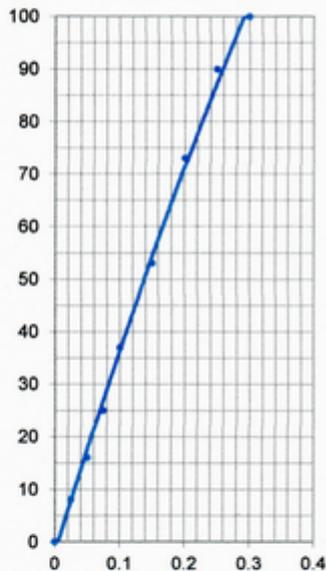
— CURVA A 0.1"

C.B.R 0. 13.5%

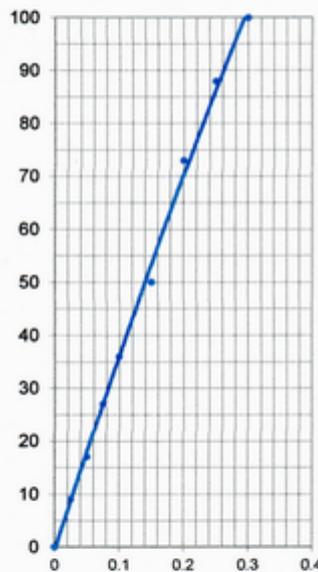
C.B.R 0.1"= 10.0%

C.B.R 0.1"= 7.5%

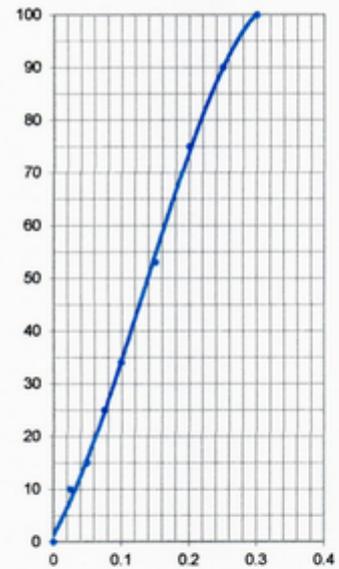
CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES



PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

SOLICITA : TESISISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 2 de Agosto de 2023

MUESTRA : MUESTRA PATRON 6% CAL

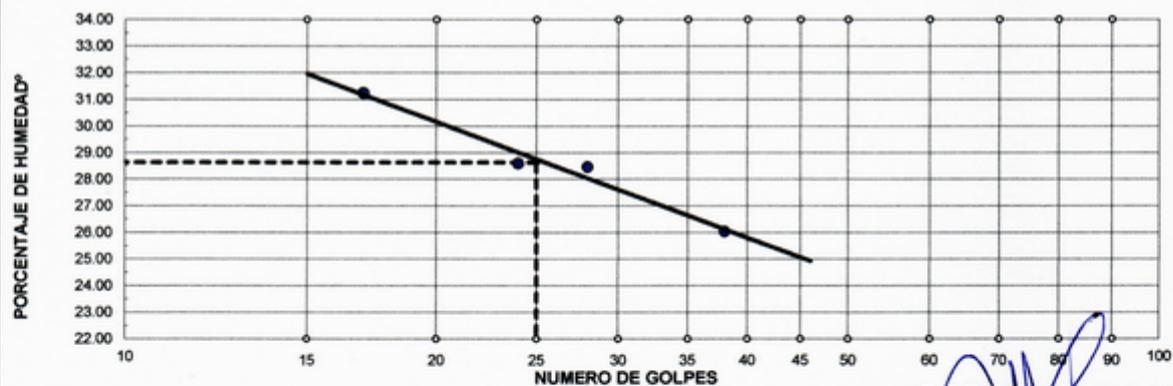
CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)

Muestra N°	M - 1	M - 2	M - 3
(1) Tara de recipiente	A-01	A-02	A-03
(2) Masa del recipiente (g)	30.40 g	28.80 g	32.60 g
(3) Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	280.50 g	266.50 g	275.70 g
(4) Masa del recipiente + suelo seco (g)	267.40 g	253.70 g	263.30 g
(5) Masa de agua (g) = (3) - (4)	13.10 g	12.80 g	12.40 g
(6) Masa de suelo seco (g) = (4) - (2)	237.00 g	224.90 g	230.70 g
(7) Contenido de humedad = (5)/(6)	5.53 %	5.69 %	5.37 %
Contenido de humedad (%)	5.53 %		

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
	38	28	24	17	T-1	T-2	T-3
01. No.de golpes							
02. N° de tarro	C-1	C-2	C-3	C-4			
03. Masa de suelo húmedo + tarro g	72.57	66.33	74.50	66.43	17.21	17.02	16.61
04. Masa de suelo seco + tarro g	65.31	59.52	66.93	60.12	17.01	16.82	16.41
05. PESO DEL AGUA g	7.26	6.81	7.57	6.31	0.20	0.20	0.20
06. PESO DEL TARRO g	37.43	35.60	40.47	39.93	16.02	15.82	15.42
07. PESO DEL SUELO SECO g	27.88	23.92	26.46	20.19	0.99	1.00	0.99
08. HUMEDAD %	26.04	28.47	28.61	31.25	20.20	20.00	20.20
L.L.=	28.64 %	L.P.= 20.13		I.P.= 8.50 %			

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUC 20602039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
TITULAR GERENTE

PROYECTO :

"ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN :

AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

RESPONSABLE :

ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA :

2 de Agosto de 2023

SOLICITA :

TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

MUESTRA :

MUESTRA PATRON 6% CAL

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°		1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD						
PESO MOLDE+SUELO	gr.	5,256.00	5,417.00	5,435.00	5,368.00	
PESO MOLDE	gr.	3,339.10	3,339.10	3,339.10	3,339.10	
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	1,916.90	2,077.90	2,095.90	2,028.90	
VOLUMEN DEL MOLDE	cc	937.39	937.39	937.39	937.39	
DENSIDAD HUMEDA	gr/cc.	2.05	2.22	2.24	2.16	
DENSIDAD SECA	gr/cc	1.88	2.01	1.99	1.88	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD						
CAPSULA N°		R-1	R-2	R-3	R-4	
SUELO HUMEDO + CAPSULA	gr.	212.90	231.50	224.40	220.70	
SUELO SECO + CAPSULA	gr.	198.00	212.10	202.10	195.20	
PESO RECIPIENTE	gr.	28.50	26.60	25.30	27.90	
PESO DE AGUA	gr.	14.90	19.40	22.30	25.50	
PESO DE SUELO SECO	gr.	169.50	185.50	176.80	167.30	
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.80	10.50	12.60	15.20	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca

2.010 gr/cm³

Conten. humedad óptima

11.10 %

OBSERVACIONES:

El método seleccionado para el ensayo de Proctor Modificado fue el MÉTODO A.

N° DE GOLPES/CAPA: 25

N° CAPAS: 5

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUC: 20672039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
RIP 76282
TITULAR GERENTE

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

SOLICITA : TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 2 de Agosto de 2023 MUESTRA : MUESTRA PATRON 6% CAL

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)

(ASTM D-1883)

COMPACTACION C B R

Molde N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
Altura Molde mm.	124		120		120	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso molde + suelo húmedo gr	11788.000	11853.000	12275.000	12378.000	11995.000	12144.000
Peso del molde gr	6680.000	6680.000	7410.000	7410.000	7390.000	7390.000
Peso del suelo húmedo gr	5108.000	5173.000	4865.000	4968.000	4605.000	4754.000
Volúmen del molde cc	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000
Densidad Humeda gr./cc	2.451	2.482	2.334	2.384	2.210	2.281
Humedad %	11.100	12.500	10.700	13.100	11.500	15.100
Densidad seca gr./cc	2.206	2.206	2.108	2.108	1.982	1.982
Tarro N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Tarro suelo húmedo gr.	215.80	202.90	231.80	214.80	202.50	208.30
Tarro suelo seco gr.	196.90	183.50	212.10	193.10	184.50	184.50
Agua gr.	18.90	19.40	19.70	21.70	18.00	23.80
Peso del Tarro gr.	26.70	28.20	28.80	27.50	27.70	26.80
Peso del suelo seco gr.	170.20	155.30	183.30	165.60	156.80	157.70
Humedad %	11.10	12.50	10.70	13.10	11.50	15.10
Promedio de la humedad %	11.8		11.9		13.3	

ENSAYO EXPANSION

Molde N°			MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
26/07/2023	10:00 a.m.	0h.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27/07/2023	10:00 a.m.	24h.	0.019	0.483	0.389	0.021	0.533	0.445	0.031	0.787	0.656
28/07/2023	10:00 a.m.	48h.	0.023	0.584	0.471	0.028	0.711	0.593	0.033	0.838	0.699
29/07/2023	10:00 a.m.	72h.	0.028	0.711	0.574	0.041	1.041	0.868	0.047	1.194	0.995
30/07/2023	10:00 a.m.	96h.	0.037	0.940	0.758	0.045	1.143	0.953	0.051	1.295	1.080

ENSAYO CARGA - PENETRACION

Molde N°			MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
PENETRACION			Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
Tiempo (Min)	mm	plg	Dial	corregida	Lb/plg ²	Dial	corregida	Lb/plg ²	Dial	corregida	Lb/plg ²
0.50	0.635	0.025	11	122	41	8	90	30	6	73	24
1.00	1.270	0.050	21	233	78	13	150	50	11	122	41
1.50	1.905	0.075	31	330	110	22	237	79	16	181	60
2.00	2.540	0.100	40	424	141	29	317	106	23	250	83
3.00	3.810	0.150	55	582	194	44	468	156	33	355	118
4.00	5.080	0.200	69	726	242	59	628	209	46	490	163
5.00	6.350	0.250	83	871	290	72	762	254	55	584	195
6.00	7.620	0.300	94	991	330	85	898	299	64	675	225
8.00	10.160	0.400									
10.00	12.700	0.500									

Dirección: Jr. Simón Bolívar N° 799 - Huaraz/ Teléfono (043)231231 - Celular 954438197 RPM #954438197 / correo electrónico centro@laboratorio@gmail.com

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCION Y MINERIA E.I.R.L.
RUC: 10502039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
TITULAR GERENTE

PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y GENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

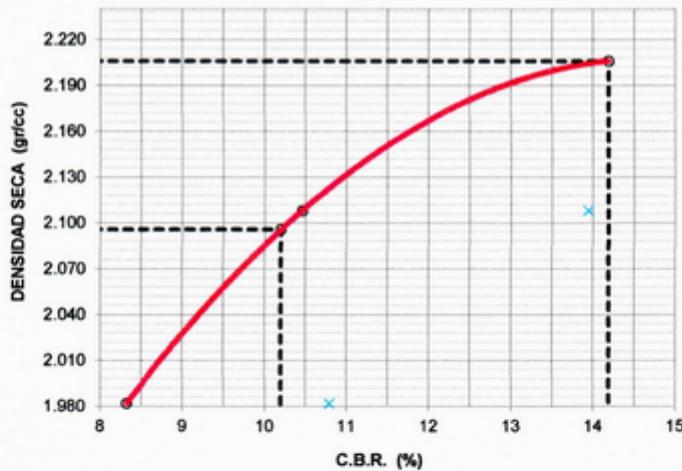
SOLICITA : TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

FECHA : 2 de Agosto de 2023

MUESTRA : MUESTRA PATRON 6% CAL

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01" AL 100% = **14.2%**
C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = **10.2%**

LEYENDA

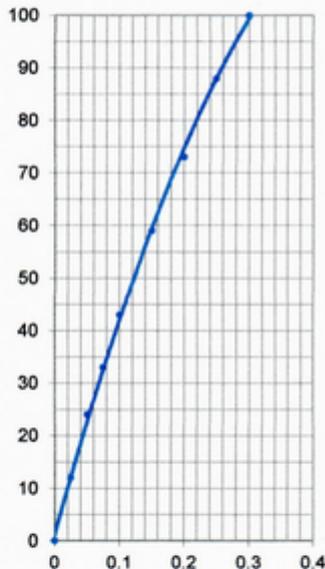
— CURVA A 0.1"

C.B.R 0. 14.2%

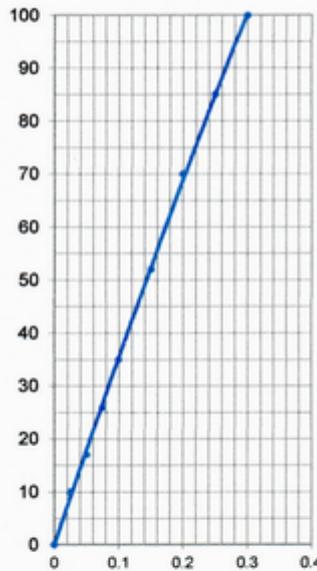
C.B.R 0.1"= 10.5%

C.B.R 0.1"= 8.3%

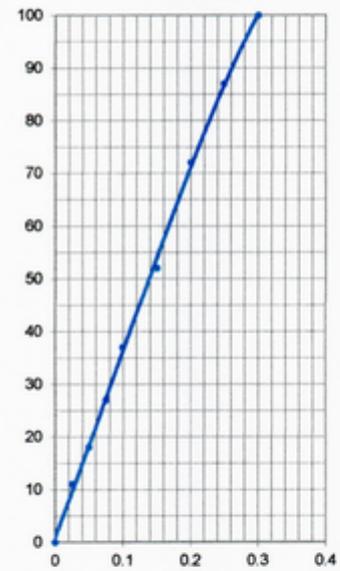
CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES



PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 2 de Agosto de 2023

SOLICITA : TESISISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

MUESTRA : MUESTRA PATRON 8% CAL

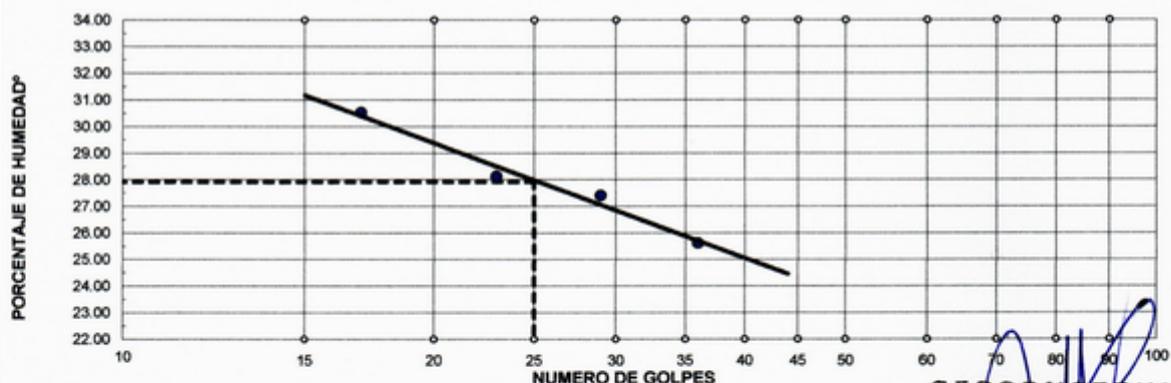
CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)

Muestra N°	M - 1	M - 2	M - 3
(1) Tara de recipiente	A-01	A-02	A-03
(2) Masa del recipiente (g)	30.20 g	29.40 g	28.70 g
(3) Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	245.20 g	212.80 g	230.70 g
(4) Masa del recipiente + suelo seco (g)	231.30 g	201.30 g	218.10 g
(5) Masa de agua (g) = (3) - (4)	13.90 g	11.50 g	12.60 g
(6) Masa de suelo seco (g) = (4) - (2)	201.10 g	171.90 g	189.40 g
(7) Contenido de humedad = (5)/(6)	6.91 %	6.69 %	6.65 %
Contenido de humedad (%)	6.75 %		

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
	36	29	23	17	T-1	T-2	T-3
01. No.de golpes	C-1	C-2	C-3	C-4			
02. N° de tarro					T-1	T-2	T-3
03. Masa de suelo húmedo + tarro g	48.48	52.91	48.78	53.37	17.75	17.78	17.36
04. Masa de suelo seco + tarro g	46.28	50.23	46.58	50.33	17.46	17.45	17.13
05. PESO DEL AGUA g	2.20	2.68	2.20	3.04	0.29	0.33	0.23
06. PESO DEL TARRO g	37.69	40.45	38.76	40.37	16.07	15.86	15.99
07. PESO DEL SUELO SECO g	8.59	9.78	7.82	9.96	1.39	1.59	1.14
08. HUMEDAD %	25.61	27.40	28.13	30.52	20.86	20.75	20.18
L.L.=	27.91 %	L.P.=	20.60	I.P.=	7.31	%	

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCION Y MINERIA E.I.R.L.
RUC: 20620089260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
TITULAR GERENTE

PROYECTO :

"ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN :

AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

RESPONSABLE :

ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA :

2 de Agosto de 2023

SOLICITA :

TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

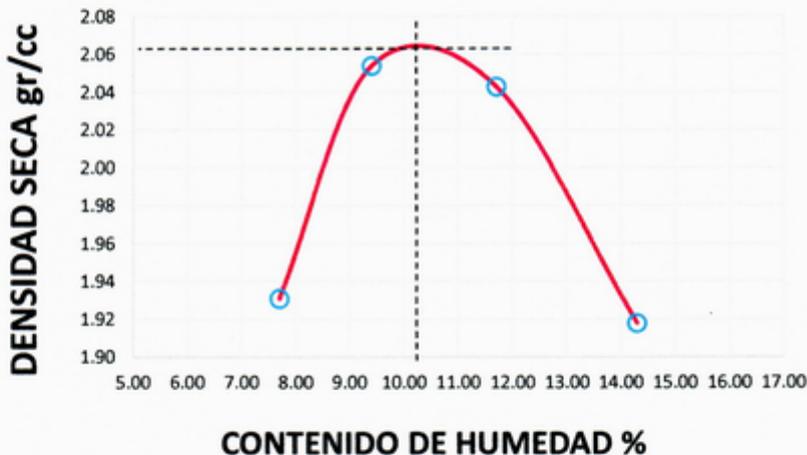
MUESTRA :

MUESTRA PATRON 8% CAL

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°		1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD						
PESO MOLDE+SUELO	gr.	5,289.00	5,445.00	5,478.00	5,394.00	
PESO MOLDE	gr.	3,339.10	3,339.10	3,339.10	3,339.10	
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	1,949.90	2,105.90	2,138.90	2,054.90	
VOLUMEN DEL MOLDE	cc	937.39	937.39	937.39	937.39	
DENSIDAD HUMEDA	gr/cc.	2.08	2.25	2.28	2.19	
DENSIDAD SECA	gr/cc	1.93	2.05	2.04	1.92	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD						
CAPSULA N°		R-1	R-2	R-3	R-4	
SUELO HUMEDO + CAPSULA	gr.	211.50	231.60	216.60	210.10	
SUELO SECO + CAPSULA	gr.	198.30	214.00	196.80	187.40	
PESO RECIPIENTE	gr.	26.60	27.70	27.40	28.20	
PESO DE AGUA	gr.	13.20	17.60	19.80	22.70	
PESO DE SUELO SECO	gr.	171.70	186.30	169.40	159.20	
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.70	9.40	11.70	14.30	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
2.060 gr/cm3

Conten. humedad óptima
10.30 %

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUC: 8760209260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 78282
TITULAR GERENTE

OBSERVACIONES:

El método seleccionado para el ensayo de Proctor Modificado fue el MÉTODO A.

N° DE GOLPES/CAPA: 25

N° CAPAS: 5

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

SOLICITA : TESISISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 2 de Agosto de 2023 MUESTRA : MUESTRA PATRON 8% CAL

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)

(ASTM D-1883)

COMPACTACION C B R

Molde N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
Altura Molde mm.	124		120		120	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso molde + suelo húmedo gr	11408.000	11458.000	11937.000	12031.000	11660.000	11787.000
Peso del molde gr	6680.000	6680.000	7410.000	7410.000	7390.000	7390.000
Peso del suelo húmedo gr	4728.000	4778.000	4527.000	4621.000	4270.000	4397.000
Volúmen del molde cc	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000
Densidad Humeda gr./cc	2.269	2.293	2.172	2.217	2.049	2.110
Humedad %	10.300	11.500	9.900	12.200	9.900	13.200
Densidad seca gr./cc	2.057	2.057	1.976	1.976	1.864	1.864
Tarro N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Tarro suelo húmedo gr.	220.30	216.90	223.30	216.40	215.00	212.20
Tarro suelo seco gr.	202.40	197.40	205.50	195.90	198.00	190.40
Agua gr.	17.90	19.50	17.80	20.50	17.00	21.80
Peso del Tarro gr.	28.20	27.70	26.60	28.50	26.70	25.50
Peso del suelo seco gr.	174.20	169.70	178.90	167.40	171.30	164.90
Humedad %	10.30	11.50	9.90	12.20	9.90	13.20
Promedio de la humedad %	10.9		11.1		11.6	

ENSAYO EXPANSION

Molde N°			MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
26/07/2023	04:00 p.m.	0h.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27/07/2023	04:00 p.m.	24h.	0.007	0.178	0.143	0.011	0.279	0.233	0.014	0.356	0.296
28/07/2023	04:00 p.m.	48h.	0.010	0.254	0.205	0.013	0.330	0.275	0.016	0.406	0.339
29/07/2023	04:00 p.m.	72h.	0.014	0.356	0.287	0.020	0.508	0.423	0.023	0.584	0.487
30/07/2023	04:00 p.m.	96h.	0.021	0.533	0.430	0.023	0.584	0.487	0.026	0.660	0.550

ENSAYO CARGA - PENETRACION

Molde N°			MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
PENETRACION			Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
Tiempo (Min)	mm	plg	Dial	corregida	Lb/plg ²	Dial	corregida	Lb/plg ²	Dial	corregida	Lb/plg ²
0.50	0.635	0.025	11	128	43	8	95	32	8	95	32
1.00	1.270	0.050	23	245	82	14	158	53	14	158	53
1.50	1.905	0.075	32	348	116	23	250	83	23	250	83
2.00	2.540	0.100	42	447	149	31	334	111	31	334	111
3.00	3.810	0.150	58	614	205	46	494	165	46	494	165
4.00	5.080	0.200	73	767	256	63	663	221	63	663	221
5.00	6.350	0.250	87	920	307	76	804	268	76	804	268
6.00	7.620	0.300	99	1047	349	90	948	316	90	948	316
8.00	10.160	0.400									
10.00	12.700	0.500									

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

SOLICITA : TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

FECHA : 2 de Agosto de 2023

MUESTRA : MUESTRA PATRON 8% CAL

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01" AL 100% = **15.0%**
C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = **12.1%**

LEYENDA

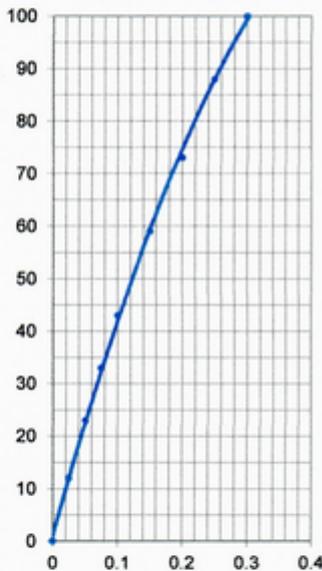
— CURVA A 0.1"

C.B.R 0. 15.0%

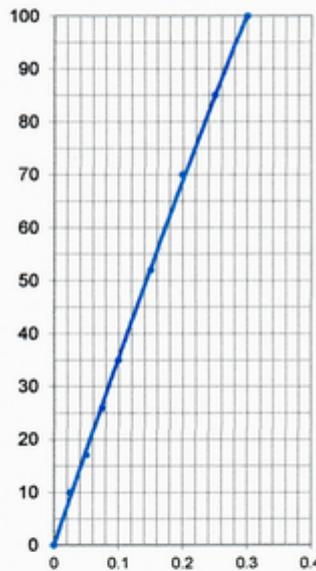
C.B.R 0.1"= 11.1%

C.B.R 0.1"= 11.1%

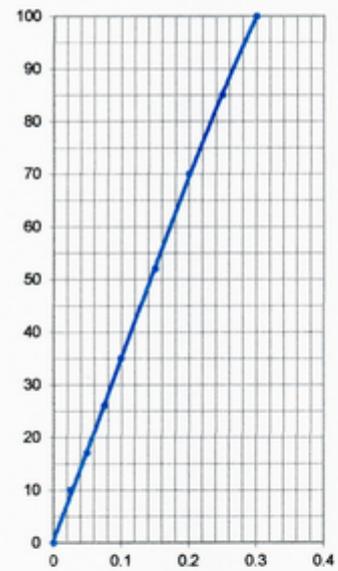
CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES



PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 2 de Agosto de 2023

SOLICITA : TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

MUESTRA : MUESTRA PATRON 4% CAL + 4% CENIZA

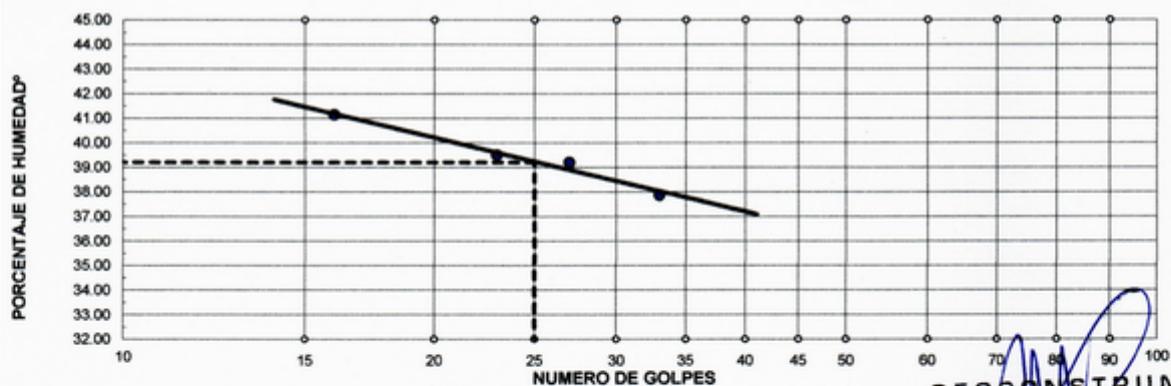
CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)

Muestra N°	M - 1	M - 2	M - 3
(1) Tara de recipiente	A-01	A-02	A-03
(2) Masa del recipiente (g)	25.60 g	25.30 g	29.90 g
(3) Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	204.90 g	292.80 g	244.60 g
(4) Masa del recipiente + suelo seco (g)	191.90 g	275.80 g	230.80 g
(5) Masa de agua (g) = (3) - (4)	13.00 g	17.00 g	13.80 g
(6) Masa de suelo seco (g) = (4) - (2)	166.30 g	250.50 g	200.90 g
(7) Contenido de humedad = (5)/(6)	7.82 %	6.79 %	6.87 %
Contenido de humedad (%)	7.16 %		

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
	33	27	23	16	A-5	A-6	A-7
01. No.de golpes	C-1	C-2	C-3	C-4	A-5	A-6	A-7
02. N° de tarro	50.08	53.59	50.83	52.67	15.90	16.75	15.52
03. Masa de suelo húmedo + tarro g	46.38	49.74	47.89	48.30	15.76	16.59	15.37
04. Masa de suelo seco + tarro g	3.70	3.85	2.94	4.37	0.14	0.16	0.15
05. PESO DEL AGUA g	36.61	39.92	40.45	37.68	15.32	16.08	14.90
06. PESO DEL TARRO g	9.77	9.82	7.44	10.62	0.44	0.51	0.47
07. PESO DEL SUELO SECO g	37.87	39.21	39.52	41.15	31.82	31.37	31.91
08. HUMEDAD %	LL= 39.21 %	LP= 31.70			IP= 7.51 %		

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E. I. R. L.
RUC: 20402039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76283
TITULAR GERENTE



GEOCONSTRUMIN

Geotecnia - Construcción & Minería

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS – LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ROCAS Y CONCRETO

PROYECTO :

"ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN :

AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

RESPONSABLE :

ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA :

2 de Agosto de 2023

SOLICITA :

TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

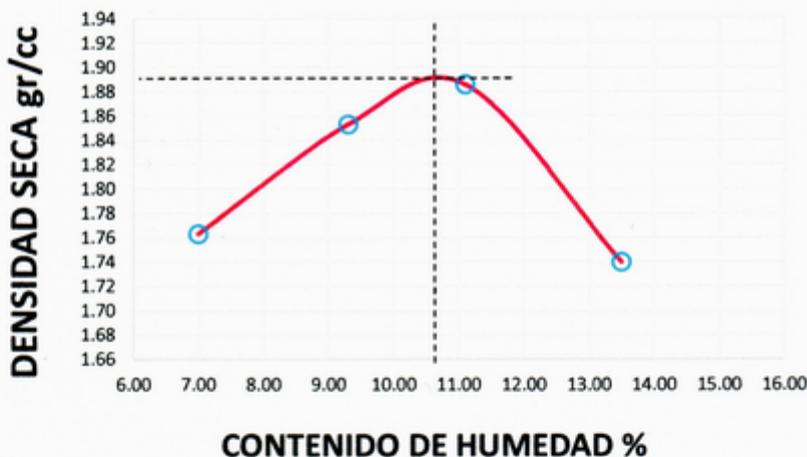
MUESTRA :

MUESTRA PATRON 4% CAL + 4% CENIZA

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°		1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD						
PESO MOLDE+SUELO	gr.	5,107.00	5,237.00	5,303.00	5,190.00	
PESO MOLDE	gr.	3,339.10	3,339.10	3,339.10	3,339.10	
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	1,767.90	1,897.90	1,963.90	1,850.90	
VOLUMEN DEL MOLDE	cc	937.39	937.39	937.39	937.39	
DENSIDAD HUMEDA	gr/cc.	1.89	2.03	2.10	1.98	
DENSIDAD SECA	gr/cc	1.76	1.85	1.89	1.74	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD						
CAPSULA N°		R-1	R-2	R-3	R-4	
SUELO HUMEDO + CAPSULA	gr.	210.50	201.10	219.30	215.50	
SUELO SECO + CAPSULA	gr.	198.40	186.40	200.10	193.00	
PESO RECIPIENTE	gr.	25.50	28.90	26.40	26.30	
PESO DE AGUA	gr.	12.10	14.70	19.20	22.50	
PESO DE SUELO SECO	gr.	172.90	157.50	173.70	166.70	
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.00	9.30	11.10	13.50	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
1.890 gr/cm³

Conten. humedad óptima
10.60 %

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUC: 2082039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
TITULAR GERENTE

OBSERVACIONES:

El método seleccionado para el ensayo de Proctor Modificado fue el MÉTODO ANG.
N° DE GOLPES/CAPA: 25
N° CAPAS: 5

Dirección: Jr. Simón Bolívar N° 799 – Huaraz/ Teléfono (043)231231 – Celular 954438197 RPM #954438197 /correo

canteralaboratorio@gmail.com

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

SOLICITA : TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

FECHA : 2 de Agosto de 2023 MUESTRA : MUESTRA PATRON 4% CAL + 4% CENIZA

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

COMPACTACION C B R

Molde N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
Altura Molde mm.	124		120		120	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso molde + suelo húmedo gr	11035.000	11097.000	11560.000	11664.000	11269.000	11426.000
Peso del molde gr	6680.000	6680.000	7410.000	7410.000	7390.000	7390.000
Peso del suelo húmedo gr	4355.000	4417.000	4150.000	4254.000	3879.000	4036.000
Volúmen del molde cc	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000	2084.000
Densidad Humeda gr./cc	2.090	2.119	1.991	2.041	1.861	1.937
Humedad %	10.600	12.100	10.400	13.200	10.500	15.000
Densidad seca gr./cc	1.890	1.890	1.803	1.803	1.684	1.684
Tarro N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Tarro suelo húmedo gr.	188.30	178.60	202.80	186.60	184.90	190.60
Tarro suelo seco gr.	173.00	162.20	186.00	167.90	170.00	169.10
Agua gr.	15.30	16.40	16.60	18.70	14.90	21.50
Peso del Tarro gr.	28.20	26.60	25.80	26.70	28.10	25.50
Peso del suelo seco gr.	144.80	135.60	160.20	141.20	141.90	143.60
Humedad %	10.60	12.10	10.40	13.20	10.50	15.00
Promedio de la humedad %	11.4		11.8		12.8	

ENSAYO EXPANSION

Molde N°			MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
22/09/2023	02:00 p.m.	0h.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23/09/2023	02:00 p.m.	24h.	0.025	0.635	0.512	0.031	0.787	0.656	0.041	1.041	0.868
24/09/2023	02:00 p.m.	48h.	0.032	0.813	0.655	0.038	0.965	0.804	0.053	1.346	1.122
25/09/2023	02:00 p.m.	72h.	0.041	1.041	0.840	0.052	1.321	1.101	0.066	1.676	1.397
26/09/2023	02:00 p.m.	96h.	0.055	1.397	1.127	0.063	1.600	1.334	0.070	1.778	1.482

ENSAYO CARGA - PENETRACION

Molde N°			MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
PENETRACION			Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
Tiempo (Min)	mm	plg	Dial	corregida	Lb/plg ²	Dial	corregida	Lb/plg ²	Dial	corregida	Lb/plg ²
0.50	0.635	0.025	19	206	69	15	164	55	11	127	42
1.00	1.270	0.050	36	384	128	27	290	97	22	234	78
1.50	1.905	0.075	53	561	187	41	435	145	33	356	119
2.00	2.540	0.100	70	744	248	56	599	200	43	459	153
3.00	3.810	0.150	107	1123	374	85	898	299	71	748	249
4.00	5.080	0.200	146	1530	510	120	1258	419	92	973	324
5.00	6.350	0.250	169	1778	593	146	1535	512	107	1123	374
6.00	7.620	0.300	189	1985	662	171	1797	599	119	1254	418
8.00	10.160	0.400									
10.00	12.700	0.500									

Dirección: Jr. Simón Bolívar N° 799 - Huaraz / Teléfono (043)231231 - Celular 954438197 RPM #954438197 / correo electrónico carlos.laboratorio@gmail.com

GEOCONSTRUMIN
GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
R.U.C. 01602039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP 76282
TITULAR GERENTE

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. LUZURIAGA UTILIZANDO CAL Y CENIZA DE MADERA, CARHUAZ, ANCASH, 2023"

UBICACIÓN : AV. LUZURIAGA, CARHUAZ, CARHUAZ, ANCASH

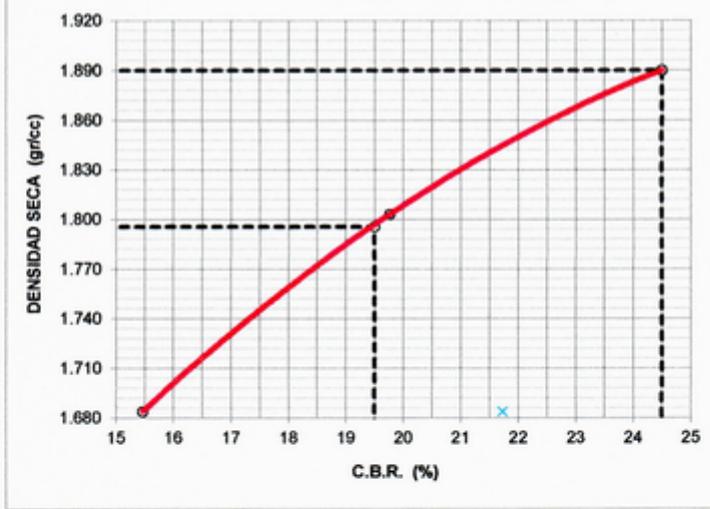
SOLICITA : TESISTA: JHONATAN GABRIEL POCOY RAMIREZ

FECHA : 2 de Agosto de 2023

MUESTRA : MUESTRA PATRON 4% CAL + 4% CENIZA

RESPONSABLE : ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01" AL 100% = **24.5%**
C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = **19.5%**

LEYENDA

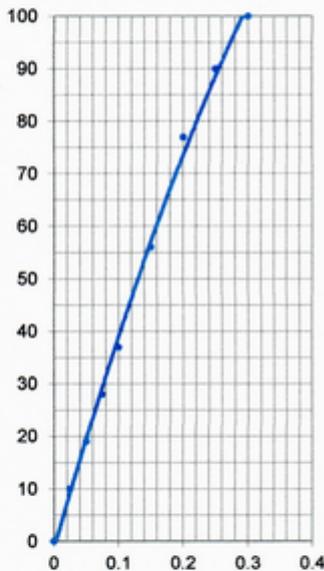
— CURVA A 0.1"

C.B.R 0. 24.5%

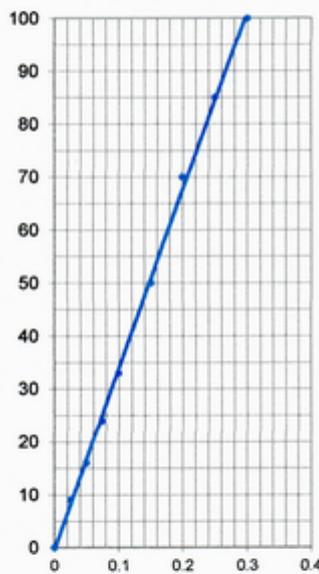
C.B.R 0.1"= 19.8%

C.B.R 0.1"= 15.5%

CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES

