

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



Estabilización de suelos arcillosos utilizando cenizas de carbón con vidrio molido para uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos

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

AUTOR

Frank Eduardo Rios Perez

ASESOR

Juan Merino Roncero

<https://orcid.org/0000-0002-5753-7664>

Chiclayo, 2025

**Estabilización de suelos arcillosos utilizando cenizas de carbón con
vidrio molido para uso como subrasante mejorada en pavimentos
urbanos**

PRESENTADA POR
Frank Eduardo Rios Perez

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

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Luis Quiroz Quiñonez
PRESIDENTE

Segundo Guillermo Carranza Cieza
SECRETARIO

Juan Merino Roncero
VOCAL

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios, cuya luz me guía en cada lugar y en cada momento de mi vida.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mis padres, cuyo amor, cariño y comprensión hicieron este camino mucho más llevadero. Sin ellos, todo habría sido mucho más difícil. A mis hermanos, por sus valiosos consejos y por las experiencias compartidas que me han ayudado a reflexionar y a ser una mejor persona. Y a mi tía Chabelita, quien ocupa un lugar fundamental en mi vida y a quien le debo mucho más de lo que puedo expresar.

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %

INDICE DE SIMILITUD

20 %

FUENTES DE INTERNET

4 %

PUBLICACIONES

3 %

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|--|----------------|
| 1 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 10 % |
| 2 | tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet | 7 % |
| 3 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | <1 % |
| 4 | Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante | <1 % |
| 5 | Submitted to uncedu Trabajo del estudiante | <1 % |
| 6 | Submitted to Universidad Senor de Sipan Trabajo del estudiante | <1 % |
| 7 | repository.javeriana.edu.co Fuente de Internet | <1 % |
| 8 | www.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |
| 9 | cdn.www.gob.pe Fuente de Internet | <1 % |

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 13 |
| ABSTRACT | 14 |
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| REVISIÓN A LA LITERATURA | 18 |
| ANTECEDENTES | 18 |
| BASES TEÓRICO-CIENTÍFICAS..... | 21 |
| BASES TEÓRICAS | 21 |
| SUELOS | 21 |
| DEFINICIÓN | 21 |
| PROPIEDADES DE LOS SUELOS | 21 |
| CLASIFICACIÓN DE SUELOS | 24 |
| SUELOS ARCILLOSOS | 25 |
| DEFINICIÓN | 25 |
| CARACTERÍSTICAS..... | 25 |
| ESTABILIZACIÓN DE SUELOS | 26 |
| DEFINICIÓN | 26 |
| CRITERIOS NORMATIVOS PARA ESTABILIZAR UN SUELO: | 26 |
| TIPOS DE ESTABILIZACIÓN:..... | 28 |
| VIDRIO..... | 30 |
| DEFINICIÓN | 30 |
| COMPOSICIÓN DEL VIDRIO..... | 30 |
| TIPOS DE VIDRIO..... | 31 |
| POLVO DE VIDRIO | 31 |
| CENIZA DE CARBÓN | 32 |
| DEFINICIÓN | 32 |
| CLASIFICACIÓN DE CENIZA VOLANTE | 32 |
| COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CENIZA DE CARBÓN | 33 |
| PAVIMENTO | 33 |
| DEFINICIÓN | 33 |
| COMPONENTES DEL PAVIMENTO | 34 |
| TIPOS DE PAVIMENTOS | 35 |
| SUBRASANTE..... | 37 |
| NORMAS TÉCNICAS PERUANAS (NTP) | 38 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 39 |
| TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION | 39 |
| TIPO DE INVESTIGACIÓN | 39 |
| NIVEL DE INVESTIGACIÓN..... | 39 |
| VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN | 39 |
| POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO Y UNIDAD DE ANÁLISIS | 42 |

| | |
|---|------------|
| POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO | 42 |
| POBLACIÓN | 42 |
| MUESTRA | 42 |
| MUESTREO | 42 |
| CRITERIOS DE SELECCIÓN | 43 |
| TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 46 |
| TÉCNICAS | 46 |
| INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 46 |
| PROCEDIMIENTOS | 47 |
| OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO | 47 |
| EXTRACCIÓN DE MUESTRAS | 47 |
| UBICACIÓN DE CALICATAS | 47 |
| SELECCIÓN DE LADRILLERA ARTESANAL PARA OBTENER LA CENIZA DE CARBÓN | 50 |
| SELECCIÓN DE LA CENIZA DE CARBÓN | 50 |
| SELECCIÓN DE VIDRIO RECICLADO | 51 |
| PROCEDIMIENTO DE TRITURACIÓN DE VIDRIO | 52 |
| ENSAYOS EN LABORATORIO | 55 |
| ENSAYO QUÍMICO DE LAS CENIZAS DE CARBÓN | 55 |
| ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS | 55 |
| DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E108) | 55 |
| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E107) | 58 |
| DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO (LL) (MTC E110) Y LIMITE PLÁSTICO (LP) E | |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.) (MTC E111) | 63 |
| PROCTOR MODIFICADO | 69 |
| CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) | 71 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 75 |
| RESULTADOS | 75 |
| DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 113 |
| CONCLUSIONES..... | 117 |
| RECOMENDACIONES..... | 118 |
| REFERENCIAS | 119 |
| ANEXOS | 121 |

LISTA DE TABLAS

| | | |
|-------------|---|----|
| TABLA N°1. | CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE ACUERDO AL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELO [17]. | 22 |
| TABLA N°2. | CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE ACUERDO AL IP [17] | 23 |
| TABLA N°3. | CORRELACIÓN ENTRE CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS-AASHTO [19]..... | 24 |
| TABLA N°4. | CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE ACUERDO AL TAMAÑO DE PARTÍCULA [14]..... | 25 |
| TABLA N°5. | RANGO DE CEMENTO REQUERIDO EN ESTABILIZACIÓN SUELO-CEMENTO [21]..... | 29 |
| TABLA N°6. | CLASIFICACIÓN DE LAS CENIZAS VOLANTES..... | 33 |
| TABLA N°7. | ESTRUCTURA TRADICIONAL DE PAVIMENTO RÍGIDO [21] | 37 |
| TABLA N°8. | VARIABLE INDEPENDIENTE | 39 |
| TABLA N°9. | VARIABLES DEPENDIENTES..... | 40 |
| TABLA N°10. | VARIABLE INTERVINIENTE..... | 40 |
| TABLA N°11. | MUESTREO PARA DETERMINAR LAS PROP. GEOTÉCNICAS DE UN SUELO ARCILLOSO | 43 |
| TABLA N°12. | INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS (MTC Y NTP) | 46 |
| TABLA N°13. | PUNTOS MÍNIMOS DE INVESTIGACIÓN..... | 47 |
| TABLA N°14. | COORDENADAS UTM DE LOS PUNTOS DE EXTRACCION | 49 |
| TABLA N°15. | NUMERO DE LADRILLERAS ARTESANALES EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE | 50 |
| TABLA N°16. | COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS CENIZAS DE CARBÓN | 75 |
| TABLA N°17. | RESULTADOS EN % DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELO NATURAL..... | 76 |
| TABLA N°18. | RESULTADOS DE ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA | 76 |
| TABLA N°19. | DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS 3 MUESTRAS (NATURAL) | 78 |
| TABLA N°20. | RESULTADOS DE LIMITES DE ATTERBERG DE LA CALICATA C-01..... | 81 |
| TABLA N°21. | RESULTADOS DE LIMITES DE ATTERBERG DE LA CALICATA C-02..... | 81 |
| TABLA N°22. | RESULTADOS DE LIMITES DE ATTERBERG DE LA CALICATA C-03..... | 81 |
| TABLA N°23. | CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO..... | 81 |
| TABLA N°24. | RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO C-01..... | 82 |
| TABLA N°25. | RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO C-02..... | 83 |
| TABLA N°26. | RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO C-03..... | 84 |
| TABLA N°27. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-01 AL 100% Y 95% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG..... | 86 |
| TABLA N°28. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-02 AL 100% Y 95% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG..... | 87 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| TABLA N°29. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-03 AL 100% Y 95% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG..... | 89 |
| TABLA N°30. | VARIACIÓN DEL CBR C/CEM DE LA C-01 AL 100% Y 95% CON PEN. DE 1 Y 2 PULG..... | 91 |
| TABLA N°31. | VARIACIÓN DEL CBR C/CAL DE LA C-03 AL 100% Y 95% CON PEN. DE 1 Y 2 PULG. | 92 |
| TABLA N°32. | PRECIO UNITARIO PARA LA TRITURACIÓN DE VIDRIO..... | 96 |
| TABLA N°33. | PRECIO UNITARIO PARA COMPRA DE CENIZA DE CARBÓN | 96 |
| TABLA N°34. | PRECIO UNITARIO PARA LA TRITURACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN | 97 |
| TABLA N°35. | PORCENTAJE DE AGENTE ESTABILIZANTE DE ACUERDO A LAS RECOMENDACIONES DEL MANUAL DE CARRETERAS MTC 2014 | 97 |
| TABLA N°36. | COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE EL CEMENTO PORTLAND – CAL VIVA – VIDRIO -CENIZA DE CARBÓN | 112 |
| TABLA N°37. | CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA MAGNITUD | 155 |
| TABLA N°38. | CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA IMPORTANCIA | 155 |
| TABLA N°39. | ACTIVIDADES QUE AMENAZAN CON CAUSAR IMPACTO AMBIENTAL | 156 |
| TABLA N°40. | COMPONENTES QUE SERÁN AFECTADOS..... | 157 |
| TABLA N°41. | DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS..... | 168 |
| TABLA N°42. | TIPOS DE RESIDUOS LÍQUIDOS | 168 |
| TABLA N°43. | ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA RUIDO. FUENTE: DS. N° 085- 2003-PCM 08. | 169 |
| TABLA N°44. | REGLAMENTO DE ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE. FUENTE: PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE Y GESTIÓN DE LOS DATOS D.S. N° 069-2003- PCM. | 170 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | | |
|-------------------|---|----|
| ILUSTRACION N°1. | FORMAS DE LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA [18] | 22 |
| ILUSTRACION N°2. | COMPORTAMIENTO DEL SUELO SEGÚN SU HUMEDAD [18] | 23 |
| ILUSTRACION N°3. | PROCESO DE SELECCIÓN DEL TIPO DE ESTABILIZACIÓN [29] | 27 |
| ILUSTRACION N°4. | ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO EN CAMPO..... | 29 |
| ILUSTRACION N°5. | ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE SODIO EN CAMPO | 30 |
| ILUSTRACION N°6. | COMPOSICIÓN DEL VIDRIO EN PORCENTAJE..... | 31 |
| ILUSTRACION N°7. | VIDRIO TRITURADO | 32 |
| ILUSTRACION N°8. | ESTRUCTURA TÍPICA DE PAVIMENTOS ASFALTICOS | 35 |
| ILUSTRACION N°9. | ESTRUCTURA TRADICIONAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES [23]..... | 35 |
| ILUSTRACION N°10. | ESTRUCTURA TRADICIONAL DE PAVIMENTO ADOQUINADO [23] | 36 |
| ILUSTRACION N°11. | ESTRUCTURA TRADICIONAL DE PAVIMENTO RÍGIDO [23]..... | 36 |
| ILUSTRACION N°12. | DIAGRAMA DE FLUJO..... | 41 |
| ILUSTRACION N°13. | UBICACIÓN DE CALICATAS EN LA URB. NUEVO SAN LORENZO (4TA ETAPA) | 48 |
| ILUSTRACION N°14. | EXTRACCIÓN DE MUESTRA DE SUELO DE CALICATA N°1 | 48 |
| ILUSTRACION N°15. | EXTRACCIÓN DE MUESTRA DE SUELO DE CALICATA N°2 | 49 |
| ILUSTRACION N°16. | UBICACIÓN DE LADRILLERA ARTESANAL – ILLIMO | 50 |
| ILUSTRACION N°17. | MUESTRA DE CENIZA OBTENIDA DE LA LADRILLERA ARTESANAL ILLIMO..... | 51 |
| ILUSTRACION N°18. | NORGLASS EIRL, JUAN CUGLIEVAN 1249, CHICLAYO | 52 |
| ILUSTRACION N°19. | RESIDUOS DE VIDRIO RECICLADO | 53 |
| ILUSTRACION N°20. | RESIDUOS DE VIDRIO REDUCIDOS MANUALMENTE EN TAMAÑOS - 2 A 3 PULGADAS | 53 |
| ILUSTRACION N°21. | TRITURADO DE VIDRIO USANDO MOLINO ARTESANAL ELÉCTRICO..... | 54 |
| ILUSTRACION N°22. | VIDRIO TRITURADO POR PRIMERA VEZ CON MOLINO ARTESANAL ELÉCTRICO | 54 |
| ILUSTRACION N°23. | VIDRIO TRITURADO POR SEGUNDA VEZ Y TAMIZADO POR LA MALLA #50 | 54 |
| ILUSTRACION N°24. | MUESTRAS EN BOLSAS DE CIERRE HERMÉTICO | 55 |
| ILUSTRACION N°25. | PESO DE TARA..... | 56 |
| ILUSTRACION N°26. | PESO DE TARA + SUELO HÚMEDO | 56 |
| ILUSTRACION N°27. | COLOCACIÓN DE MUESTRAS A HORNO A 110±5°C..... | 57 |
| ILUSTRACION N°28. | PESO DE TARA + SUELO SECO..... | 57 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| ILUSTRACION N°29. | ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA | 58 |
| ILUSTRACION N°30. | PESO DE TARA; P/ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO | 58 |
| ILUSTRACION N°31. | PESO DE SUELO SECO PREVIO LAV.; P/ENSAYO GRAN. POR TAMIZADO | 59 |
| ILUSTRACION N°32. | REPOSO DE MUESTRA CON AGUA A 24H; P/ENSAYO GRAN. POR TAMIZADO..... | 59 |
| ILUSTRACION N°33. | LAVADO DE MUESTRA POR EL TAMIZ N°200; P/ENSAYO GRAN. POR TAMIZADO | 59 |
| ILUSTRACION N°34. | COLOCACIÓN DE MUESTRA EN HORNO A 24H; P/ENSAYO GRAN. POR TAMIZADO ... | 60 |
| ILUSTRACION N°35. | PESO DE SUELO SECO DESPUÉS DE LAVADO; P/ENSAYO GRAN. POR TAMIZADO | 60 |
| ILUSTRACION N°36. | ORDEN DE TAMICES DE MAYOR A MENOR; P/ENSAYO GRAN. POR TAMIZADO..... | 61 |
| ILUSTRACION N°37. | TAMIZADO DE MUESTRA DE SUELO SECO; P/ENSAYO GRAN. POR TAMIZADO | 61 |
| ILUSTRACION N°38. | MUESTRAS RETENIDAS EN CADA TAMIZ; P/ENSAYO GRAN. POR TAMIZADO | 62 |
| ILUSTRACION N°39. | PESO DE MUESTRAS RETENIDA EN LOS TAM. N°4,10,20,40,50,100,200 | 62 |
| ILUSTRACION N°40. | TRITURACIÓN DE SUELO, P/ ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO | 63 |
| ILUSTRACION N°41. | PROCESO DE TAMIZADO POR EL TAMIZ N°40, P/ ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO | 64 |
| ILUSTRACION N°42. | COMBINACIÓN DE AGUA DEST. CON SUELO, P/ ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO | 64 |
| ILUSTRACION N°43. | REPOSO DE MEZCLA POR 24H, P/ ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO..... | 65 |
| ILUSTRACION N°44. | VERIFICACION DE ALTURA DE 1CM, P/ ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO | 65 |
| ILUSTRACION N°45. | EMPAREJAMIENTO DE LA PASTA, P/ ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO | 66 |
| ILUSTRACION N°46. | SEPARACIÓN DE MASA CON RANURADORA, P/ ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO | 66 |
| ILUSTRACION N°47. | CONTEO DE GOLPES, P/ ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO | 66 |
| ILUSTRACION N°48. | COLOCACIÓN DE MUESTRA EN RECIPIENTE DONDE CERRÓ LA RANURA | 67 |
| ILUSTRACION N°49. | MUESTRA PARA MEDIR EL CONTENIDO DE HUMEDAD, P/ ENSAYO DE LIM. LIQ..... | 67 |
| ILUSTRACION N°50. | MUESTRA REPR. DEL ENSAYO DEL LÍMITE LÍQUIDO, P/ ENSAYO DE LIM. PLÁSTICO ... | 68 |
| ILUSTRACION N°51. | MOLDEADO PARA OBTENER CILINDROS DE 3MM, P/ ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO .. | 68 |
| ILUSTRACION N°52. | MUESTRAS PUESTAS AL HORNO POR 24H, P/ ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO..... | 68 |
| ILUSTRACION N°53. | MUESTRA QUE PASA POR EL TAMIZ N°4 Y PESO DE 3000G | 69 |
| ILUSTRACION N°54. | PESO, MEDICIÓN CON VERNIER DE DIÁMETRO Y ALTURA DE MOLDE | 70 |
| ILUSTRACION N°55. | COMPACTACIÓN DE CAPAS CON MARTILLO DE 4.5KG | 70 |
| ILUSTRACION N°56. | ENRASADO Y DETERMINACIÓN DEL PESO DE SUELO COMPACTADO | 71 |
| ILUSTRACION N°57. | DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL..... | 71 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| ILUSTRACION N°58. | PROPORCIÓN DE AGUA AÑADIDA OBTENIDA DEL ENSAYO DE PROCTOR MOD. | 72 |
| ILUSTRACION N°59. | PREPARACIÓN PARA EL PROCESO DE COMPACTACIÓN | 72 |
| ILUSTRACION N°60. | ENRASADO, DESARTICULACIÓN DE MOLDE PARA COLOCACIÓN DE PAPEL FILTRO Y DETERMINACIÓN DE PESO | 73 |
| ILUSTRACION N°61. | COLOCACIÓN DE ANILLOS PARA ALCANZAR LA SOBRECARGA DE 2.27KG | 73 |
| ILUSTRACION N°62. | INMERSIÓN DE MOLDES CADA 24H P/ 4DIAS Y MEDICIÓN DE HINCHAMIENTO..... | 74 |
| ILUSTRACION N°63. | MEDICIÓN DE PENETRACIÓN A UNA VELOCIDAD DE 1.27MM P/MIN | 74 |
| ILUSTRACION N°64. | UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO. | 149 |
| ILUSTRACION N°65. | MAPA DE ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA E INDIRECTA. | 152 |

LISTA DE GRAFICOS

| | | |
|---------------|---|-----|
| GRAFICO N°1. | GRANULOMETRÍA DE SUELO NATURAL C-01 | 77 |
| GRAFICO N°2. | GRANULOMETRÍA DE SUELO NATURAL C-02 | 77 |
| GRAFICO N°3. | GRANULOMETRÍA DE SUELO NATURAL C-03 | 78 |
| GRAFICO N°4. | VARIACIÓN DEL LL DE LAS 3 CALICATAS Y SUS COMBINACIONES | 79 |
| GRAFICO N°5. | VARIACIÓN DE LP DE LAS 3 CALICATAS Y SUS COMBINACIONES | 80 |
| GRAFICO N°6. | VARIACIÓN DEL IP DE LAS 3 CALICATAS Y SUS COMBINACIONES | 80 |
| GRAFICO N°7. | CURVA DE PM DE LA C-01 | 82 |
| GRAFICO N°8. | CURVA DE PM DE LA C-02 | 83 |
| GRAFICO N°9. | CURVA DE PM DE LA C-03 | 84 |
| GRAFICO N°10. | VARIACIÓN DE LA MDS DEL SUELO NATURAL RESPECTO A LAS ADICIONES DE CONTENIDO DE VIDRIO CON CENIZA DE CARBÓN | 85 |
| GRAFICO N°11. | VARIACIÓN DEL OCH DEL SUELO NATURAL RESPECTO A LAS ADICIONES DE CONTENIDO DE VIDRIO CON CENIZA DE CARBÓN | 85 |
| GRAFICO N°12. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-01 AL 100% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG. | 86 |
| GRAFICO N°13. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-01 AL 95% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG. | 87 |
| GRAFICO N°14. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-02 AL 100% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG. | 88 |
| GRAFICO N°15. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-02 AL 95% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG. | 88 |
| GRAFICO N°16. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-03 AL 100% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG. | 89 |
| GRAFICO N°17. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-03 AL 95% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG. | 90 |
| GRAFICO N°18. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-03 AL 95% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG. | 91 |
| GRAFICO N°19. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-03 AL 95% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG. | 92 |
| GRAFICO N°20. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-03 AL 95% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG. | 92 |
| GRAFICO N°21. | VARIACIÓN DEL CBR DE LA C-03 AL 95% CON PENETRACIONES DE 1 Y 2 PULG. | 93 |
| GRAFICO N°22. | COMPARACIÓN DE COSTES DE ADITIVOS PROPUESTOS VS CAL VS CEMENTO | 112 |

Resumen

Esta investigación analiza el efecto del vidrio y la ceniza de carbón como estabilizadores sobre las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso. El objetivo principal fue evaluar la estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de carbón y vidrio reciclado molido como agente estabilizador para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos. Se evaluaron proporciones de 2.5%, 3.5% y 4.5% de vidrio, junto con un 10% de ceniza de carbón en peso seco del suelo. El suelo natural fue clasificado según SUCS y AASHTO, y las mezclas de suelo con vidrio y ceniza de carbón se ensayaron bajo la normativa del MTC. Los ensayos más importantes que se llevaron a cabo fueron: Límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, observándose mejoras significativas en las propiedades físico-mecánicas del suelo. Los mayores incrementos en la capacidad de soporte (CBR) y densidad seca se lograron con una mezcla de 4.5% de vidrio y 10% de ceniza de carbón, mientras que las mejores propiedades de consistencia se obtuvieron con 3.5% de vidrio y 10% de ceniza. El contenido óptimo fue de 4.5% de vidrio más 10% de ceniza, clasificando al suelo como una "Subrasante buena". Además, se concluyó que estabilizar con estos aditivos es más económico que con cemento Portland pero más costoso que utilizar Cal. En cuanto al impacto ambiental, el efecto más significativo fue el aumento de partículas en suspensión debido a la trituración de vidrio y ceniza de carbón.

Palabras clave: Vidrio molido, ceniza de carbón, estabilización de suelos, suelo arcilloso, máxima densidad seca, CBR.

Abstract

This research analyzes the effect of glass and coal ash as stabilizers on the geotechnical properties of clay soil. The main objective was to evaluate the stabilization of clay soils by adding coal ash and recycled crushed glass as stabilizing agents for improved subgrade use in urban pavements. Proportions of 2.5%, 3.5%, and 4.5% glass were evaluated, along with 10% coal ash by dry weight of the soil. The natural soil was classified according to SUCS and AASHTO, and the soil, glass, and coal ash mixtures were tested according to the Ministry of Transport and Communications regulations. The most important laboratory tests performed were: Atterberg Limits, Modified Proctor, and CBR, which showed significant improvements in the physical and mechanical properties of the soil. The highest increases in bearing capacity (CBR) and dry density were achieved with a 4.5% glass and 10% coal ash mixture, while the best consistency properties were obtained with 3.5% glass and 10% coal ash. The optimal content was 4.5% glass and 10% coal ash, classifying the soil as a "Good Subgrade." Additionally, it was concluded that stabilizing with these additives is more economical than using Portland cement. In terms of environmental impact, the most significant effect was the increase in suspended particles due to the crushing of glass and coal ash.

Keywords: Crushed glass, coal ash, soil stabilization, clay soil, maximum dry density, CBR.

Introducción

El suelo que soporta las cargas provenientes de la superficie de rodadura de una vía debe estar en condiciones adecuadas para resistirlas eficazmente. Cuando no cumple con estos requisitos, existen dos posibles soluciones. La primera opción es reemplazar el suelo por material de préstamo, generalmente extraído de canteras cercanas. Si bien este método es efectivo, implica un costo elevado debido a la adquisición y transporte del material. La segunda alternativa, más económica y eficiente, es la estabilización del suelo, que permite mejorar las propiedades mecánicas sin necesidad de retirarlo, optimizando así su capacidad para soportar las cargas requeridas [1]

Según INDECI, Chiclayo destaca la presencia de limos y arcillas, con un nivel freático cercano a la superficie de 1.5m aprox., estos suelos no son adecuados para la cimentación debido a sus propiedades geotécnicas desfavorables. Específicamente, los suelos arcillosos exhiben una capacidad portante baja, compresibilidad y permeabilidad reducidas, lo que conlleva problemas de drenaje. Sin embargo, su mayor enemigo es la humedad, ya que, cuando el agua entra en contacto, ya sea de lluvia o subterránea, las propiedades mecánicas se ven comprometidas y muestran desfavorables características físicas. Por ejemplo, disminuye su capacidad portante, experimentan dificultades para compactarse cuando están saturados (fenómeno de consolidación) y pueden sufrir de expansión y contracción con la alternación de humedad. Estas limitaciones hacen que muchos suelos de tipo arcillosos no cumplan con los requisitos mínimos para ser utilizados como subrasante.

Frente a esta problemática, se plantean soluciones que buscan mejorar las propiedades mecánicas a través de la estabilización con materiales adicionales. Esta propuesta aprovecha el creciente desarrollo de investigaciones sobre este tema, que ha ganado impulso desde el año 2000, ofreciendo enfoques más eficientes y sostenibles para reforzar la capacidad del suelo [2]

La incorporación de cenizas de carbón para estabilizar suelos, tanto mineral como vegetal, ha mostrado resultados óptimos en nuestro país, mejorando notablemente sus propiedades mecánicas [3] Diversos estudios han reportado una disminución de la humedad y un incremento en la compactación al aplicar porcentajes elevados de ceniza [4], Además, el CBR ha experimentado un aumento significativo, llegando a incrementarse en un 119.48% en comparación con el suelo natural, específicamente en suelos tipo CH, con adición del 20% de ceniza de carbón [5]

Diversos estudios han demostrado que, al aumentar la cantidad de vidrio molido incorporado en la estabilización de suelos, tanto el LL como el LP se reducen de manera progresiva [6]. Con una adición del 10% de vidrio, el IP disminuye en un 28%, mientras que el OCH se reduce hasta un 67% al incorporar el mismo porcentaje de vidrio. [7] Los valores de CBR también mostraron un aumento significativo, incrementándose 2.5, 3.3, 5.2 y 9.4 veces respecto al suelo original al agregar 3%, 5%, 7% y 9% de vidrio respectivamente. Finalmente, se concluyó que el porcentaje ideal de vidrio, en base al peso seco, era del 7%. [8]

A partir de lo mencionado, se plantea lo siguiente ¿Cómo influye la incorporación de ceniza de carbón con vidrio molido en las propiedades geotécnicas de suelos arcillosos? Se planteo como objetivo general evaluar la estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de carbón y vidrio reciclado molido como agente estabilizador para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos. Como objetivos específicos se establecieron: (1) Determinar la composición química de las cenizas de carbón; (2) Comparar las características físicas del suelo arcilloso en estado virgen y adiciones variables de vidrio molido con ceniza de carbón mediante ensayos de laboratorio del MTC; (3) Comparar las características mecánicas del suelo arcilloso en estado virgen y adiciones variables de vidrio molido con ceniza de carbón mediante ensayos de laboratorio del MTC; (4) Evaluar el impacto ambiental de la estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de carbón con vidrio molido para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos; (5) Realizar un estudio de viabilidad económica.

Los principales aspectos que sustentan la justificación de este trabajo son: (1) En el aspecto técnico: La ceniza de carbón, un subproducto de la generación de energía, y el vidrio molido, proveniente de materiales reciclados, presentan propiedades que pueden influir positivamente en las propiedades tanto físico como mecánicas de suelos arcillosos. La combinación de estos materiales puede contribuir a aumentar la resistencia, estabilidad y capacidad portante del suelo; (2) En el aspecto económico: Podría ofrecer la posibilidad de optimizar costos, ya que, si el CBR aumenta, entonces el espesor de capas disminuye y por ende los gastos en mantenimiento se reducen. Además, al ser ambos agentes de bajo costo disminuye los gastos en comparación a la utilización de cal, cemento u otros aditivos lo que facilita un uso más eficiente de recursos disponibles.; (3) En el aspecto social: Al mejorar la infraestructura vial habría un efecto beneficioso en la movilidad, accesibilidad y seguridad mejorando el nivel de vida (4) En el aspecto ambiental: Contribuye al reciclaje y reutilización al aprovechar eficientemente dichos materiales, reduciendo el desperdicio y promoviendo prácticas más sostenibles.

Esta investigación se enfoca en la estabilización de suelos con plasticidad baja a media, que no cumplen con los requisitos mínimos estipulados por el MTC., mediante ceniza de carbón y

vidrio molido. No se incluyen suelos de alta plasticidad, ya que son expansivos y no son adecuados como subrasantes, recomendándose la sustitución del material en esos casos.

Revisión a la literatura

Antecedentes

Syed Aaqib Javed y Sudipta Chakraborty, “Effects of waste glass powder on subgrade soil improvement”, 2020 [7]

Propone estabilizar suelos cohesivos mediante la incorporación de polvo de vidrio residual en dosificaciones del 2%, 4%, 6%, 8% y 10% del peso seco. Los residuos de vidrio, obtenidos de una planta de procesamiento, fueron triturados y tamizados a través del tamiz N°200, obteniendo los siguientes resultados: **(1)** El LL y LP disminuyeron de manera constante a medida que se incrementaba la cantidad de vidrio, reduciéndose de 49.52% a 33.9% en el caso del LL, y de 28% a 18.4% para el LP; **(2)** En cuanto al IP, este disminuyó en todos los porcentajes de adición de vidrio, con una reducción del 28% al alcanzar el 10% de vidrio en polvo; **(3)** La MDS del suelo mostró una mejora continua hasta el 8%, momento a partir del cual se mantuvo estable; **(4)** el OCH también disminuyó, alcanzando un 67% para la adición del 10% de vidrio; **(5)** Asimismo, el índice CBR, tanto en condiciones no remojadas como empapadas, aumentó de manera significativa, llegando a ser 9.70 y 6.70 veces mayor, respectivamente, con el aumento del polvo de vidrio. El estudio concluye que el 8% de polvo de vidrio residual es el porcentaje óptimo.

Zahra Mahdi y Al-Hassnawi, “Assessment of subgrade soil improvement by waste glass powder” 2018 [8]

Se sugiere emplear vidrio residual triturado como un material estabilizador para suelos débiles. Las dosis propuestas fueron del 3%, 5%, 7% y 9% en relación al peso del suelo seco, usando vidrio triturado que pasara por la malla N° 200 (75 μ m). El suelo se clasificó como A-7-5, lo que indica arcilla de baja plasticidad según AASHTO, o como ML, limo de baja plasticidad, de acuerdo con el sistema SUCS. A continuación, se presentan los resultados obtenidos: **(1)** A medida que se aumentó la proporción de vidrio triturado (VT), se notó una disminución considerable en el LL, LP e IP. Con un 9% de VT, estos valores se redujeron en un 48%, 40% y 71%, respectivamente, en comparación con el suelo original; **(2)** El CBR mostró un incremento notable, multiplicándose por 2.5, 3.3, 5.2 y 9.4 veces con la adición de 3%, 5%, 7% y 9% de VT. Los investigadores determinaron que el 7% del peso seco del suelo es la proporción óptima de vidrio triturado. Recomiendan combinar el vidrio con cal o cemento.

Siyab Khan, Tufail y Mateeullah, “Effects of waste glass powder on the geotechnical properties of loose subsoils”, 2018 [9]

Proponen usar vidrio reciclado con dosis del 4%, 8% y 12%, se trituró manualmente para luego pasarlo por el tamiz N° 200 (75 μm). El suelo empleado fue clasificado como CL-ML (arcilla limosa de baja plasticidad). Los resultados fueron los siguientes (1) La MDS del suelo fue aumentando de manera progresiva hasta alcanzar un 8% de adición de vidrio en polvo, y a partir de ese punto se mantuvo constante entre el 8% y el 12% (2) A medida que se incorporaba el vidrio, el OCH disminuía de manera constante.; (3) Con el aumento de la cantidad de vidrio, tanto el LL, LP como el IP disminuyeron, registrándose los valores más bajos con una adición del 12%; (4) La MDS pasó de 2.262 a 2.389 g/cm^3 con una adición del 12% de vidrio, manteniéndose este incremento de manera constante; (5) El CBR del suelo aumentó de forma proporcional con la adición de vidrio. Los incrementos fueron del 11.56%, 8.97% y 5.98% al añadir un 4%, 8% y 12% de vidrio respectivamente. Se concluyó que el 8% de polvo de vidrio es la cantidad óptima.

Nuruzzaman y Akhtar Hossain, “Effect of soda lime glass dust on the properties of clayey soil”, 2018 [10]

Propone emplear polvo de vidrio como estabilizante para suelos arcillosos. Las cantidades propuestas fueron del 3%, 6%, 9% y 12%. El suelo, clasificado como CL (arcilla de baja plasticidad), fue tratado con vidrio triturado y tamizado a través de una malla N° 50 (300 μm). Los resultados obtenidos fueron: (1) A medida que se añadía más polvo de vidrio, la MDS fue aumentando, hasta llegar a un valor de 1.84 g/cm^3 con un 12% de adición.; (2) A medida que se incrementaba la cantidad de polvo de vidrio, el OCH fue disminuyendo, alcanzando un valor mínimo del 12.7% con una adición del 12% (3) Con el aumento de la cantidad de aditivo el IP disminuyó, logrando una reducción de 37% respecto al suelo original al añadir un 12% de vidrio en polvo.

Pérez M. y Cañar A., “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón”, 2018 [4]

El objetivo principal es estabilizar propiedades como la capacidad de soporte y la resistencia al cortante mediante el uso de cenizas de carbón. Los resultados indican que el ensayo Proctor modificado mostró una densidad seca máxima y un nivel óptimo de humedad. Al aplicar 20%, 23% y 25% de cenizas de carbón en el ensayo CBR, se observó una mejora del 4.5% con un 25% de ceniza, alcanzando una resistencia del 19.6%.

Goñas O y Saldaña J., “Estabilización de suelos utilizando cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos”, 2018” [11]

Se propusieron dosificaciones del 15%, 20% y 25% de ceniza de carbón para estabilizar un suelo de tipo CH. El objetivo fue analizar las propiedades mecánicas utilizando ceniza volante, proveniente de una ladrillera en Chachapoyas. Los resultados fueron: **(1)** Al incorporar un 20% de cenizas de carbón, el CBR pasó de 2.1% hasta 4.05%, lo que representa un aumento del 92.85% en comparación con el suelo natural **(2)** Además, los límites de plasticidad aumentan conforme se va aumentando el porcentaje de dicho aditivo **(3)** La MDS para la adición de 20% aumenta de 1.681 a 1.733 g/cm³ en la C-1 y 1.694 a 1.746 g/cm³ en la C-2.

Pérez A. y Collantes M., “Estabilización suelos arcillosos con cenizas de carbón como subrasante mejorada”, 2012” [12]

Presentada en la Universidad Nacional de Cajamarca. Su objetivo fue, “analizar estabilizar suelos arcillosos empleando ceniza de carbón (Proviene de la planta termoeléctrica ubicada en Ilo, Moquegua, genera electricidad a partir de la energía térmica) y con ello demostrar su aplicación como subrasante mejorada. Los resultados fueron: **(1)** Al agregar un 20% de ceniza de carbón el CBR experimentó un aumento significativo, pasando del 8.3% al 17.3%, lo que representa una mejora del 108.43% en comparación con el suelo natural. **(2)** además el OCH aumenta de 18.2% a 21.5% representando un 18.8%. **(3)** Los límites de plasticidad se incrementan, siendo el LP el que aumenta más que el LL, mientras que el IP disminuye

Bases teórico-científicas

Bases Teóricas

Suelos

Definición

El suelo es el material de construcción más abundante y de mayor uso a nivel global. Su definición depende de la rama científica desde la que se vea; así, por ejemplo, para el agrónomo el suelo será “la parte superficial de la corteza capaz de sustentar vida vegetal”; para el geólogo, “es todo material intemperizado en el lugar en que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie” [13]

En esa misma línea, Braja, M. Das define al suelo como “el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas” [14]. La norma CE.020 de Suelo y taludes define la palabra suelo como aquellos “agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivas separables por medios mecánicos de poca energía por agitación de agua” [15]

Propiedades de los Suelos

Los suelos tienen propiedades físicas y mecánicas en función de los materiales predominantes en su constitución, así como la textura, forma, tamaño, color y peso de sus partículas [16]. Es por ello que necesitamos conocer las propiedades del suelo, entre ellas tenemos:

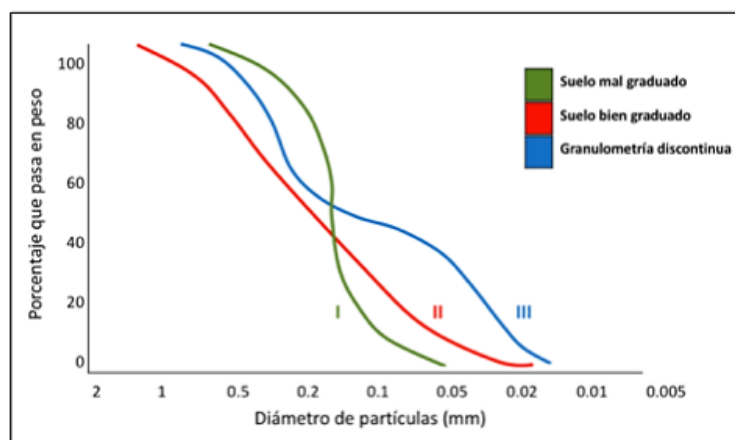
1) Granulometría: de acuerdo con el MTC 2014, representa la distribución del tamaño que posee el suelo mediante el tamizado, tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño”. En ese sentido, el suelo se puede clasificar de acuerdo al siguiente cuadro

Tabla N°1. Clasificación de suelos de acuerdo al tamaño de las partículas de suelo [17]

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

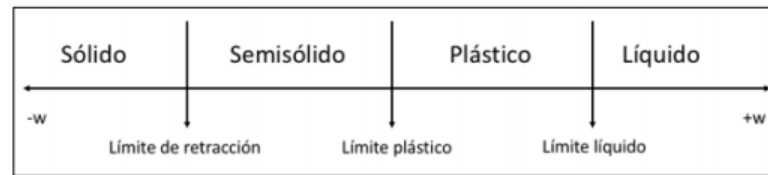
Según el MTC, este ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de un suelo. La Municipalidad provincial de Mariscal Nieto dice sobre la granulometría que “se refiere al tamaño de los elementos que componen el suelo... según el tamaño de los componentes podemos distinguir suelos finos o gruesos”. Para conocer la distribución de grano de un suelo es necesario obtener la curva granulométrica, ello se realiza el ensayo de granulometría por tamizado. La forma de la curva granulométrica determina si un suelo si un suelo está bien o mal graduado, o si tiene una distribución continua o discontinua

Ilustracion N°1. Formas de la curva de distribución granulométrica [18]



2) La Plasticidad: es una propiedad física en la que la fracción fina de un suelo (o el total de un suelo cohesivo) al entrar en contacto con un determinado contenido de agua, se comporta como un sólido o incluso hasta como un líquido [16]. Con un contenido de humedad muy bajo, la masa de suelo se comporta más como un “sólido quebradizo”, al aumentar drásticamente la humedad el suelo pierde totalmente su resistencia mecánica y se comporta como un líquido

Ilustración N°2. Comportamiento del suelo según su humedad [18]



Dichos límites permiten evaluar la sensibilidad del suelo ante variaciones en su contenido de agua, definiendo los tres estados de consistencia del suelo según su humedad: líquido, plástico o sólido. El límite líquido (LL) indica el punto en el que el suelo cambia de un estado semilíquido a uno plástico, momento en que se puede moldear, y se determina mediante el uso de la cuchara de Casagrande. Por otro lado, el límite plástico (LP) marca la transición del suelo de un estado plástico a uno semisólido, en el que tiende a fracturarse. La diferencia entre estos dos límites, conocida como índice de plasticidad, mide el rango de humedad en el que el suelo exhibe un comportamiento plástico; cuanto mayor es el índice [17]

Tabla N°2. Clasificación de suelos de acuerdo al IP [17]

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

Los suelos con alta plasticidad suelen ser considerados inadecuados para la construcción. Identificarlos en el sitio es un proceso simple, ya que basta con humedecer y manipular el suelo: si se comporta como plastilina, es plástico, mientras que, si se desmorona, es no plástico. Es importante destacar que los suelos plásticos, como las arcillas y limos, presentan diferentes grados de permeabilidad; Mientras que las arcillas son prácticamente impermeables, las limusinas son solo semi-impermeables. La permeabilidad, entendida como la capacidad del agua para fluir a través de los poros y grietas de un suelo o roca, juega un papel crucial, ya que un suelo con baja permeabilidad puede generar problemas de drenaje, lo que obliga a emplear métodos poco convencionales. para su desagüe [19]

3) Humedad natural: De acuerdo con el MTC, la resistencia de los suelos de subrasante, especialmente los suelos finos, está directamente relacionada con su contenido de humedad y densidad. Es fundamental conocer la humedad natural del suelo para compararla con la humedad óptima obtenida a través del ensayo Proctor modificado. Si la humedad natural es

igual o menor que la humedad óptima, se recomienda realizar una compactación normal del suelo, junto con la adición de agua si es necesario. Sin embargo, si la humedad natural supera la óptima, es necesario aumentar la energía de compactación, ventilar el suelo o sustituirlo [17]

4) Capacidad de soporte: Según la norma CE.020. La capacidad de soporte se define como la resistencia que ofrece el material de subrasante con el propósito de diseño de pavimentos. Esta capacidad o rigidez del suelo se evalúa mediante el módulo elástico, siendo un parámetro fundamental para el diseño de pavimentos. El módulo de resiliencia mide la elasticidad del suelo y se utiliza directamente en el diseño de pavimentos flexibles; Sin embargo, para pavimentos rígidos o compuestos, este valor debe convertirse en el módulo de reacción de la subrasante (valor k) [15]. En muchos casos, se realiza el ensayo de CBR (California Bearing Ratio), y a partir de fórmulas de compensación, se determina el módulo resiliente del suelo. El CBR refleja la capacidad de soporte o resistencia del suelo, basado en el 95% de la MDS y una penetración de 2,54 mm (0,1").

Clasificación de Suelos

Una vez que se han determinado las características mencionadas, es posible predecir con mayor precisión el comportamiento de los suelos y así clasificarlos en función de su granulometría y consistencia. El Manual de Carreteras adopta los sistemas de clasificación de suelos basados en las normativas AASHTO y SUCS. Estos sistemas de clasificación tienen como objetivo principal prever el comportamiento aproximado de los suelos, lo que ayuda a definir áreas geotécnicamente homogéneas. [19]

Tabla N°3. Correlación entre clasificación de suelos SUCS-AASHTO [19]

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

Suelos Arcillosos

Definición

Las arcillas se componen principalmente de partículas microscópicas y submicroscópicas en forma de láminas, que incluyen minerales de arcilla, mica y otros. Estas partículas suelen tener un tamaño menor a 0,002 mm. Por ello, un suelo arcilloso se clasifica principalmente por el tamaño de sus partículas y su plasticidad, más que por los minerales específicos que contiene. Según Braja M. Das, las arcillas se caracterizan por desarrollar plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua. Esta plasticidad permite que las arcillas se comporten como plastilina, lo que está estrechamente relacionado con la resistencia del suelo [14]

Tabla N°4. Clasificación de suelos de acuerdo al tamaño de partícula [14]

Tabla 2.3 Límites de separación de tamaño de suelo

| Nombre de la organización | Tamaño de grano (mm) | | | |
|--|----------------------|--------------|--|---------|
| | Grava | Arena | Limo | Arcilla |
| Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) | >2 | 2 a 0.06 | 0.06 a 0.002 | <0.002 |
| Departamento de Agricultura de E.U. (USDA) | >2 | 2 a 0.05 | 0.05 a 0.002 | <0.002 |
| Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO) | 76.2 a 2 | 2 a 0.075 | 0.075 a 0.002 | <0.002 |
| Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) | 76.2 a 4.75 | 4.75 a 0.075 | Finos (p.ej., limos y arcillas) <0.075 | |

Características

A) Plasticidad: Es una propiedad clave de los suelos arcillosos y finos en general, que influye en su consistencia y resistencia al corte según el nivel de humedad presente. Este comportamiento se explica por la formación de delgadas capas de agua alrededor de las partículas de arcilla, que actúan como lubricantes y disminuyen la resistencia al corte conforme aumenta el grosor de estas capas. Factores como el contenido de agua, el tamaño, la forma y la estructura de las partículas, así como la presencia de materia orgánica y la disposición de las partículas, afectan directamente esta propiedad.

B) Hinchamiento o expansividad: Es la propiedad que describe el aumento de volumen en un suelo debido a la absorción de agua, que se retiene en los poros. Este fenómeno ocurre cuando el agua penetra en los poros del suelo, separando las láminas de las partículas y generando fuerzas electrostáticas de repulsión entre ellas, lo que causa el hinchamiento y la separación

completa de las láminas. Por otro lado, la retracción es el proceso opuesto, en el cual el suelo reduce su volumen como resultado de la expulsión del agua.

C) Tixotropía: Es un fenómeno que ocurre en ciertas arcillas, las cuales pierden temporalmente sus propiedades mecánicas cuando se agitan o manipulan, llegando a comportarse como líquidos. Sin embargo, estas propiedades se restauran cuando el material se deja en reposo. Este comportamiento es típico de las arcillas, mientras que en las arenas es más común observar fenómenos de colapso. La tixotropía de un material depende de factores como el tiempo de reposo, las condiciones originales del suelo, su contenido de agua y su porosidad.

Estabilización de Suelos

Definición

Según la norma CE.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones, la estabilización de suelos es un proceso físico y/o químico que mejora las propiedades físico-mecánicas del suelo natural en cortes o de los materiales utilizados en rellenos, con el fin de lograr su estabilidad. Para estabilizar un suelo en la subrasante, se emplea un agente estabilizador, que es un material adicional, distinto del suelo, que se incorpora para mejorar sus características [20]

El Manual de Carreteras del MTC 2014 define la estabilización de suelos como la mejora de sus propiedades físicas mediante procedimientos mecánicos y la incorporación de productos químicos, ya sean naturales o sintéticos. Este proceso se aplica a suelos de subrasante que, según su CBR, son considerados inadecuados o de baja calidad. Los métodos más comunes de estabilización incluyen el uso de cemento, cal y asfalto, siempre seguidos de un proceso de compactación. El objetivo de estabilizar o tratar un suelo es lograr una alta resistencia mecánica que se mantiene a lo largo del tiempo [21]

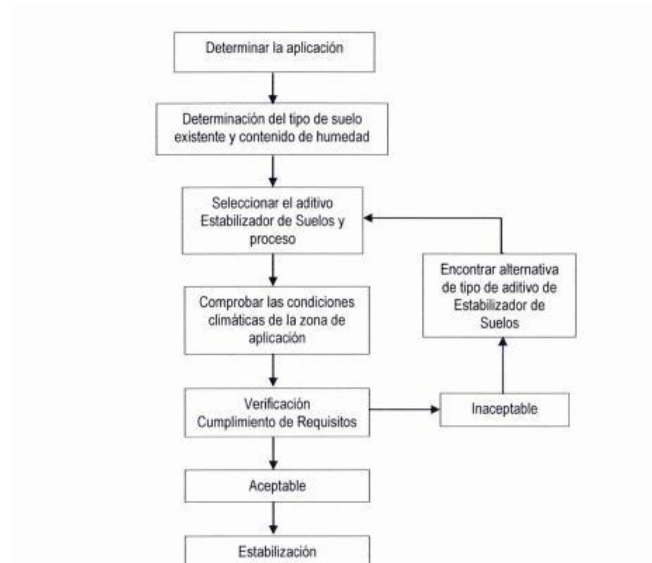
Criterios normativos para estabilizar un suelo:

El Manual de Carreteras: Suelos y Pavimentos del MTC 2014 establece 6 criterios geotécnicos para determinar si es necesaria la estabilización de un suelo de subrasante, los cuales son:

- **CBR menor al 6%:** Los suelos de subrasante que presentan un CBR inferior al 6%, considerados pobres o inadecuados, así como aquellos con zonas húmedas locales o áreas blandas, requieren estabilización. La técnica de mejoramiento debe seleccionarse en función del tipo de suelo y la economía de la obra.

- Prevención de contaminación en suelos arcillosos o limosos: En suelos de subrasante arcillosos o limosos, si existe riesgo de que las capas granulares del pavimento se contaminen con partículas finas, debe incluirse una capa anticontaminante de al menos 10 cm de espesor o un geotextil, según el criterio del ingeniero
- Nivel freático y subrasante: La superficie de la subrasante debe estar por encima del nivel freático en función de su calidad: 0.60 m para subrasantes excelentes (CBR > 20%), 0.80 m para subrasantes buenas o regulares (CBR entre 6% y 20%), y entre 1,00 y 1,20 m para subrasantes pobres o inadecuadas (CBR < 6%).
- Zonas por encima de 4000 msnm: En estas áreas, se debe evaluar la susceptibilidad del suelo al congelamiento, la cual está relacionada con la profundidad del nivel freático. Los suelos susceptibles incluyen aquellos limosos o que contienen más del 3% de partículas inferiores a 0,02 mm en peso.
- Determinación del tipo de suelo: Para definir el tipo de estabilización adecuado, es fundamental conocer el tipo de suelo presente. En general, se encuentran suelos limosos, arcillosos, así como arenas limosas o arcillosas.
- Factores para elegir el método de estabilización: Los criterios incluyen el uso y tipo de suelo, el tipo de aditivo estabilizador, experiencia previa con dicho aditivo, disponibilidad del mismo y del equipo necesario, y la economía del proyecto. El MTC propone un diagrama para seleccionar el método de mejoramiento adecuado.

Ilustración N°3. Proceso de selección del Tipo de estabilización [29]



Tipos de estabilización:

A) Estabilización mecánica:

Este tipo de estabilización se enfoca en mejorar las propiedades del material de subrasante sin alterar su estructura ni su composición esencial. El proceso tiene como objetivo la resistencia al corte del suelo para aumentar su estabilidad, además de reducir su compresibilidad, permeabilidad y el riesgo de expansión-contracción, lo que contribuye a evitar problemas como asentamientos y congelamiento. La compactación es una herramienta fundamental en esta estabilización, ya que permite reducir el volumen de vacíos en el suelo. Para una compactación eficiente, es necesario determinar tanto la energía de compactación óptima como la humedad ideal, que permitan alcanzar la MDS. Esta densidad se obtiene mediante la evaluación de los resultados de ensayos Proctor, ya sea modificada o estándar [21]

B) Estabilización por combinación de suelos: La estabilización considera la combinación del suelo existente con materiales de préstamo. Según el procedimiento recomendado por el MTC 2014, primero se disgrega el suelo existente a una profundidad de 15 cm, tras lo cual se añade el material de préstamo. Ambos suelos se humedecen o airean según sea necesario para alcanzar la humedad adecuada para la compactación, eliminando previamente cualquier partícula mayor de 75 mm. Luego, se mezclan los suelos y finalmente se compacta la mezcla hasta alcanzar el nivel de subrasante requerido.

C) Estabilización con cal: Se logra mediante la mezcla íntima de este con cal viva (óxido cálcico) o cal apagada (hidróxido cálcico). Ambas son cales aéreas, lo que significa que se soportan al contacto con el aire una vez combinadas con agua. Dado que la mayoría de los suelos contienen sílice y aluminosilicatos, la adición controlada de cal y agua permite obtener las propiedades deseadas en el suelo [21]. Según el Manual de Carreteras del MTC 2014, uno de los principales efectos de la cal en el suelo es la reducción significativa de su plasticidad. Además, la cal incrementa la humedad óptima de compactación, lo que facilita la densificación de suelos con un alto contenido de humedad natural.

D) Estabilización con cemento: Se obtiene al mezclar de manera uniforme un suelo previamente disgregado con cemento, agua y posibles aditivos, seguido de un proceso de compactación y curado adecuado [17]. Este método soporta el suelo suelto, aunque la resistencia y el módulo de elasticidad de la mezcla suelo-cemento son menores que los del

concreto, ya que las partículas del suelo no están completamente recubiertas por la pasta de cemento, sino que están unidas de forma puntual. El contenido óptimo de agua se determina a través del ensayo de Proctor modificado. Esta técnica se aplica a suelos granulares con finos de baja a media plasticidad ($IP < 18$). Además, la resistencia de la mezcla suelo-cemento aumenta con la cantidad de cemento y con el tiempo de curado.

Tabla N°5. Rango de cemento requerido en Estabilización suelo-cemento [21]

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

Al igual que en la estabilización con cal, un curado deficiente de la capa tratada antes de aplicar la siguiente puede generar fisuras en las bases estabilizadas, especialmente en climas cálidos, donde el problema se agrava. La norma CE.020 especifica que el contenido de finos, es decir, las partículas que pasan por el tamiz N° 200, debe estar entre el 5% y el 35%. Aunque se permite el uso de cualquier tipo de cemento, en zonas de bajas temperaturas se recomienda emplear cemento de fraguado rápido o con cloruro de calcio como aditivo. El espesor mínimo de la capa estabilizada debe ser de al menos 10 cm. Para una estabilización flexible, el porcentaje de cemento debe estar entre el 1% y el 4%, mientras que, para una estabilización rígida, este porcentaje debe situarse entre el 6% y el 14%. [21]

Ilustración N°4. Estabilización con cemento en campo. Fuente: Google



E) Estabilización con cloruro de sodio: La sal es un estabilizante natural que se caracteriza por su capacidad de absorber la humedad tanto del aire como de los materiales circundantes, lo que mejora la cohesión del suelo. En el ámbito de la construcción, su aplicación principal es como controlador de polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. Este método

de estabilización es especialmente adecuado para suelos con un índice de plasticidad superior al 8% y con un tamaño máximo de agregado grueso inferior a un tercio del espesor de la capa a compactar. Aunque la cantidad óptima de sal necesaria para estabilizar un suelo se determina a través de pruebas de laboratorio, suele encontrarse en un rango de entre 50 y 80 kg por metro cúbico de suelo [21].

Ilustración N°5. Estabilización con cloruro de sodio en campo. Fuente: Google



Vidrio

Definición

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018) describe el vidrio como un material sólido amorfo, sobre fundido, duro y frágil, que consiste en un complejo químico de silicatos sólidos y cal, cuya fórmula es SiO_2 (Na_2O) (CaO). Según esta misma fuente, los silicatos (SiO_2) provienen de arenas silíceas limpias y secas, el Na_2O proviene del carbonato o sulfato de sodio, y el CaO y MgO se obtienen de la caliza natural y la dolomita. Estos componentes se funden a una temperatura aproximada de $1500\text{ }^\circ\text{C}$ para formar el vidrio.

Composición del Vidrio

Morales Ortega presenta 5 grupos básicos de composición del vidrio durante el proceso de fusión:

A) Vitrificantes: Son los componentes principales que forman la estructura del vidrio, constituyendo la mayor parte de su masa y determinando sus características y nombre genérico. Los principales Vitrificantes son la sílice (SiO_2), que representa las tres cuartas partes de la composición del vidrio, el trióxido de boro (B_2O_3) y el pentóxido de fósforo (P_2O_5).

B) Fundentes: Facilitan la fusión del vidrio al reducir la temperatura de fusión. Entre los fondos se encuentran el óxido de sodio (Na_2O), que es el segundo componente en importancia después de la sílice, el óxido de potasio (K_2O) y el óxido de litio (Li_2O).

C) Bases u óxidos: Actúan como estabilizantes y permiten modificar las propiedades del vidrio. Entre estos se encuentran el óxido de calcio (CaO), el tercer componente más abundante en la masa del vidrio común, el óxido de magnesio (MgO) y el óxido de bario (BaO).

D) Estabilizantes: También llamados óxidos indiferentes, pueden actuar tanto como Vitrificantes como fundentes. Entre ellos están el óxido de aluminio (Al₂O₃), que aumenta la resistencia mecánica, el óxido de plomo (PbO), el óxido de zinc (ZnO) y el óxido de hierro (FeO).

E) Componentes secundarios: Estos elementos no afectan la estructura del vidrio, pero mejoran su textura y apariencia. Algunos ejemplos son afinantes, decolorantes, colorantes, pacificantes y fluidificantes.

Ilustración N°6. Composición del vidrio en porcentaje



Fuente: Google imágenes

Tipos de Vidrio

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018) clasifica el vidrio en dos categorías principales: vidrios primarios y productos secundarios. Los vidrios primarios son aquellos obtenidos directamente del horno de fundición, mientras que los productos secundarios provienen de un segundo proceso que utiliza vidrio fabricado por industrias primarias como materia prima. Entre los vidrios primarios se encuentran el vidrio estirado, rolado, flotado, transparente y translúcido. En cuanto a los productos secundarios, incluyen vidrios templados, laminados, curvos recocidos, curvos templados, curvos laminados, insulados, opacos, translúcidos, además de los vidrios acústicos y térmicos.

Polvo de Vidrio

El vidrio reciclado y triturado se utilizará como un agente estabilizador en suelos arcillosos. Estos suelos, que son finos y altamente plásticos, se benefician del polvo de vidrio, ya que este actúa como un árido que reemplaza parte del suelo, modificando la macroestructura de las

arcillas. Esto mejora la gradación, reduce la plasticidad, facilita el drenaje y, lo más importante en proyectos viales, aumenta la capacidad de soporte (CBR). Esto es posible porque el vidrio contiene entre un 50% y 80% de sílice, un componente presente en algunas rocas que proporciona resistencia. Además, cuando se tritura adecuadamente, el vidrio se comporta como un árido arenoso. Un aspecto clave del vidrio es que no reacciona químicamente, no absorbe agua y mantiene su estabilidad a temperatura ambiente.

Ilustración N°7. Vidrio Triturado



Fuente: Google imágenes

Ceniza de Carbón

Definición

Petermann y Saeed (2012) explican que las cenizas de carbón se clasifican, según la norma ASTM, en tres tipos: cenizas de fondo, cenizas volantes y combinados. Las cenizas volantes son los residuos que se acumulan en el fondo de las calderas y tienen partículas con un diámetro mayor a 0.075 mm (retenidas en la malla N°200), mientras que las cenizas de fondo son las que se retienen en los filtros de las calderas, con partículas de menor diámetro, es decir, menores a 0.075 mm (pasan por la malla N°200). Las cenizas volantes poseen propiedades puzolánicas debido a su alto contenido de sílice y alúmina, y en presencia de agua, estas reaccionan químicamente adquiriendo características cementantes [22]

Clasificación de ceniza volante

La norma ASTM-C-618-03 define la ceniza volante como "el residuo finamente dividido que resulta de la combustión de carbón mineral o molido finamente y es transportado en el flujo de gases". Esta norma clasifica las cenizas volantes en tres tipos:

- Clase N: Incluye puzolanas naturales, calcinadas o no, como tierras diatomáceas, horstenos, pizarras opalinas y cenizas volcánicas o pumíticas. También abarca tobas, que pueden estar calcinadas o no, así como otros materiales que requieren calcinación para mejorar sus propiedades, como algunas pizarras y arcillas.
- Clase F: Proviene mayormente de la combustión de carbón bituminoso o antracítico. Estas cenizas tienen características puzolánicas, siendo conocidas como silicoaluminosas o puzolanas no activas, con un contenido de CaO menor al 15%.
- Clase C: Se genera a partir de la calcinación de carbón subbituminoso o lignito. Además de sus propiedades puzolánicas, también posee propiedades cementantes. Estas cenizas se denominan sulfocálcicas, hidráulicas o activas, con un contenido de CaO superior al 15%.

Tabla N°6. Clasificación de las cenizas volantes

| Composición Química | | Clase | |
|---|-------|-------|----|
| | | F | C |
| SiO ₂ + Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ | Min % | 70 | 50 |
| SO ₃ | Max % | 5 | 5 |
| Contenido de Humedad | Max % | 3 | 3 |
| Pérdida por Ignición | Max % | 6 | 6 |

Fuente: Norma ASTM C618-12a.

Composición Química de la ceniza de carbón

La composición química de las cenizas volantes varía según el tipo de carbón utilizado (bituminoso, antracita, entre otros) y el método de combustión empleado (como calderas, estufas u hornos). En su mayoría, están formados por sílice (SiO₂), alúmina (Al₂O₃), óxido férrico (Fe₂O₃) y cal (CaO), además de contener pequeñas cantidades de carbón sin quemar. En menor proporción, aproximadamente un 5% en peso, también incluyen magnesita (MgO), óxido de azufre (SO₃), alcalinos como el óxido de sodio (Na₂O) y el óxido de potasio (K₂O), junto con otros elementos traza.

Pavimento

Definición

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) define el pavimento como una estructura compuesta por varias capas que se construye sobre la subrasante de una vía, con el

objetivo de resistir y distribuir los esfuerzos generados por los vehículos, mejorando así la seguridad y comodidad del tránsito [17]. Por su parte, la norma CE.010 del RNE describe el pavimento como una estructura formada por capas que descansan completamente sobre un terreno previamente preparado para soportar su carga durante el llamado Período de Diseño, garantizando un nivel adecuado de servicio. Esta definición incluye superficies como pistas, estacionamientos, veredas, pasajes peatonales y ciclovías [20]

Componentes del Pavimento

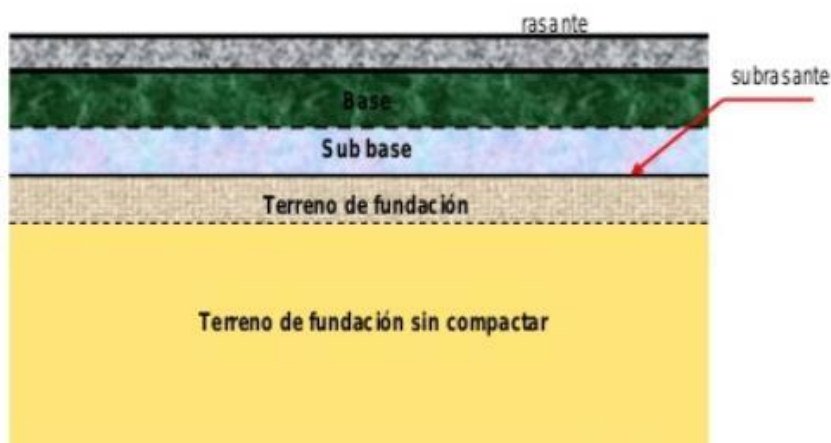
Es bien sabido que el paquete estructural de un pavimento se compone de tres capas: la capa de rodadura, la capa de base granular y la sub-base granular drenante (Ver ilustración N°8), que se describe a continuación según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014):

1) Capa de rodadura: Es la capa superior del pavimento, que puede ser bituminosa (flexible), de concreto (rígido) o de adoquines, y su función principal es soportar directamente el tránsito. También se le denomina capa asfáltica de superficie o capa de desgaste.

2) Base: Se encuentra debajo de la capa de rodadura y su función principal es servir de soporte, distribuyendo y transmitiendo las cargas del tránsito hacia la sub-base granular. Para cumplir con los estándares de diseño, el material granular drenante de la base debe tener un CBR igual o superior al 80%. Según la norma CE.010 del RNE, esta capa es habitualmente granular, aunque puede estar compuesta por suelo estabilizado, concreto asfáltico o concreto hidráulico, y actúa como elemento estructural del pavimento, pudiendo también cumplir funciones de drenaje en determinados casos. El Manual del Asfalto menciona que la base también se utiliza como cimentación para la estructura del pavimento asfáltico, y dependiendo de su capacidad portante, puede reemplazar las capas de sub-base o terreno mejorado.

3) Sub-base: Ubicada entre la subrasante y la base granular, su función es proporcionar soporte tanto a la base como a la capa de rodadura. Además, facilita el drenaje del agua superficial y subterráneo y evita la ascensión de agua por capilaridad. Esta capa debe estar constituida por material granular con un CBR igual o mayor al 40%.

Ilustración N°8. Estructura típica de pavimentos asfálticos

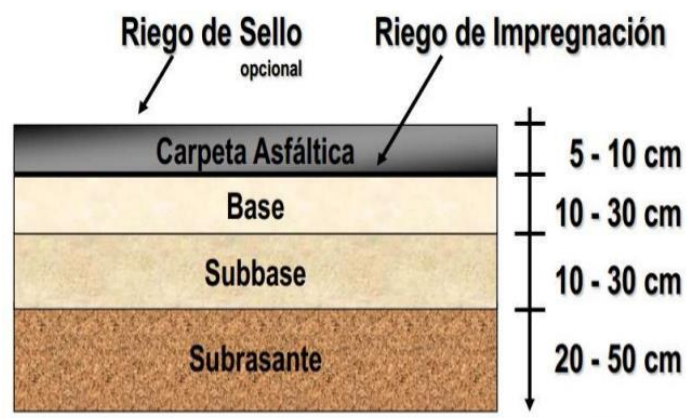


Tipos de Pavimentos

El Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) identifica tres tipos de pavimentos: flexibles, semirrígidos y rígidos.

A) Pavimentos flexibles: También llamados pavimentos asfálticos, están compuestos por dos capas granulares (base y sub-base) y una capa de rodadura hecha de materiales bituminosos. Existen variantes como los pavimentos "full- Depth", en los que el concreto asfáltico se construye directamente sobre la subrasante. Según Minaya González y Ordóñez Huamán, estos pavimentos tienen una capa asfáltica sobre una base granular, distribuyendo las tensiones y deformaciones provocadas por el tráfico. Las capas de revestimiento y base absorben las tensiones de compresión y cizallamiento verticales [23]

Ilustración N°9. Estructura tradicional de pavimentos flexibles [23]



B) Pavimentos semirrígidos: o semiflexible (intertrabado). También conocidos como pavimentos semiflexibles o intertrabado, combinan capas asfálticas, incluyendo una carpeta asfáltica en caliente sobre una base tratada con asfalto, cemento o cal. Los pavimentos

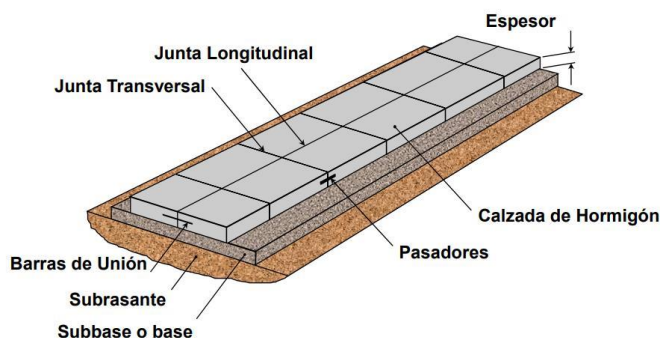
adoquinados también pertenecen a esta categoría. Minaya González y Ordóñez Huamán los describen como pavimentos compuestos, donde se mezclan características de pavimentos flexibles y rígidos, con una capa rígida inferior y una capa flexible superior, específicos compuestos por una base de concreto o tratada con cemento y una capa de rodadura de concreto asfáltico [23]

Ilustración N°10. Estructura tradicional de pavimento adoquinado [23]



C) Pavimentos rígidos: Están formados principalmente por una subbase granular, aunque también pueden incluir una base granular estabilizada con cemento hidráulico, agregados y aditivos. Este tipo de pavimento se clasifica en tres categorías: pavimentos de concreto simples con juntas, pavimentos de concreto con juntas y refuerzo de acero, y pavimentos de concreto con refuerzo continuo. Minaya González y Ordóñez Huamán señalan que en los pavimentos rígidos, la losa de concreto de cemento Portland es el componente estructural clave, aliviando las tensiones en las capas subyacentes gracias a su alta resistencia a la flexión, aunque con el tiempo, las tensiones repetidas pueden provocar fisuración por fatiga [23]

Ilustración N°11. Estructura tradicional de pavimento rígido [23]



Subrasante

Según la norma CE.010 del RNE, la subrasante se refiere a la parte superior del terreno natural o del relleno compactado. El Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) la describe como la superficie finalizada de la carretera, a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. Es, en esencia, el suelo de fundación o soporte del paquete estructural del pavimento. Para cumplir su función, la subrasante debe estar compuesta por materiales con características geotécnicas adecuadas, especialmente en términos de capacidad de soporte, ya que estas propiedades, junto con el tránsito vehicular, afectan tanto el diseño como la construcción de pavimentos, ya sean flexibles o rígidos. El MTC también clasifica las subrasantes en categorías basadas en el CBR (Índice de Capacidad de Soporte) que los suelos de fundación pueden soportar.

Tabla N°7. Estructura tradicional de pavimento rígido [21]

| Categorías de Sub rasante | CBR |
|---|--------------------------|
| S ₀ : Sub rasante Inadecuada | CBR < 3% |
| S ₁ : Sub rasante insuficiente | De CBR ≥ 3% A CBR < 6% |
| S ₂ : Sub rasante Regular | De CBR ≥ 6% A CBR < 10% |
| S ₃ : Sub rasante Buena | De CBR ≥ 10% A CBR < 20% |
| S ₄ : Sub rasante Muy Buena | De CBR ≥ 20% A CBR < 30% |
| S ₅ : Sub rasante Excelente | CBR ≥ 30% |

El criterio para estabilizar un suelo destinado a servir como subrasante en cualquier pavimento está basado en su valor de CBR. Según el Manual de Carreteras: Suelos y Pavimentos del MTC 2014, el valor mínimo de CBR requerido para una subrasante es del 6%. Si el CBR es inferior a este porcentaje, se debe proceder a la estabilización de las capas del suelo, evaluando diferentes alternativas según la naturaleza del mismo. Además, se deben estabilizar las zonas con humedad local o áreas de suelo blando.

Normas Técnicas Peruanas (NTP)

NORMA E.050: SUELOS Y CIMENTACIONES: En esta norma se establecen los requisitos o criterios para la realización de los EMS, con objetivos de edificaciones, cimentación entre otras obras señaladas en esta Norma

Suelos: Cuarteo, Obtención en laboratorio de muestras representativas (NTP 339.089) Constituye los procesos en el laboratorio de la muestra que se necesitaría para elaborar las pruebas, de manera que estas sean representativas de la muestra inicial.

Suelos: Método de Ensayo de Contenido de Humedad de un Suelo (NTP 339.127 o ASTM D2216) El presente ensayo determina la metodología para conocer el contenido de humedad de una muestra de suelo.

Suelos: Método de Ensayo de Análisis Granulométrico (NTP 339.128 o ASTM D422). La NTP abarca la metodología para conocer la distribución por tamaño de las partículas de los agregados por tamizado.

Suelos: Método de ensayo para determinar el Límite Líquido y Límite Plástico e Índice de Plasticidad de suelos (NTP 339.129 o ASTM D4318). La NTP indica esta prueba para definir el límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad de una muestra de suelo.

Suelos: Método para la Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) (NTP 339.134 o ASTM D2487). Determina el sistema o método de clasificar los suelos minerales y orgánicos minerales para objetivos ingenieriles, correspondiente a conocer en el laboratorio las características granulométricas, límites líquidos e índice plástico.

Suelos: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado) – (MTC E 115 – ASTM D 1557 – NTP 339.141:1999). El objetivo de este ensayo es obtener la densidad máxima de un suelo y la humedad óptima que es necesaria aportar para alcanzar dicha densidad

Suelos: CBR de suelos – (MTC E 132 – ASTM D 1883). Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, sub- base y de afirmado

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

De acuerdo con el libro "Metodología de la Investigación" [24] El tipo de investigación de este trabajo es aplicada, ya que su objetivo es resolver una problemática real en vez de generar nuevo conocimiento. Además, de acuerdo a los datos analizados se clasifica como cuantitativa, ya que el estudio se basa en la identificación de la realidad y en el análisis del problema a través de la recolección y evaluación de datos.

Nivel de investigación

Esta investigación se enmarca dentro de un diseño experimental, caracterizado por la manipulación y medición de variables, además del control y comparación de los resultados. Para obtener dichos resultados, se llevarán a cabo una serie de ensayos, cuyo objetivo es analizar cómo se comportan las muestras tras la adición de dichos componentes [24].

Variables y operacionalización

Pregunta de investigación: *¿Cómo influye la incorporación de ceniza de carbón con vidrio triturado en las propiedades geotécnicas en la estabilización de suelos arcillosos?*

Hipótesis: *La incorporación de ceniza de carbón con vidrio triturado mejorara las propiedades geotécnicas de un suelo arcilloso*

Tabla N°8. Variable Independiente

| Variable | Descripción | Indicador | Unidad de Medida | Rango de Aplicación (% en peso seco del suelo) | Método de medición (Instrumento, Ensayo, NTP) |
|----------------------------|--|------------------|------------------|--|---|
| Variable Independiente (X) | Incorporación de ceniza de carbón con vidrio triturado | Ceniza de carbón | % | 10% | Balanza |
| | | Vidrio triturado | % | 2.5%, 3.5%, 4.5% | Balanza |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°9. Variables Dependientes

| Variable | Descripcion | Dimension | Indicador | Unidad de Medida | Metodo de medicion (Instrumento, Ensayo, NTP) |
|--------------------------|---|-----------------------|-----------------------------|--------------------|---|
| Variable Dependiente (Y) | Propiedades geotecnicas de un suelo arcilloso | Propiedades Fisicas | Distribucion granulometrica | % | Granulometria por tamizado (MTC E107) |
| | | | Limites Liquido | % | Limite liquido (MTC E110) |
| | | | Limite Plastico | % | Limite plástico (MTC E111) |
| | | | Contenido de Humedad | % | Contenido de humedad (MTC E108) |
| | | | Gravedad Especifica | gr/cm ³ | Gravedad Especifica (AASHTO T-100-70 /ASTM D854-58) |
| | | Propiedades Mecanicas | CBR | % | CBR en suelos (MTC E132) |
| | | | Proctor Modificado | % | Proctor modificado (MTC E115) |

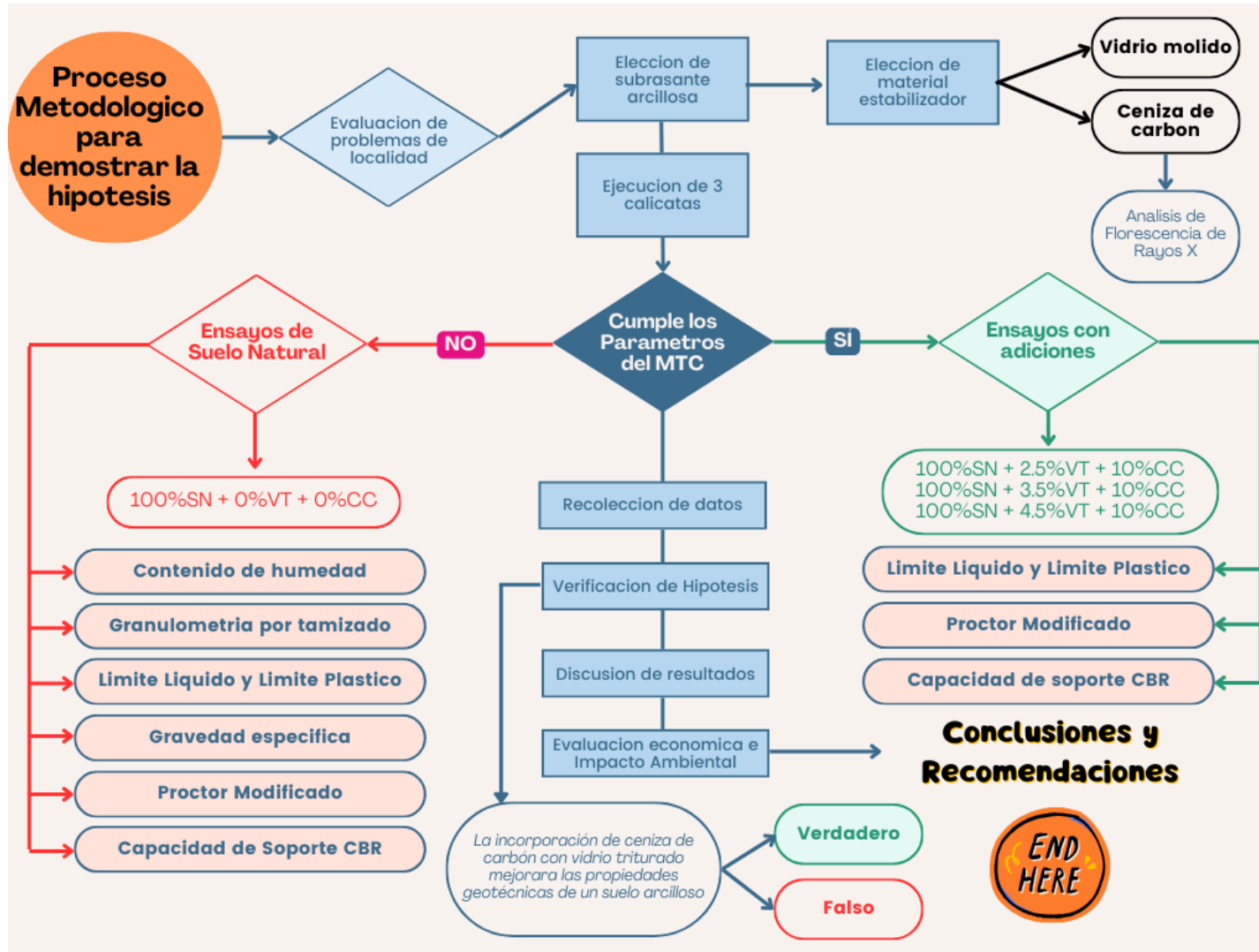
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°10. Variable Interviniente

| Variable | Indicador | Unidad de Medida | Rango de Aplicación (% en peso seco del suelo) | Metodo de medicion (Instrumento, Ensayo, NTP) |
|------------------------|---|------------------|--|---|
| Variable Interviniente | Diametro de vidrio triturado | µm | 300 (Malla N°50) | Tamiz |
| | Diametro de ceniza de carbon | µm | 75 (Malla N°200) | Tamiz |
| | Composicion quimica de ceniza de carbon | % | - | Espectometro de Fluorescencia de Rayos X |

Fuente: Elaboración propia

Ilustracion N°12. Diagrama de flujo



Fuente: Elaboración propia

Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

Población, muestra, muestreo

Población

Para esta investigación, la población comprende el suelo arcilloso de la cuarta etapa de la urbanización Nuevo San Lorenzo, ubicada en el distrito de José Leonardo Ortiz, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, durante el año 2024. Se incluyen también los residuos de vidrio en Chiclayo y las cenizas de carbón generadas en Illimo.

Muestra

El estudio se realizará con muestras de suelo arcilloso obtenidas de la Urb. Nuevo San Lorenzo 4ta etapa. Se tomarán tres calicatas, cada una con profundidad de 1.50 metros. La ubicación específica de estas calicatas será determinada según el criterio del investigador para asegurar una representación adecuada del suelo de la zona.

Además del suelo arcilloso, las muestras incluirán residuos de vidrio reciclado, recolectados en áreas con alta generación de este tipo, como las vidrierías. Asimismo, se incorporarán cenizas de carbón recicladas, obtenidas en zonas con alta producción de estos residuos, como las ladrilleras.

Muestreo

El tipo de muestreo utilizado en este estudio es no probabilístico por conveniencia; debido a su enfoque práctico y eficiente, permitiendo la selección de especímenes accesibles y relevantes a criterio del investigador. Este método es adecuado para el estudio exploratorio y descriptivo que se realiza, donde la representatividad exacta no es esencial. Además, las limitaciones de tiempo y recursos hacen inviable un muestreo probabilístico, que requiere métodos aleatorios y mayores costos. La literatura respalda esta elección en contextos donde se busca una comprensión profunda de fenómenos específicos, lo cual justifica su uso en este estudio. A continuación, se especifica el número de ensayos que se llevarán a cabo en esta investigación.

Tabla N°11. Muestreo para determinar las prop. geotécnicas de un suelo arcilloso

| CALICATA 1 | | CALICATA 1 | | | | |
|----------------------------|----------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| Ensayos | Suelo P1 | Suelo P1 | 2.5%V + 10%C | 3.5%V + 10%C | 4.5%V + 10%C | TOTAL |
| Granulometria por tamizado | 1 | | | | | |
| Limite Liquido | 1 | | | | | |
| Limite Plastico | 1 | | | | | |
| Gravedad Especifica | 1 | | | | | |
| Humedad | 1 | | | | | |
| TOTAL | 5 | | | | | |

| CALICATA 2 | | CALICATA 2 | | | | |
|----------------------------|----------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| Ensayos | Suelo P2 | Suelo P2 | 2.5%V + 10%C | 3.5%V + 10%C | 4.5%V + 10%C | TOTAL |
| Granulometria por tamizado | 1 | | | | | |
| Limite Liquido | 1 | | | | | |
| Limite Plastico | 1 | | | | | |
| Gravedad Especifica | 1 | | | | | |
| Humedad | 1 | | | | | |
| TOTAL | 5 | | | | | |

| CALICATA 3 | | CALICATA 3 | | | | |
|----------------------------|----------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| Ensayos | Suelo P3 | Suelo P3 | 2.5%V + 10%C | 3.5%V + 10%C | 4.5%V + 10%C | TOTAL |
| Granulometria por tamizado | 1 | | | | | |
| Limite Liquido | 1 | | | | | |
| Limite Plastico | 1 | | | | | |
| Gravedad Especifica | 1 | | | | | |
| Humedad | 1 | | | | | |
| TOTAL | 5 | | | | | |

| CUADRO DE RESUMEN | |
|------------------------|------------|
| Ensayos Fisicos (SUCS) | 15 |
| Ensayos Mecanicos | 156 |
| Total de muestras | 171 |

Fuente: Elaboración propia

Criterios de Selección

- ✓ Los puntos de investigación (calicatas) se seleccionarán conforme a la norma CE. 010 de Pavimentos Urbanos, totalizando tres calicatas. La distribución de estas calicatas en el área de estudio y la elección del estrato a muestrear serán definidas según el criterio del investigador.
- ✓ El primer componente que se utilizara en esta investigación es el vidrio de sodocálcico como agente estabilizante para suelos arcillosos. La elección de este material se fundamenta en la composición del vidrio de soda-cal, que incluye principalmente sílice (SiO₂), óxido de sodio (Na₂O), cal (CaO) y otros aditivos comunes en materiales como piedra, cemento, yeso, cerámica y ladrillos. Lo cual confiere al vidrio propiedades similares a las de un árido, permitiendo que se degrade de manera similar a la roca. Además, el vidrio es químicamente inerte, no reaccionando con el suelo, y presenta un ángulo de fricción interna superior al de

los suelos finos, lo que mejora su capacidad para soportar cargas sin deslizarse. Esto puede ayudar a reducir el IP y aumentar el CBR.

- ✓ El segundo componente que se utilizara en esta investigación es la ceniza de carbón como agente estabilizante para suelos arcillosos. La elección de este material se fundamenta en su composición química que incluye principalmente sílice y alumina, que, con la presencia de agua, este reacciona químicamente y obtiene propiedades cementantes, reduciendo la plasticidad y mejorando el CBR
- ✓ Las dosificaciones de vidrio a usar son de 2.5, 3.5 y 4.5%. El criterio para seleccionar estas dosificaciones se basa en el análisis de los antecedentes realizados en esta investigación. Según la literatura de referencia, el uso de dosificaciones variables de vidrio triturado, en promedio entre el 2% y el 10% en peso seco del suelo, ha demostrado mejoras significativas en la resistencia de suelos arcillosos. Los antecedentes consultados sugieren que el contenido óptimo de vidrio triturado se encuentra cerca del 7% en peso seco del suelo. Por lo tanto, se han propuesto tres dosificaciones de vidrio triturado: 2.5%, 3.5% y 4.5%. Esta propuesta se basa en la combinación de dos materiales, suponiendo que el 50% del 7% es el porcentaje óptimo de vidrio triturado, y partiendo de ahí para las demás dosificaciones. A continuación, se presenta un resumen de los antecedentes más relevantes sobre la estabilización de suelos arcillosos utilizando vidrio triturado
 - Según Syed Aaqib Javed y Sudipta Chakraborty [6] : “Efectos del polvo de vidrio usado en la mejora del suelo de subrasante”. Señalan que a más % de polvo de vidrio (2, 4, 6, 8, 10%) pasante por la malla N°200 con tipo de suelo CL; los LL y LP disminuyen continuamente, asimismo el CBR aumenta de 6.7 a 9.7 veces. Se concluye que el porcentaje óptimo de polvo de vidrio residual para mejorar el suelo de subrasante es del 8%
 - Según Zahra Mahdi y Al-Hassnawi [10]: “Evaluación de la mejora del suelo de subrasante mediante polvo de vidrio residual” Señalan que a más % de polvo de vidrio (3, 5, 7, 9%) pasante por la malla N°200, con tipo de suelo CL, los LL y LP decrecen conforme aumenta el polvo de vidrio, asimismo los valores de CBR aumentaron 2.5, 3.3, 5.2 y 9.4 veces respectivamente. Se concluye que el % óptimo de vidrio residual es de 7%.
- ✓ La dosificación de ceniza de carbón a usar es de 10%. Según los antecedentes, el uso de dosificaciones de 20%, ha demostrado mejoras significativas en la resistencia de suelos arcillosos, por lo tanto, se ha propuesto la dosificación de 10%. Esta propuesta se basa en la combinación de materiales, suponiendo que el 50% del 20% es el porcentaje óptimo de

ceniza de carbón. A continuación, se presenta un resumen de los antecedentes más relevantes sobre la estabilización de suelos arcillosos utilizando cenizas de carbón.

- Según Pérez A. y Collantes M [12]: “Estabilización suelos arcillosos con cenizas de carbón como subrasante mejorada” Señalan que el CBR aumento considerablemente de 8.3% a 17.3% adicionándole la ceniza de carbón en proporción de 20% representando un 108.43% con respecto al suelo en estado natural para un suelo arcilloso
- Según Goñas O y Saldaña J [4].” Estabilización de suelos utilizando cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos”. Señalan que el CBR aumento de 2.1 a 4.05% con una dosificación de 20% de ceniza de carbón representando un 92.85% respecto al suelo en estado natural para un suelo arcilloso

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Las metodologías utilizadas en esta investigación incluyen: La recopilación de información, el desarrollo de técnicas de investigación, la observación directa, la investigación experimental (Obtener datos, determinar las propiedades y comportamiento del suelo) y el análisis de contenido (interpretar la información obtenida de fuentes bibliográficas)

Instrumentos de recolección de datos

Son los medios para realizar las técnicas aplicadas en campo para la recolección de datos mediante ficha de registros en base a lo normalizado por el manual de ensayo de materiales del MTC. Asimismo, para las discusiones e interpretaciones de los resultados que se recolectan de los ensayos de laboratorio serán formatos como hojas de cálculo, gráficos, diagramas, etc

Tabla N°12. Instrumentos de recolección de datos (MTC y NTP)

| METODOS | TECNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|-------------------------|
| Se especifica acerca de las calicatas , trincheras y zanjas | MTC E101 - POZOS |
| Metodo de ensayo para el analisis granulometrico por tamizado | MTC E107 - SUELOS |
| Metodo de ensayo para la determinacion del contenido de humedad del suelo | MTC E108 - SUELOS |
| Metodo de ensayo para determinar el limite líquido de suelos | MTC E110 - SUELOS |
| Metodo de ensayo para determinar el limite plastico e indice de plasticidad de suelos | MTC E111 - SUELOS |
| Metodo de ensayo para deteminar la gravedad especifica de los suelos | MTC E113 - SUELOS |
| Metodo para la clasificacion de suelos con propositos de ingenieria (SUCS) | NTP 339.134:1999 SUELOS |
| Metodo de ensayo para la compactacion de suelos en laboratorio utilizando energia modificada | NTP 339.141:1999 SUELOS |
| Metodo de ensayo de CBR (Relacion de soporte de california) de suelos compactados en el laboratorio | NTP 339.145:1999 SUELOS |

Procedimientos

Obtención de las muestras de Suelo

Extracción de Muestras

En el capítulo 3 de la norma CE.010 (Pavimentos Urbanos), dentro de las técnicas de investigación de campo, el inciso 3.2.2 establece que el número de "Puntos de Investigación", también llamados calicatas, dependerá del tipo de vía. Como se detalla en la Tabla N°13, el número mínimo de puntos será de tres (03).

En esta investigación se decidió establecer tres puntos de investigación, teniendo en cuenta que se trata de vías locales, donde se requiere un punto por cada 3,600 m². Dado que el área de la Urb. Nuevo San lorenzo (4ta etapa) es de 140.000 m², el cálculo resultaría en aproximadamente 38,88 puntos de investigación. Sin embargo, por conveniencia, se optó finalmente por realizar tres puntos. La ubicación de estos puntos, tanto dentro como fuera del área de estudio, se definirá según el criterio del investigador. *Es importante señalar que, para los fines de esta investigación, no se requiere cumplir con el número total de puntos indicado por la normativa, sino que se considera suficiente con los puntos necesarios para completar el estudio, ya que lo relevante es confirmar que el suelo es arcilloso y presenta malas propiedades geotécnicas.*

Tabla N°13. Puntos mínimos de investigación

| TIPO DE VÍA | NÚMERO MÍNIMO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN | ÁREA (m ²) |
|-------------|--|------------------------|
| Expresas | 1 cada | 2000 |
| Arteriales | 1 cada | 2400 |
| Colectoras | 1 cada | 3000 |
| Locales | 1 cada | 3600 |

Fuente: NTE CE. 010 pavimentos Urbanos.

Ubicación de Calicatas

Se llevaron a cabo tres calicatas (Ver ilustración N°13). Siguiendo las recomendaciones de la normativa, se inició con la limpieza del terreno, retirando 60 cm de relleno de materia orgánica. Posteriormente, se realizaron las excavaciones, alcanzando una profundidad de 1,5 metros, dicha profundidad se selecciona con el objetivo de capturar las capas más significativas y relevantes del suelo, donde se puedan encontrar características importantes para el análisis.

Ilustración N°13. Ubicación de calicatas en la Urb. Nuevo San Lorenzo (4ta etapa)



Fuente: Elaboración Propia

La primera calicata se ubica en la calle Intihuatana frente al lote 14 Mz D

Ilustración N°14. Extracción de muestra de suelo de calicata N°1



Fuente: Elaboración Propia

La segunda calicata se ubica entre la calle Antenor Orrego y 22 de febrero; donde se pudo encontrar el nivel freático a 1.6m

Ilustración N°15. Extracción de muestra de suelo de calicata N°2



Fuente: Elaboración Propia

La Tercera calicata se ubica entre la calle Puerto Rico y la calle Triunfo. Las tabla N°14 muestra las coordenadas de dichos puntos de excavación

Figura 8: Extracción de muestra de suelo de calicata N°3



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°14. Coordenadas UTM de los puntos de extracción

| UBICACION DE LAS MUESTRAS EXTRAIDAS | | |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|
| CALICATA | COORDENADAS UTM | |
| C-01 | 624715.30 m | 9252343.90 m S |
| C-02 | 624949.60 m | 9252537.40 m S |
| C-03 | 624746.00 m | 9252421.40 m S |

Fuente: Elaboración Propia

Selección de Ladrillera Artesanal para obtener la ceniza de carbón

Según el estudio del MINAM sobre ladrilleras artesanales en Perú, hay aproximadamente 1,700 hornos dedicados a la producción de ladrillos artesanales en el país. Estos hornos producen anualmente unas 53.500 toneladas de ceniza de fondo. Además, el informe indica que en Lambayeque se encuentran 115 ladrilleras artesanales, distribuidas en varios distritos, tal como se detalla a continuación.

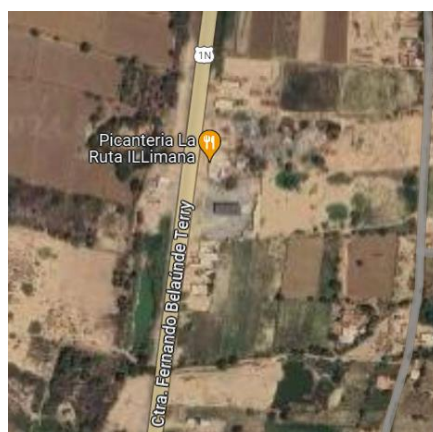
Tabla N°15. Numero de ladrilleras artesanales en el departamento de Lambayeque

| Departamento | Provincia | Distrito | Zona | Empresas |
|--------------|-----------|---------------------|---------------------------------|----------|
| Lambayeque | Chiclayo | Jose Leonardo Ortiz | Carretera Chiclayo-Ferreñafe | 50 |
| Lambayeque | Chiclayo | Chiclayo | Salida de Chiclayo hacia el Sur | 10 |
| Lambayeque | Chiclayo | Monsefu | Monsefu-Caserio Callanca | 25 |
| Lambayeque | Chiclayo | Ferreñafe | Chiclayo - Salida a Ferreñafe | 10 |
| Lambayeque | Chiclayo | Lambayeque | Salida a Lambayeque | 20 |
| Total | | | | 115 |

Fuente: Tabla II - Informe de Praly

Se identificó que tres ladrilleras, ubicadas en Íllimo, Pacora y Lambayeque, utilizan carbón como combustible. En la siguiente ilustración se encuentra la ubicación de la ladrillera existente en Illimo: Latitud; 6°47'48.05"S y Longitud; 79°75'61.38"W

Ilustracion N°16. Ubicación de ladrillera artesanal – Illimo



Fuente: Elaboración Propia

Selección de la ceniza de carbón

Se descartan algunas ladrilleras debido a la utilización de diferentes combustibles, como llantas usadas, plásticos, leña, aserrín, carbón de piedra y petróleo residual. Este estudio se centra

exclusivamente en aquellas ladrilleras que utilizan carbón como su principal fuente de combustible.

Ilustración N°17. Muestra de ceniza obtenida de la ladrillera artesanal Illimo



Selección de Vidrio Reciclado

El vidrio utilizado para esta investigación fue recolectado en la vidriería "NORGLASS EIRL", ubicada en Juan Cuglievan 1249, Chiclayo (ver ilustración N° 18). Este material es producto de los residuos generados durante su proceso de reciclaje. La vidriería produce entre 70 y 90 kg de residuos de vidrio, los cuales son desechados en un botadero cercano, ya que no pueden ser reciclados nuevamente.

El material reciclado utilizado está compuesto por fragmentos de vidrio de diversos colores y espesores, los cuales provienen de la fabricación de ventanas, mamparas, trofeos, entre otros productos. Estos residuos son hechos mayoritariamente de vidrio sodocálcico, también conocido como vidrio de soda-cal, que es el tipo más común. Se eligió este material como estabilizante debido a su alto contenido de sílice.

Ilustración N°18. NORGLASS EIRL, Juan Cuglievan 1249, Chiclayo



Fuente: Elaboración Propia

Procedimiento de trituración de vidrio

Antes del proceso de molienda, se realizó el lavado de los residuos de vidrio con agua a presión para eliminar cualquier impureza que pudiera alterar los resultados de la investigación. Luego, se dejaron secar al sol durante una hora. Es importante destacar que la manipulación de los residuos de vidrio requiere el uso de medidas de seguridad, como guantes de badana, ropa de manga larga, pantalón grueso, mascarilla y guantes de seguridad.

Primera etapa (triturado manual): Después del secado, se procedió a la primera fase del triturado, que consistió en reducir manualmente los residuos de vidrio a tamaños de entre 2 y 3 pulgadas para hacerlos más manejables (Ilustración N°19). Para ello, se utilizaron herramientas como comba y martillo, colocando previamente el material dentro de dos sacos para evitar accidentes. Lo resultante se puede apreciar en la ilustración N°20.

Ilustración N°19. Residuos de vidrio reciclado



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración N°20. Residuos de vidrio reducidos manualmente en tamaños - 2 a 3 pulgadas



Fuente: Elaboración Propia

Segunda etapa (molino artesanal): En esta fase, el vidrio fue triturado inicialmente utilizando un pequeño molino artesanal eléctrico (Ilustración N°21). Este proceso permitió obtener vidrio con un tamaño comparable al de una arena gruesa, similar a la que se usa en la fabricación de concretos. La ilustración N°22 muestra el producto final obtenido tras el proceso de molienda

Ilustracion N°21. Triturado de vidrio usando molino artesanal eléctrico



Fuente: Elaboración Propia

Ilustracion N°22. Vidrio triturado por primera vez con molino artesanal eléctrico



Fuente: Elaboración Propia

Tercera etapa (molienda final y tamizado): El vidrio fue triturado nuevamente en el mismo molino eléctrico, retirando cuidadosamente los pedazos de mayor tamaño. El material resultante tomó una textura similar a la de una arena fina, comparable a la que se utiliza en trabajos de tarrajeo. Finalmente, el vidrio molido fue tamizado a través de la malla N° 50, y el material que pasó por este tamiz fue seleccionado para su uso en la mezcla con el suelo

Ilustracion N°23. Vidrio triturado por segunda vez y tamizado por la malla #50



Fuente: Elaboración Propia

Ensayos en laboratorio

Ensayo Químico de las cenizas de carbón

Análisis Químico

Objetivo: Se realizará con el aparato de Espectrómetro de fluorescencia de Rayos X. (ICP-OES). El objetivo del ensayo es analizar la composición elemental de un material mediante la medición de la radiación X que se genera cuando la muestra está expuesta a rayos X de alta energía

Procedimiento: La muestra se prepara, generalmente en forma de polvo, y se exponen a rayos X de alta energía, provocando la emisión de radiación X. Esta radiación se detecta con un equipo especializado, generando un espectro que, mediante el análisis de sus picos, permite identificar y cuantificar los elementos en la muestra, proporcionando información detallada sobre su composición elemental.

Ensayos De Caracterización de Suelos

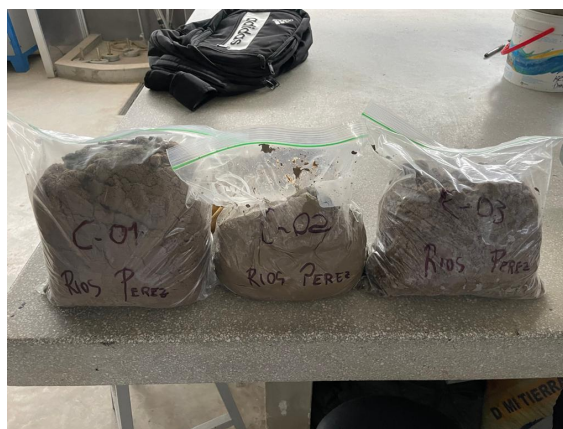
Determinación del Contenido de Humedad de un suelo (MTC E108)

Objetivo: Obtener la cantidad de agua presente en una muestra de suelo natural.

Procedimiento:

Primero: Extraemos una muestra de suelo en estado virgen, colocándolo en bolsas de cierre hermético para que no pierda su humedad natural

Ilustracion N°24. Muestras en bolsas de cierre hermético



Segundo: Se pesa el recipiente y se registra el peso de la tara

Ilustracion N°25. Peso de Tara



Tercero: Se coloca el suelo húmedo en la tara (1000g aproximadamente) y registramos este valor como peso de tara + suelo húmedo

Ilustracion N°26. Peso de Tara + Suelo Húmedo



Cuarto: Se colocan dichas muestras en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24h

Ilustración N°27. Colocación de muestras a horno a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$



Quinto: Tras haber transcurrido el tiempo necesario, se retira del horno el material seco utilizando guantes para garantizar la seguridad. Posteriormente, se deja enfriar a temperatura ambiente, registrando este valor como: "Peso de Tara + Suelo seco".

Ilustración N°28. Peso de Tara + Suelo seco



Sexto: Se realizan los cálculos correspondientes para determinar el porcentaje de contenido de humedad de cada muestra.

Gravedad específica de sólidos de suelo mediante Picnómetro de agua

Objetivo: Medir la densidad de los sólidos del suelo natural en estudio haciendo uso de un picnómetro, siguiendo el procedimiento:

Procedimiento:

Primero se calcula la masa del picnómetro limpio y seco, luego se llena con agua desionizada hasta la marca de referencia para volver a pesarlo. El suelo se tamizó con la malla N°4, obteniendo 50 gramos que se mezclaron con 80 ml de agua y se vertieron en el picnómetro con

un embudo liso. A continuación, se agregó agua hasta un tercio de la profundidad del picnómetro, llevándolo a ebullición para desairar la pasta de suelo. Posteriormente, se pesó el picnómetro con la mezcla hasta la marca de referencia y se midió la temperatura. Finalmente, secó la muestra en un horno para determinar su peso final.

Ilustracion N°29. Ensayo de gravedad específica



Fuente: Elaboración propia

Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado (MTC E107)

Objetivo: Se realiza la determinación de la distribución de tamaños de las partículas en una muestra de suelo

Procedimiento

Primero: Se pesa el recipiente o tara

Ilustracion N°30. Peso de Tara; p/ensayo granulométrico por tamizado



Segundo: Se pesan aproximadamente 400g como muestra representativa de la muestra total obtenida en el ensayo de humedad después de colocarla al horno

Ilustracion N°31. Peso de Suelo Seco previo lav.; p/ensayo gran. por tamizado



Tercero: Las muestras se remojan con agua por 24h, para que se desmenuzcan las partículas

Ilustracion N°32. Reposo de muestra con agua a 24h; p/ensayo gran. por tamizado



Cuarto: Se empieza el lavado de la muestra utilizando la malla o tamiz N°200

Ilustracion N°33. Lavado de muestra por el tamiz N°200; p/ensayo gran. por tamizado



Quinto: Una vez lavada, la muestra se coloca en un recipiente y se introduce en un horno durante 24 horas a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Ilustracion N°34. Colocación de muestra en horno a 24h; p/ensayo gran. por tamizado



Sexto: Tras sacar la muestra del horno, dejamos enfriar adecuadamente para evitar posibles lesiones. Posteriormente registramos el peso como: Peso de Suelo Seco.

Ilustracion N°35. Peso de Suelo Seco después de lavado; p/ensayo gran. por tamizado



Séptimo: Se ordenan las mallas N°3/8, N°4, N°10, N°20, N°40, N°50, N°100, N°200 con el fondo para el inicio del procedimiento de tamizado

Ilustración N°36. Orden de tamices de mayor a menor; p/ensayo gran. por tamizado



Octavo: El proceso de tamizado comienza vaciando la muestra en los tamices, para luego agitarlos con el objetivo de separar y pesar la cantidad de material.

Ilustración N°37. Tamizado de muestra de Suelo Seco; p/ensayo gran. por tamizado



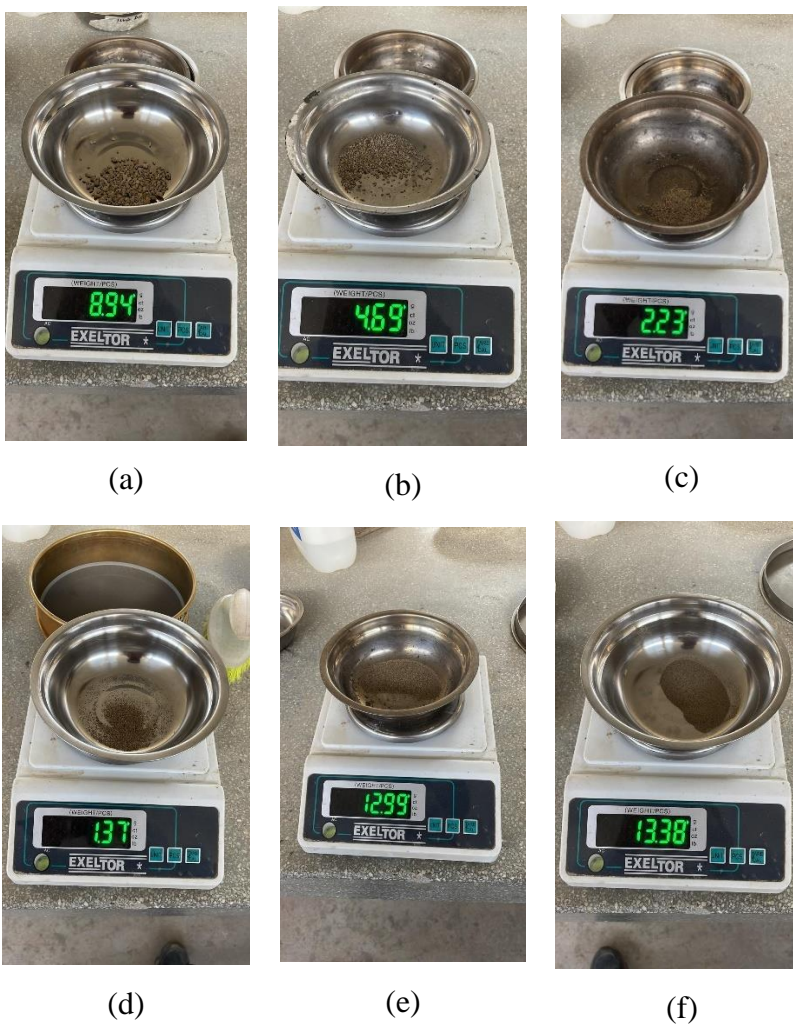
Noveno: Las muestras retenidas en cada tamiz se colocan en recipientes diferentes

Ilustración N°38. Muestras retenidas en cada tamiz; p/ensayo gran. por tamizado



Decimo: Se pesa cada recipiente y se registra el peso, previamente tarado.

Ilustración N°39. Peso de muestras retenida en los tam. N°4,10,20,40,50,100,200





(g)



(h)

Undécimo: Se hacen los cálculos respectivos para hallar la distribución de tamaños respectivos y así poder clasificar el suelo

Determinación del Limite Liquido (LL) (MTC E-110) y Limite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (I.P.) (MTC E-111)

Objetivo: Medir los límites de humedad y así conocer e identificar la plasticidad de los suelos para su posterior clasificación.

Limite Liquido (LL)

Primero: Se procede a triturar una cantidad adecuada de suelo previamente secado al aire, utilizando una muestra de 5 kg que fue expuesta al aire una semana antes.

Ilustracion N°40. Trituración de suelo, p/ ensayo de Limite Liquido



Segundo: La muestra se tamiza utilizando la malla N°40, y se selecciona el material que pasa por dicho tamiz para obtener una cantidad representativa de aproximadamente 250 ± 10 g del material tamizado.

Ilustracion N°41. Proceso de tamizado por el tamiz N°40, p/ ensayo de Limite Liquido



Tercero: Se coloca 250 g de suelo en un recipiente, se añade una pequeña cantidad de agua destilada y se mezcla con cuidado hasta que el suelo adquiera un color uniforme.

Ilustracion N°42. Combinación de agua dest. con suelo



Cuarto: Dejar reposar esta mezcla por 24h para que se uniformice

Ilustracion N°43. Reposo de mezcla por 24h, p/ ensayo de Limite Liquido



Quinto: Se debe comprobar que la altura de cuchara de Casagrande este ajustada con precisión a 1 cm ($\pm 0,1$ mm).

Ilustracion N°44. Verificacion de altura de 1cm, p/ ensayo de Limite Liquido



Sexto: Se utiliza una espátula para nivelar la superficie de la pasta de suelo, asegurando que quede uniformemente distribuida.

Ilustracion N°45. Emparejamiento de la pasta, p/ ensayo de Limite Liquido



Séptimo: Utilizando la herramienta ranuradora, se realiza un corte claro y recto en la masa de suelo, dividiéndola en dos partes iguales.

Ilustracion N°46. Separación de masa con ranuradora, p/ ensayo de Limite Liquido



Octavo: Una vez realizada la ranura, se debe colocar rápidamente la cazuela de nuevo en su lugar en el aparato y proceder a contar el número de golpes, entre 20 y 25.

Ilustracion N°47. Conteo de golpes, p/ ensayo de Limite Liquido



Noveno: Se debe tomar una muestra de la zona donde la ranura se cerró para medir el contenido de humedad. Esta muestra se coloca en un recipiente previamente pesado, asegurando que el recipiente haya sido pesado con anticipación

Ilustracion N°48. Colocación de muestra en recipiente donde cerró la ranura



Ilustracion N°49. Muestra para medir el contenido de humedad, p/ ensayo de Lim. Liq.



Decimo: Se deben pesar las tres muestras de humedad obtenidas en los distintos ensayos, retirar las tapas de los recipientes y colocarlas en un horno a 110°C para que se sequen durante la noche.

Undécimo: Se debe repetir el procedimiento para dos ensayos adicionales, asegurando que el número de golpes esté entre 15 y 20 en uno, y entre 10 y 15 en el otro, completando así un total de tres determinantes.

Limite Plástico (LP)

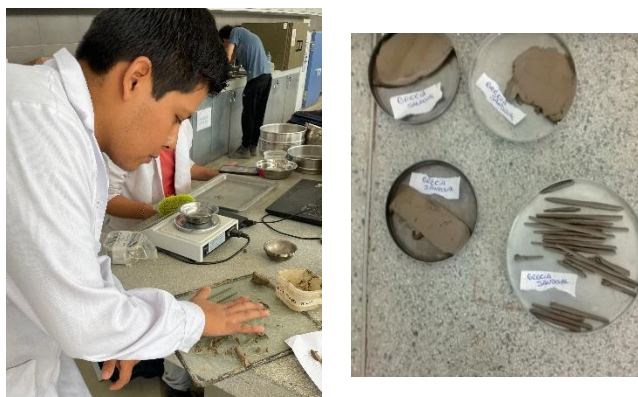
Primero: Con la muestra usada en el ensayo de LL, se toma una muestra de 20 g a 30 g aprox.

Ilustracion N°50. Muestra repr. del ensayo del límite líquido



Segundo: El suelo se enrolla con la mano sobre una superficie lisa, que puede ser una placa de vidrio o un pedazo de papel, aplicando la presión necesaria para formar un cilindro o hilo con un diámetro uniforme. Cuando el cilindro alcanza un diámetro de 3 mm, se rompe en pequeños trozos. Esta operación se realiza de forma repetitiva hasta obtener la cantidad suficiente de fragmentos para llenar un recipiente de humedad.

Ilustracion N°51. Moldeado para obtener cilindros de 3mm, p/ ensayo de Limite Plástico



Tercero: Se pesan las muestras y se registra como: Peso de Tara + Suelo Húmedo. Previamente se ha tenido que pesar la Tara para cada muestra. Posteriormente se coloca dentro del horno

Ilustracion N°52. Muestras puestas al horno por 24h, p/ ensayo de Limite Plástico



Ensayo Mecánicos

Proctor Modificado (MTC E-115)

Materiales

- Molde de compactación: Los moldes deben ser cilíndricos, de paredes sólidas y fabricados en metal, cumpliendo con las dimensiones y capacidades indicadas más adelante. Deben contar con un collar ajustable de aproximadamente 60 mm (2 3/8") de altura, que permita preparar muestras compactadas de mezclas de suelo con agua, alcanzando la altura y el volumen requeridos. Tanto el molde como el collar deben estar diseñados para ajustarse fácilmente a una placa del mismo material.
- Martillo de compactación: Se utiliza un martillo metálico con una cara plana y circular de 50.8 ± 0.127 mm (2 ± 0.005 ") de diámetro y un peso de 5.54 kg (10 lb). El martillo debe contar con una guía adecuada para controlar la caída libre desde una altura de 45 cm.

Procedimiento:

- Se seleccionan 4 especímenes de suelo, cada uno con un peso de 3000g, estas muestras se obtuvieron de una muestra más grande y se secaron para eliminar cualquier humedad presente, luego se disgregaron con la máquina de los ángeles y se pasaron a través del tamiz N°4

Ilustracion N°53. Muestra que pasa por el Tamiz N°4 y peso de 3000g



- Se determina la masa y el volumen del molde de 4", que se utilizara para la compactación de las muestras

Ilustración N°54. Peso, medición con vernier de diámetro y altura de molde



- Se coloca una primera capa de suelo dentro del molde y se compacta aplicando 25 golpes con un martillo normalizado. Este proceso se repite para cada una de las 5 capas restantes y la última se dejó sobresaliendo el molde para poder enrasarla

Ilustración N°55. Compactación de capas con martillo de 4.5kg



- Después de la compactación, se enrasa y posteriormente se calcula la masa del espécimen compactado utilizando una balanza de precisión

Ilustración N°56. Enrasado y determinación del peso de suelo compactado



- Se selecciona una porción de la muestra compactada con el fin de determinar su contenido de humedad inicial.

Ilustración N°57. Determinación de contenido de humedad inicial



- Por último, se llevó al horno cada porción de los 4 puntos compactados en total para obtener su porcentaje de muestra seca, con estos datos ya podremos obtener nuestra curva de máxima densidad seca vs óptimo contenido de humedad

CBR (Relación de soporte de California) (MTC E-132)

Objetivo: Evaluar la resistencia al corte del suelo con el objetivo de determinar su capacidad de soporte relativa, considerando condiciones específicas de compactación y contenido de humedad.

Procedimiento:

- Se pesaron 5000 gramos de suelo para cada serie de golpes (56, 25 y 12 golpes), acumulando un total de 15000 gramos. De esta manera, se obtuvieron tres puntos con

diferentes niveles de energía de compactación. El procedimiento se realizó utilizando los datos obtenidos del ensayo Proctor modificado, método A, y asegurando que el suelo utilizado pasara a través de la malla N°4

- Se incorporó la cantidad de agua necesaria para alcanzar el nivel de humedad óptimo anterior

Ilustración N°58. Proporción de agua añadida obtenida del ensayo de Proctor Mod.



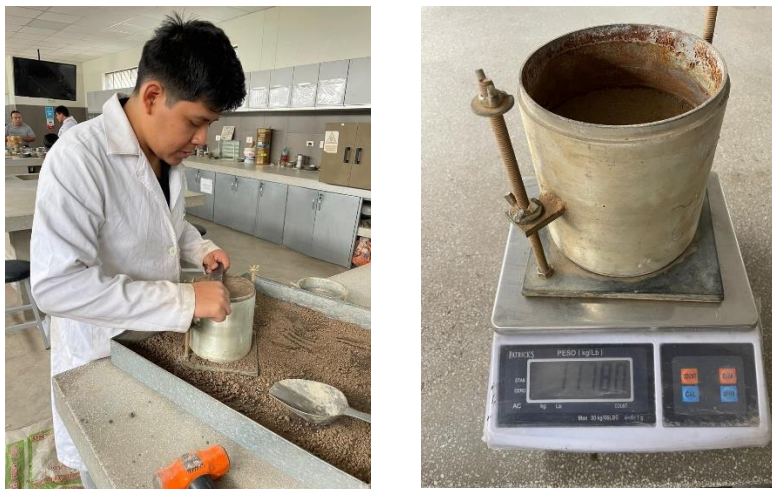
- Se preparó el molde para comenzar el proceso de compactación del suelo. Primero, se registra el peso del molde y luego se colocó el collar y el disco espaciador en la base.

Ilustración N°59. Preparación para el proceso de compactación



- Se tomó una muestra del suelo húmedo tanto antes como después de sumergir el espécimen. Al finalizar el proceso de compactación, se retiró el collar, se niveló la superficie del suelo, se desarmó el molde y se montó en posición invertida. A continuación, se colocó un nuevo papel filtro entre la base y el molde, y luego se procedió a pesar del conjunto.

Ilustración N°60. Enrasado, desarticulación de molde para colocación de papel filtro y determinación de peso



- Para la inmersión del espécimen, se colocaron los anillos necesarios para aplicar una sobrecarga aproximada de 2,27 kg.

Ilustración N°61. Colocación de anillos para alcanzar la sobrecarga de 2.27kg



- Se realizó la primera lectura con el dial para medir el hinchamiento, registrando tanto la fecha como la hora. A continuación, se sumergió el molde con la sobrecarga durante un período de 4 días, realizando lecturas cada 24 horas.

Ilustración N°62. Inmersión de moldes cada 24h p/ 4días y medición de Hinchamiento



- Tras el tiempo de escurrido de 15 min, se registró el peso del molde y se procedió a realizar el ensayo de penetración. Para esta prueba, se aplicó una carga mínima de 4,54 kg para contrarrestar la presión ascendente del suelo. Luego, se instaló el dial para medir la penetración y se colocó un peso de 5 kg para asegurar el asentamiento del pistón. A continuación, se aplicó la carga al pistón de penetración a una velocidad de 1,27 mm por minuto, registrando las lecturas correspondientes.

Ilustración N°63. Medición de penetración a una velocidad de 1.27mm p/min



- Finalmente, se desmontó el molde y se extrajo una muestra de la parte superior del suelo para proceder a determinar su contenido de humedad

Resultados y Discusión

Resultados

(1) Determinar la composición química de las cenizas de carbón

El análisis de la composición química de las cenizas de carbón, extraídas de la ladrillera L&M-Illimo, situada en la carretera Fernando Belaunde Terry, fue realizado por el laboratorio RIVEL-B, ubicado en la Av. Bobadilla N°524, Urb. Monserrate, Trujillo, mediante un ensayo de fluorescencia de rayos X.

Tabla N°16. Composición química de las Cenizas de Carbón

| DETERMINACIONES | UNIDADES | RESULTADOS CZ-C1 |
|--|----------|---------------------|
| SiO ₂ | % | 55.20 |
| Al ₂ O ₃ | % | 15.10 |
| Fe ₂ O ₃ | % | 7.53 |
| CaO | % | 10.07 |
| MgO | % | 3.28 |
| SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ | — | 77.83 |

Fuente: Laboratorio RIVEL-B

En la tabla N°16 se presentan los principales elementos químicos encontrados en la composición de las cenizas de carbón, destacando que el componente con mayor porcentaje es el dióxido de sílice (SiO₂) con un 55.2%, seguido por el trióxido de dialuminio (Al₂O₃) con un 15,1% y el trióxido de dihierro (Fe₂O₃) con un 7,53%.

(2) Comparar las características físicas del suelo arcilloso en estado virgen y adiciones variables de vidrio molido con ceniza de carbón mediante ensayos de laboratorio del MTC

a) Contenido de Humedad del Suelo natural

Después de llevar a cabo tres calicatas en el área de estudio, se recogieron muestras de suelo, cada una de 250 gramos, que fueron llevadas de inmediato al laboratorio para analizar su contenido de humedad. El nivel freático se encontró entre 1,20 y 1,50 m y las muestras fueron obtenidas a una profundidad de 50 cm. Los resultados mostraron que el suelo tenía un contenido de humedad de 14.35%, 15.81% y 17.61% para las calicatas N° 01, 02 y 03, respectivamente, con un promedio de 15.92%

Tabla N°17. Resultados en % del ensayo de contenido de humedad de suelo natural

| CALICATA N° | C-01 | C-02 | C-03 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| MUESTRA | M-1 | M-1 | M-1 |
| W. TARA | 70.91 | 69.84 | 71.23 |
| W. TARA + S.H | 1102.42 | 1059.41 | 1148.47 |
| W. TARA + S.S | 972.96 | 924.29 | 987.21 |
| HUMEDAD NATURAL | 14.35 | 15.81 | 17.61 |

Fuente: Elaboración propia

Este ensayo no aplica para la mezcla de suelo arcilloso – vidrio triturado – ceniza de carbón, ya que las proporciones se determinan en función de su peso seco. Debido a que cualquier alteración del suelo impacta su contenido de agua natural, este ensayo se llevó a cabo con el suelo en su estado original.

b) Gravedad específica ASTM D-854

La tabla N°18 presenta los resultados del ensayo de gravedad específica de los sólidos, los cuales pueden emplearse para calcular el grado de saturación o la relación de vacíos.

Tabla N°18. Resultados de ensayo de gravedad específica

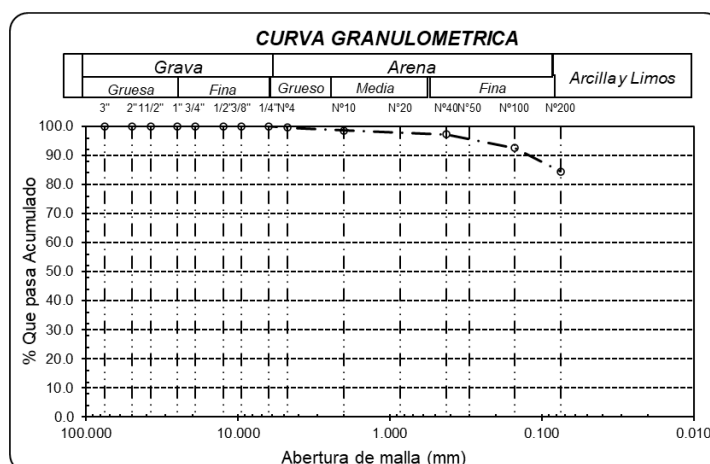
| | C-01 | C-02 | C-03 |
|---|-------------------------|-------|-------|
| 1. N° de fiola | F-2 | F-3 | F-1 |
| 2. Peso de la fiola | g 89.7 | 89.7 | 89.7 |
| 3. Peso de la muestra de suelo seco | g 50.0 | 50.0 | 50.0 |
| 4. Peso de la muestra de suelo seco + peso de la fiol (2+3) | g 139.7 | 139.7 | 139.7 |
| 5. Peso de la muestra + Fiola + agua | g 369.4 | 368.5 | 369.4 |
| 6. Peso de la fiola + peso de agua | g 338.9 | 336.9 | 336.8 |
| 7. Peso específico relativo de sólidos (Gs) $(3)/((3+6)-5)$ | g/cm ³ 2.572 | 2.717 | 2.874 |

c) Análisis granulométrico por tamizado MTC-E107

Se realizó el análisis granulométrico por tamizado de la fracción gruesa del suelo tanto en su estado natural de las tres (3) calicatas.

El grafico N°01 muestra la distribución de tamaños de la calicata C-01 en estado natural

Grafico N°3. Granulometría de suelo natural C-03



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en la tabla N°19 se muestra la calicata C-01 tiene 1% de gravas, 46.33% de arena y 52.67% de limo y arcillas; la calicata C-02 presenta 0.4% de gravas, 44.71% de arena y 54.89% de limo y arcillas; y la calicata C-03 muestra 1% de gravas, 47.16% de arena y 51.84% de limo y arcillas

Tabla N°19. Distribución granulométrica de las 3 muestras (Natural)

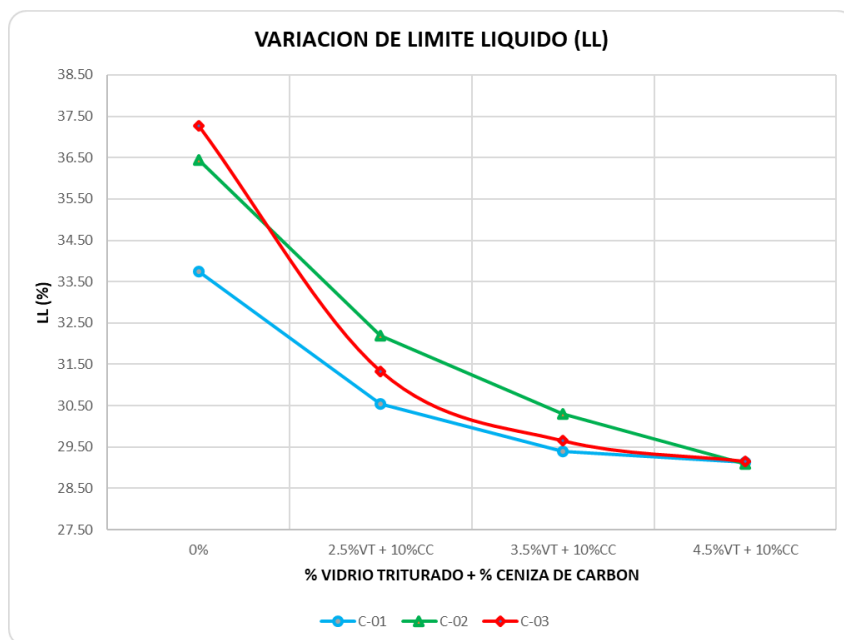
| CALICATA N° | C-01 | C-02 | C-03 |
|--------------------------|-------|-------|-------|
| % GRAVAS | 1 | 0.4 | 1 |
| % ARENA | 46.33 | 44.71 | 47.16 |
| % LIMO Y ARCILLAS | 52.67 | 54.89 | 51.84 |

Fuente: Elaboración propia

d) Límites de Atterberg: MTC E-110 y E-111

En el gráfico N°4 se observa que el LL de las calicatas C-1, C-2 y C-3 disminuye de forma gradual conforme aumenta el porcentaje de vidrio con ceniza de carbón, con la mayor reducción al 4.5% VT + 10% CC. Esto se debe a que el vidrio actúa como una "arena", disminuyendo las propiedades cohesivas del suelo arcilloso. Esta disminución es favorable, ya que el suelo necesita menos agua para cambiar de estado plástico a líquido., lo que mejora su estabilidad y reduce los problemas relacionados con la humedad.

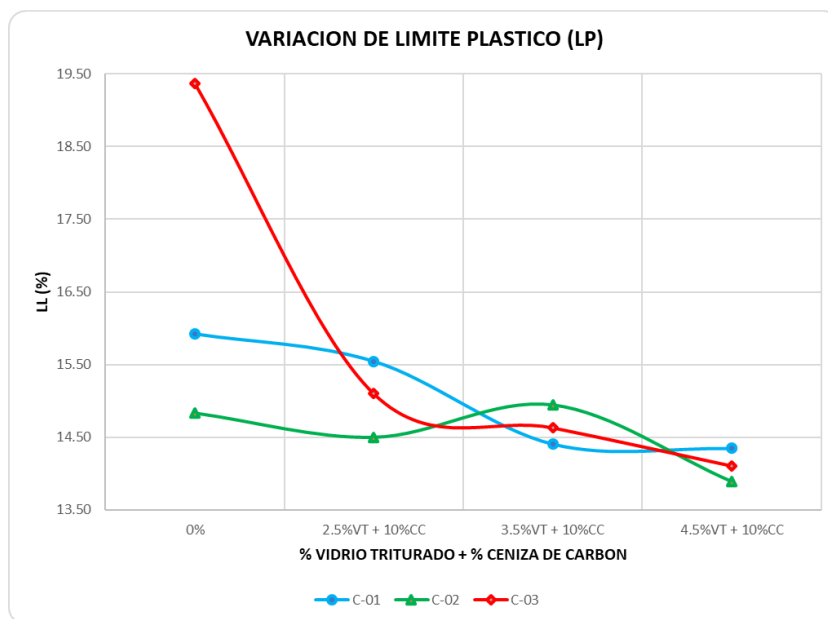
Grafico N°4. Variación del LL de las 3 calicatas y sus combinaciones



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°5 muestra cómo varía el LP en las calicatas C-1, C-2 y C-3 con diferentes porcentajes de vidrio triturado y ceniza de carbón. En la calicata C-1, se observa que a partir del 3.5% VT + 10% CC, la disminución del límite plástico es más gradual. En la calicata C-2, el límite plástico aumenta con un 3.5% VT + 10% CC, pero luego disminuye significativamente. En la calicata C-3, el límite plástico se reduce notablemente al añadir vidrio y ceniza de carbón, y después de esa adición, la disminución es más lenta. En general, el límite plástico tiende a disminuir con el aumento de este suelo adicionado, lo que significa que el suelo se vuelve menos moldeable y más quebradizo, mejorando su capacidad de carga y reduciendo la deformación bajo presión.

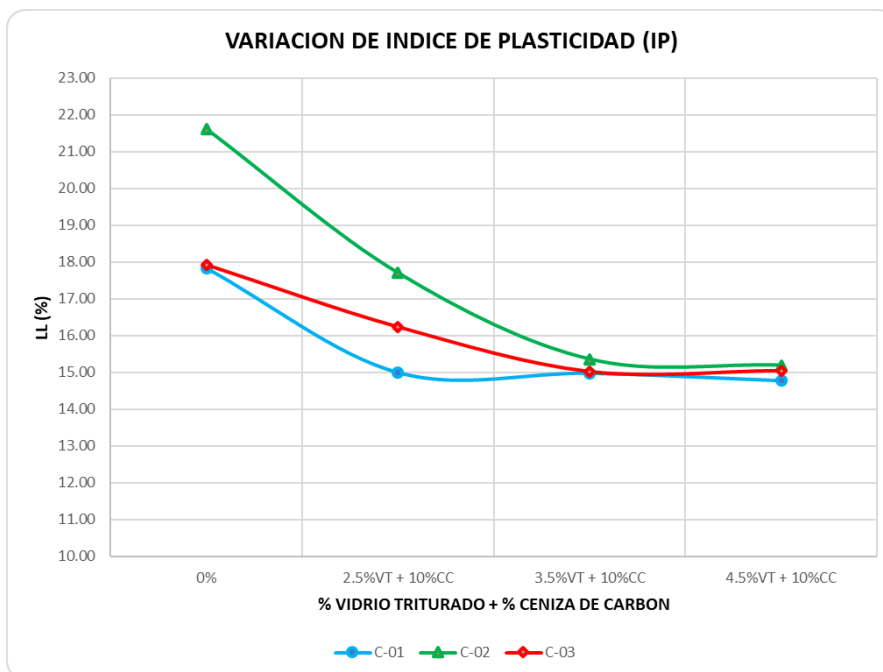
Grafico N°5. Variación de LP de las 3 calicatas y sus combinaciones



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°6 muestra la variación del IP en las calicatas C-1, C-2 y C-3 con diferentes dosificaciones de vidrio triturado y ceniza de carbón. En las calicatas C-1 y C-2, el índice de plasticidad disminuye al añadir estos aditivos. En la calicata C-3, el índice desciende progresivamente hasta el 3.5% VT + 10% CC, donde se estabiliza. En general, el IP disminuye en todas las calicatas, lo que indica que el suelo se vuelve menos plástico.

Grafico N°6. Variación del IP de las 3 calicatas y sus combinaciones



Fuente: Elaboración propia

En las tablas N°20, N°21 y N°22 se observa los resultados del LL, LP e IP de las tres calicatas con sus combinaciones

Tabla N°20. Resultados de Limites de Atterberg de la Calicata C-01

| CALICATA N°1 | Natural | 2.5%VT + 10%CC | 3.5%VT + 10%CC | 4.5%VT + 10%CC |
|--------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|
| LIM. LIQUIDO (%) | 33.75 | 30.54 | 29.39 | 29.13 |
| LIM. PLASTICO (%) | 15.92 | 15.54 | 14.41 | 14.35 |
| IND. DE PLAST. (%) | 17.83 | 14.99 | 14.98 | 14.78 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°21. Resultados de Limites de Atterberg de la Calicata C-02

| CALICATA N°2 | Natural | 2.5%VT + 10%CC | 3.5%VT + 10%CC | 4.5%VT + 10%CC |
|--------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|
| LIM. LIQUIDO (%) | 36.44 | 32.20 | 30.31 | 29.08 |
| LIM. PLASTICO (%) | 14.84 | 14.50 | 14.95 | 13.89 |
| IND. DE PLAST. (%) | 21.60 | 17.70 | 15.36 | 15.20 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°22. Resultados de Limites de Atterberg de la Calicata C-03

| CALICATA N°3 | Natural | 2.5%VT + 10%CC | 3.5%VT + 10%CC | 4.5%VT + 10%CC |
|--------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|
| LIM. LIQUIDO (%) | 37.27 | 31.33 | 29.65 | 29.15 |
| LIM. PLASTICO (%) | 19.36 | 15.10 | 14.63 | 14.11 |
| IND. DE PLAST. (%) | 17.91 | 16.23 | 15.02 | 15.04 |

Fuente: Elaboración propia

e) Clasificación de suelos mediante el Sistema SUCS y AASHTO

En la tabla N°23 se describe detalladamente la clasificación de muestras ejecutadas en las C-01, C-02, C-03 donde señala que todas las muestras se clasifican como arcilla arenosa de baja plasticidad según SUCS, y según AASHTO se clasifica como MALO.

Tabla N°23. Clasificación SUCS y AASHTO

| CALICAT A N° | SUCS | | AASHTO | |
|-----------------|---|---------|---------------|----------|
| | Clasificación | Simbolo | Clasificación | Grupo |
| C-01 | Arcilla arenosa de baja plasticidad | CL | MALO | A-6 (6) |
| C-02 | Arcilla arenosa de baja plasticidad | CL | MALO | A-6 (8) |
| C-03 | Arcilla de baja plasticidad con arena | CL | MALO | A-6 (11) |

Fuente: Elaboración propia

(3) Comparar las características mecánicas del suelo arcilloso en estado virgen y adiciones variables de vidrio molido con ceniza de carbón mediante ensayos de laboratorio del MTC

f) Proctor modificado

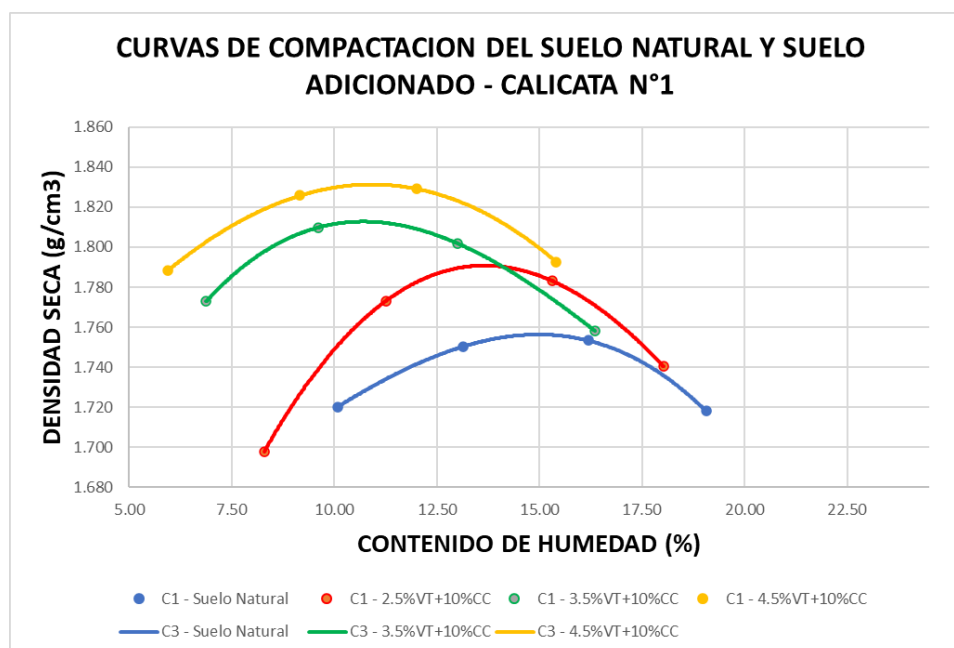
Los resultados obtenidos para la calicata N°1, son presentados en la Tabla N°24 y el Gráfico N°7, demuestran que la adición de vidrio triturado y ceniza de carbón incrementa la MDS, alcanzando valores de hasta 1.831 g/cm³ con la adición de 4.5% VT + 10% CC, en comparación con los 1.756 g/cm³ del suelo natural. Asimismo, se aprecia una disminución del OCH, pasando de 14.994% en el suelo natural a 10.920% con la adición máxima de suelo adicionado

Tabla N°24. Resultados del ensayo de Proctor modificado C-01

| PROCTOR MODIFICADO - CALICATA N°1 | | | | |
|---|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Suelo | NATURAL | N+2.5%VT +10%CC | N+3.5%VT +10%CC | N+4.5%VT +10%CC |
| Maxima Densidad seca (g/cm ³) | 1.756 | 1.791 | 1.813 | 1.831 |
| Optimo Contenido de Humedad (%) | 14.994 | 13.617 | 10.748 | 10.920 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°7. Curva de PM de la C-01



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos para la calicata N°2, expuestos en la Tabla N°25 y el Gráfico N°8, revelan que la adición de vidrio triturado y ceniza de carbón incrementa la máxima densidad seca (MDS) del suelo, alcanzando un máximo de 1.785 g/cm³ con 4.5% VT + 10% CC, en

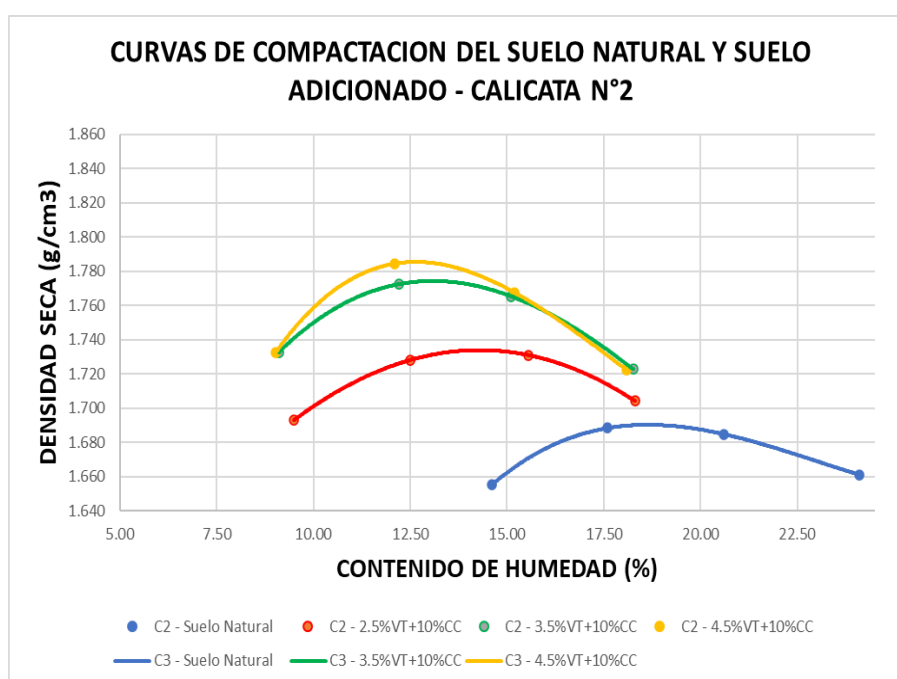
comparación con los 1.690 g/cm³ de suelo natural. Asimismo, OCH disminuye de 18.670% en el suelo natural a 12.622% con la máxima adición de aditivos

Tabla N°25. Resultados del ensayo de Proctor modificado C-02

| PROCTOR MODIFICADO - CALICATA N°2 | | | | |
|--|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Suelo | NATURAL | N+2.5%VT +10%CC | N+3.5%VT +10%CC | N+4.5%VT +10%CC |
| Maxima Densidad seca (g/cm³) | 1.690 | 1.734 | 1.774 | 1.785 |
| Optimo Contenido de Humedad (%) | 18.670 | 14.316 | 13.037 | 12.622 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°8. Curva de PM de la C-02



Fuente: Elaboración propia

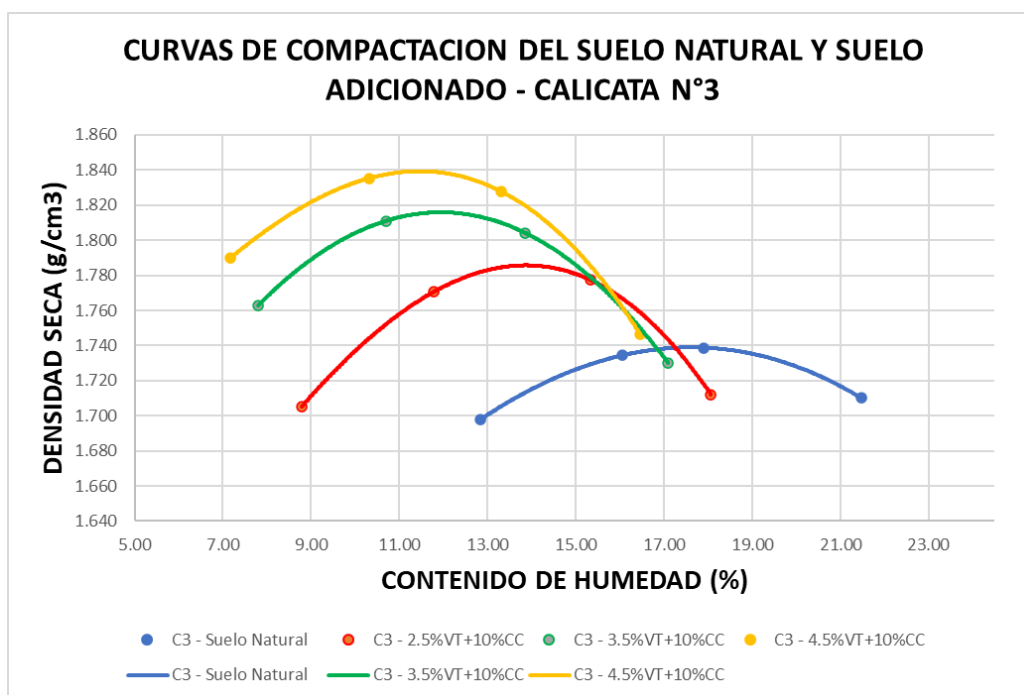
Los resultados obtenidos para la calicata N°3, presentados en la Tabla N°26 y el Gráfico N°9, muestran un incremento en la MDS del suelo con la adición de vidrio triturado y ceniza de carbón. La MDS aumenta de 1.739 g/cm³ en el suelo natural a 1.839 g/cm³ con la mezcla de 4.5% VT + 10% CC. Además, el OCH disminuye de 17.577% en el suelo natural a 11.462% con la misma adición.

Tabla N°26. Resultados del ensayo de Proctor modificado C-03

| PROCTOR MODIFICADO - CALICATA N°3 | | | | |
|---|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Suelo | NATURAL | N+2.5%VT +10%CC | N+3.5%VT +10%CC | N+4.5%VT +10%CC |
| Maxima Densidad seca (g/cm ³) | 1.739 | 1.786 | 1.816 | 1.839 |
| Optimo Contenido de Humedad (%) | 17.577 | 13.861 | 11.892 | 11.462 |

Fuente: Elaboración propia

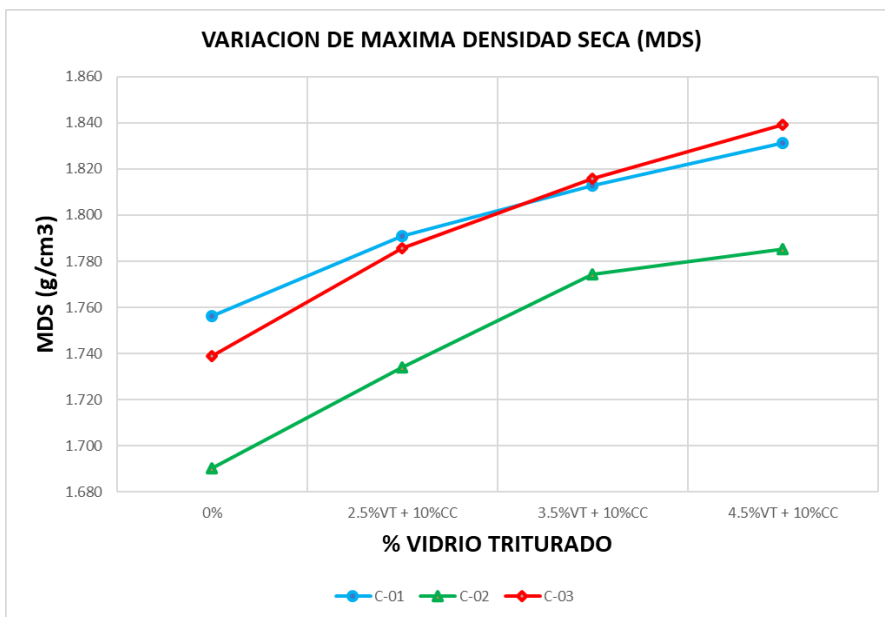
Gráfico N°9. Curva de PM de la C-03



Fuente: Elaboración propia

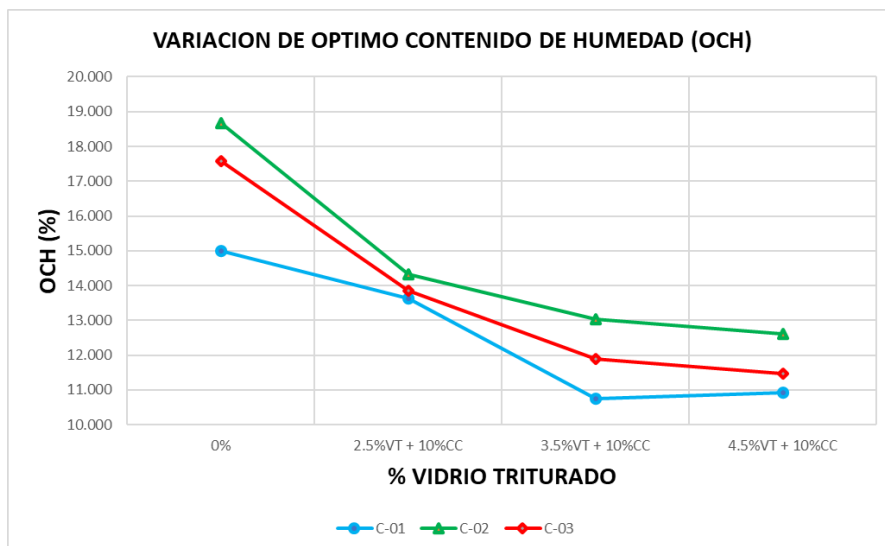
Los gráficos N°10 y N°11 muestran que la adición de vidrio triturado y ceniza de carbón en las calicatas C-01, C-02 y C-03 produce una tendencia de incremento en la MDS y una disminución en el OCH respectivamente. A medida que aumenta el porcentaje de vidrio-ceniza de carbón, MDS incrementa de manera consistente, lo que sugiere una mejor compactación del suelo. Al mismo tiempo, grafica de OCH muestran una reducción progresiva, lo que indica que el suelo requiere menos humedad para alcanzar su máxima compactación.

Grafico N°10. Variación de la MDS del suelo natural respecto a las adiciones de contenido de vidrio con ceniza de carbón



Fuente: Elaboración propia

Grafico N°11. Variación del OCH del suelo natural respecto a las adiciones de contenido de vidrio con ceniza de carbón



Fuente: Elaboración propia

g) CBR (California Bearing Ratio) MTC-E132

Los resultados muestran los valores del CBR. En la calicata C-01, los valores de CBR al 95% en estado natural fueron 3.09% y 3.94% para penetraciones de 2.54 cm y 5.08 cm. Con 2,5% VT y 10% CC, los valores subieron a 4,53% y 5,69%. Al agregar 3.5% VT y 10% CC, aumentaron a 5.95% y 7.38%. La mayor capacidad se logró con 4,5% VT y 10% CC, con un CBR de 7,45% y 9,13%.

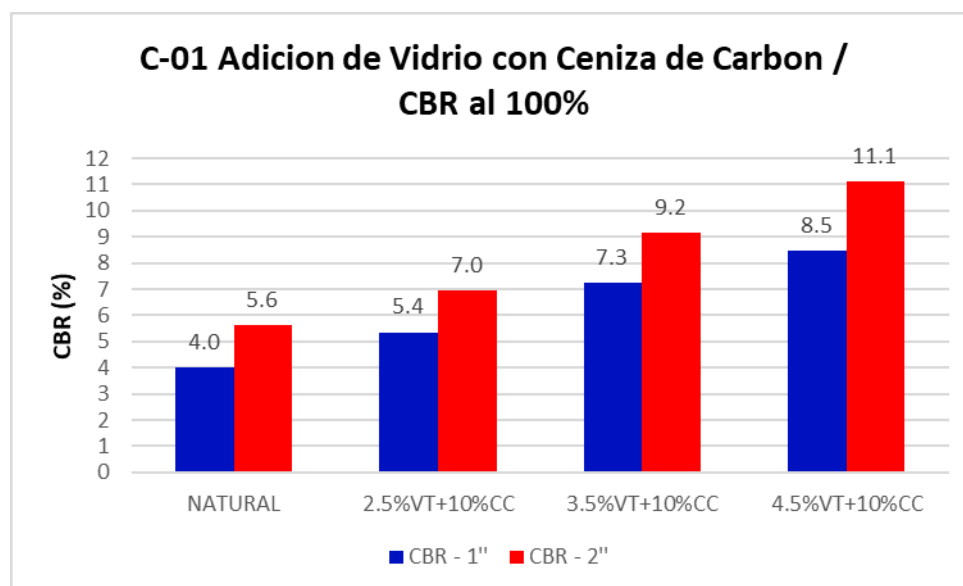
Tabla N°27. Variación del CBR de la C-01 al 100% y 95% con penetraciones de 1 y 2 pulg.

| Descripcion | CBR - CALICATA N°1 | | | |
|--------------|--------------------|--------|-------------|--------|
| | CBR al 100 % | | CBR al 95% | |
| | Penetracion | | Penetracion | |
| | 2.54cm | 5.08cm | 2.54cm | 5.08cm |
| NATURAL | 3.990 | 5.640 | 3.093 | 3.940 |
| 2.5%VT+10%CC | 5.355 | 6.963 | 4.533 | 5.688 |
| 3.5%VT+10%CC | 7.253 | 9.163 | 5.950 | 7.378 |
| 4.5%VT+10%CC | 8.453 | 11.118 | 7.450 | 9.125 |

Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°12 presenta la variación del valor del CBR al 100% para 1 y 2 pulgadas de penetración en la calicata C-1 con adiciones de 2.5%VT+10%CC%, 3.5%VT+10%CC% y 4.5%VT+10%CC%

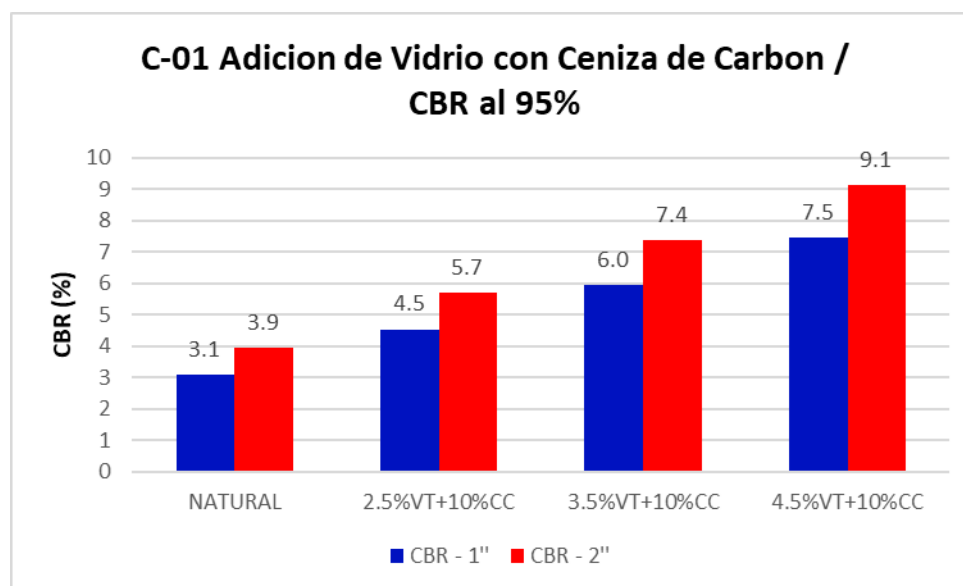
Gráfico N°12. Variación del CBR de la C-01 al 100% con penetraciones de 1 y 2 pulg.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°13 presenta la variación del valor del CBR al 95% para 1 y 2 pulgadas de penetración en la calicata C-1 con adiciones de 2.5%VT+10%CC%, 3.5%VT+10%CC% y 4.5%VT+10%CC%

Grafico N°13. Variación del CBR de la C-01 al 95% con penetraciones de 1 y 2 pulg.



Fuente: Elaboración propia

Según la tabla N°28, los valores de CBR al 95% en la calicata C-02 en estado natural fueron 3.14% y 3.91% para penetraciones de 2.54 cm y 5.08 cm. Con 2,5% VT y 10% CC, aumentaron un 4,21% y 6.32%. Con 3,5% VT y 10% CC, subieron a 5.64% y 7.33%. La mayor capacidad portante se logró con 4.5% VT y 10% CC, alcanzando 7.6.67% y 8.76%.

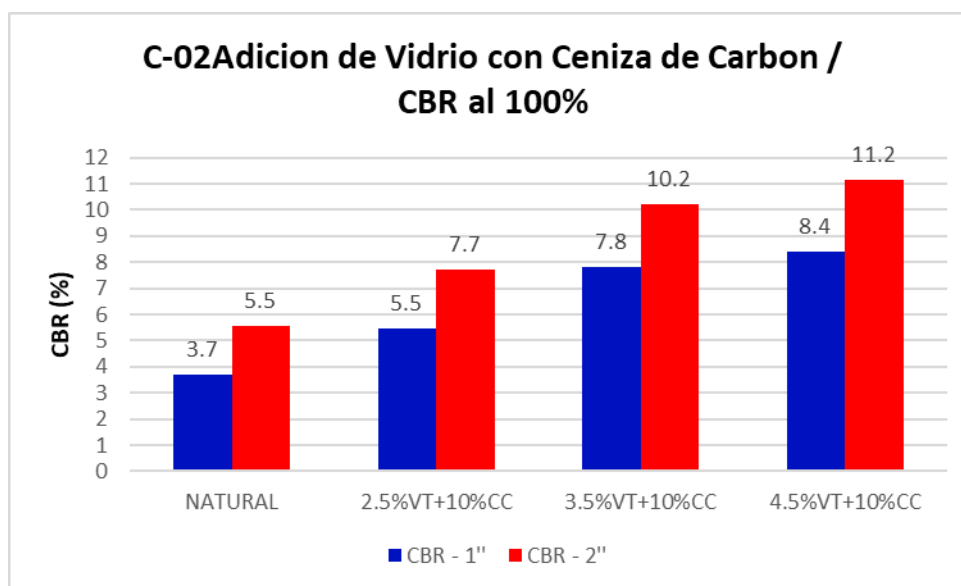
Tabla N°28. Variación del CBR de la C-02 al 100% y 95% con penetraciones de 1 y 2 pulg.

| Descripción | CBR - CALICATA N°2 | | | |
|--------------|--------------------|--------|-------------|--------|
| | CBR al 100 % | | CBR al 95% | |
| | Penetración | | Penetración | |
| | 2.54cm | 5.08cm | 2.54cm | 5.08cm |
| NATURAL | 3.703 | 5.538 | 3.135 | 3.903 |
| 2.5%VT+10%CC | 5.465 | 7.695 | 4.208 | 6.320 |
| 3.5%VT+10%CC | 7.818 | 10.230 | 5.638 | 7.323 |
| 4.5%VT+10%CC | 8.385 | 11.155 | 6.670 | 8.760 |

Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°14 presenta la variación del valor del CBR al 100% para 1 y 2 pulgadas de penetración en la calicata C-2 con adiciones de 2.5%VT+10%CC%, 3.5%VT+10%CC% y 4.5%VT+10%CC%

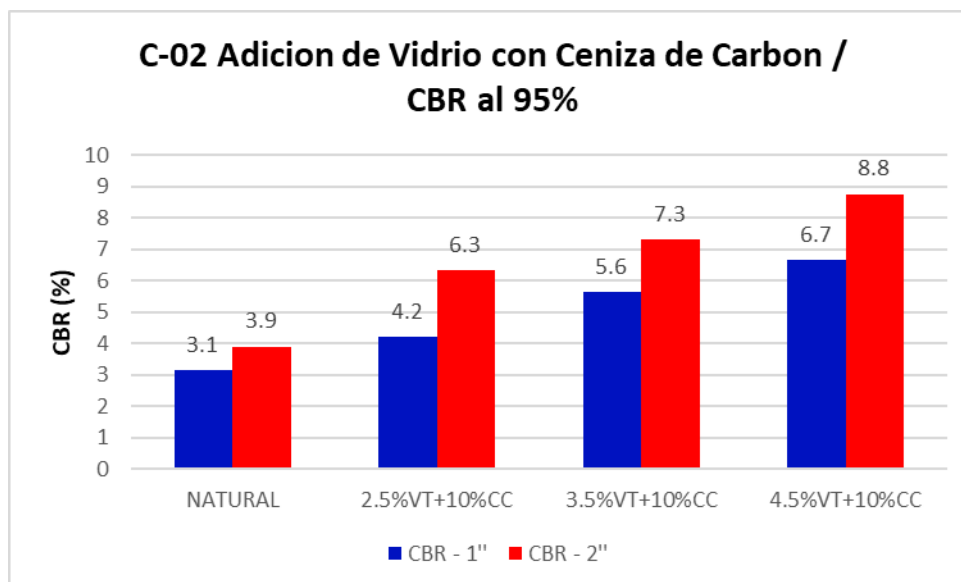
Grafico N°14. Variación del CBR de la C-02 al 100% con penetraciones de 1 y 2 pulg.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°15 presenta la variación del valor del CBR al 95% para 1 y 2 pulgadas de penetración en la calicata C-2 con adiciones de 2.5%VT+10%CC%, 3.5%VT+10%CC% y 4.5%VT+10%CC%

Grafico N°15. Variación del CBR de la C-02 al 95% con penetraciones de 1 y 2 pulg.



Fuente: Elaboración propia

La tabla N°29 los valores de CBR al 95% de la calicata C-03 en estado natural fueron de 3.33% y 4.87% para penetraciones de 2,54 cm y 5,08 cm, respectivamente. Con la incorporación de 2.5% VT y 10% CC, los valores aumentaron a 3.83% y 5.18%, mostrando una mejora considerable. Al incrementar a 3.5% VT y 10% CC, los valores de CBR subieron aún más a

5.39% y 7.76%. Finalmente, la mayor capacidad portante se alcanzó con la adición de 4.5% VT y 10% CC, donde el CBR fue de 7.59% y 9.71%

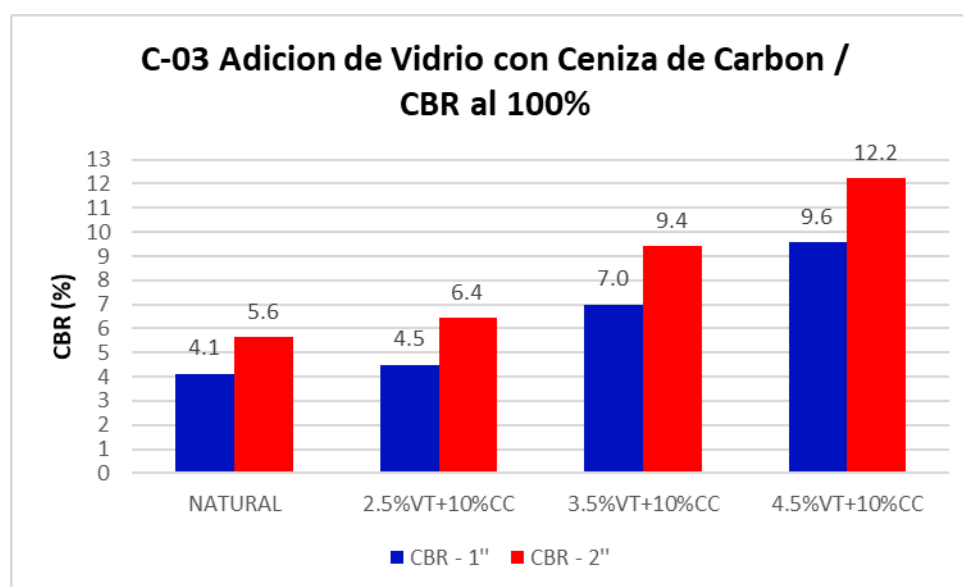
Tabla N°29. Variación del CBR de la C-03 al 100% y 95% con penetraciones de 1 y 2 pulg.

| Descripcion | CBR - CALICATA N°3 | | | |
|--------------|--------------------|--------|-------------|--------|
| | CBR al 100 % | | CBR al 95% | |
| | Penetracion | | Penetracion | |
| | 2.54cm | 5.08cm | 2.54cm | 5.08cm |
| NATURAL | 4.135 | 5.635 | 3.335 | 4.878 |
| 2.5%VT+10%CC | 4.505 | 6.435 | 3.835 | 5.178 |
| 3.5%VT+10%CC | 7.003 | 9.428 | 5.393 | 7.760 |
| 4.5%VT+10%CC | 9.593 | 12.218 | 7.593 | 9.710 |

Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°16 presenta la variación del valor del CBR al 100% para 1 y 2 pulgadas de penetración en la calicata C-3 con adiciones de 2.5%VT+10%CC%, 3.5%VT+10%CC% y 4.5%VT+10%CC%

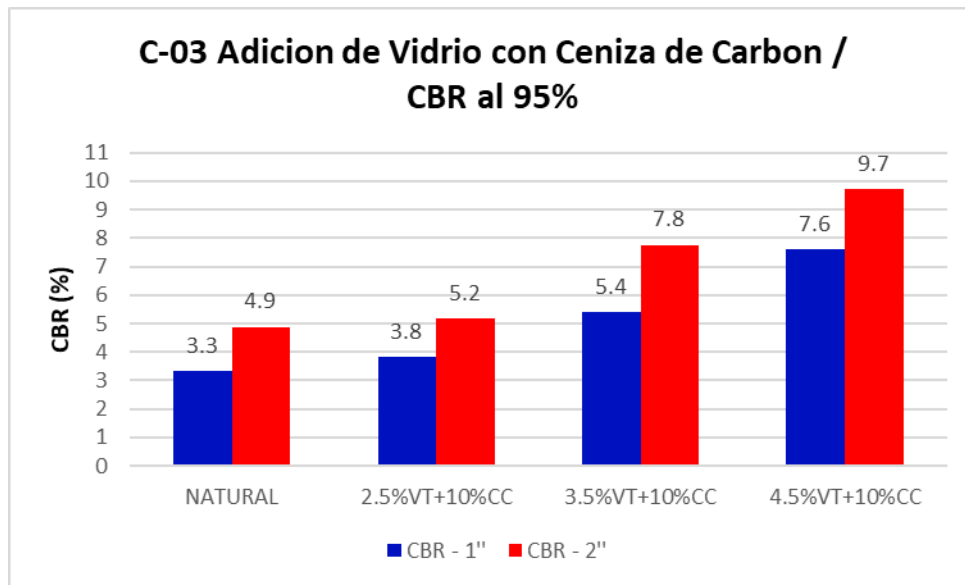
Gráfico N°16. Variación del CBR de la C-03 al 100% con penetraciones de 1 y 2 pulg.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°17 presenta la variación del valor del CBR al 95% para 1 y 2 pulgadas de penetración en la calicata C-3 con adiciones de 2.5%VT+10%CC%, 3.5%VT+10%CC% y 4.5%VT+10%CC%

Grafico N°17. Variación del CBR de la C-03 al 95% con penetraciones de 1 y 2 pulg.



Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra los valores de CBR al 100% y 95% de la calicata C-01 en estado natural con cemento

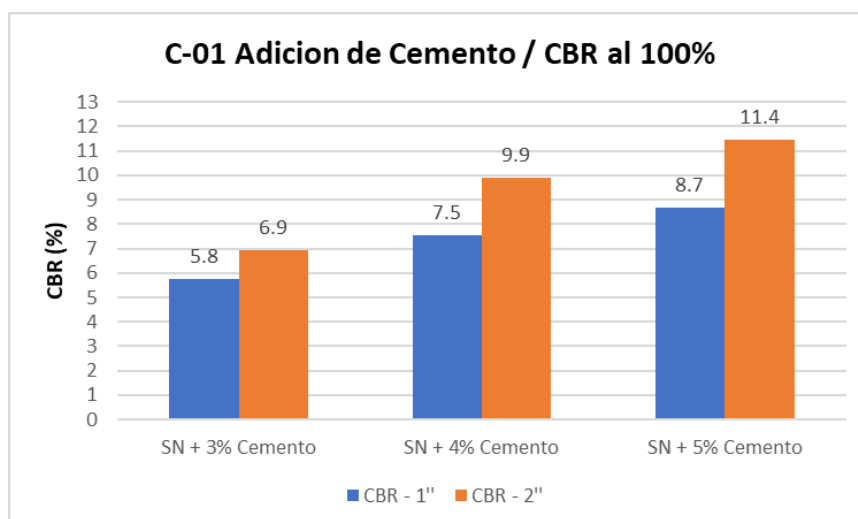
Tabla N°30. Variación del CBR c/cem de la C-01 al 100% y 95% con pen. de 1 y 2 pulg.

| Descripción | CBR - CALICATA N°1 | | | |
|-----------------|--------------------|--------|-------------|--------|
| | CBR al 100 % | | CBR al 95% | |
| | Penetración | | Penetración | |
| | 2.54cm | 5.08cm | 2.54cm | 5.08cm |
| SN + 3% Cemento | 5.76 | 6.91 | 4.96 | 5.98 |
| SN + 4% Cemento | 7.53 | 9.90 | 5.78 | 8.09 |
| SN + 5% Cemento | 8.65 | 11.44 | 6.73 | 9.05 |

Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°18 presenta la variación del valor del CBR al 100% para 1 y 2 pulgadas de penetración en la calicata C-1 con adiciones de cemento

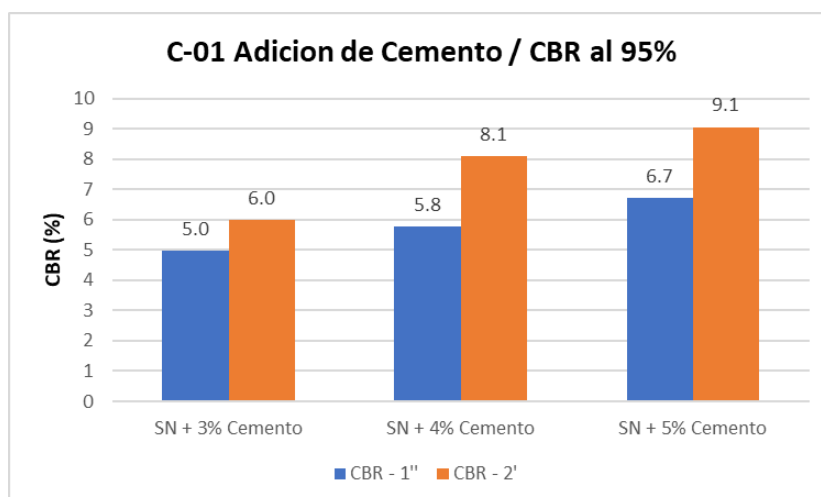
Grafico N°18. Variación del CBR de la C-03 al 95% con penetraciones de 1 y 2 pulg.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°19 presenta la variación del valor del CBR al 95% para 1 y 2 pulgadas de penetración en la calicata C-1 con adiciones de cemento

Grafico N°19. Variación del CBR de la C-03 al 95% con penetraciones de 1 y 2 pulg.



Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra los valores de CBR al 100% y 95% de la calicata C-01 en estado natural con Cal

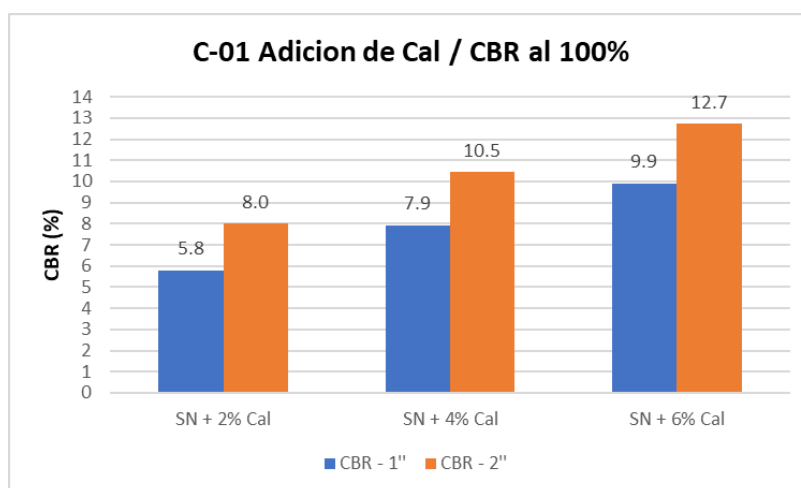
Tabla N°31. Variación del CBR c/cal de la C-03 al 100% y 95% con pen. de 1 y 2 pulg.

| Descripción | CBR - CALICATA N°1 | | | |
|-------------|--------------------|--------|-------------|--------|
| | CBR al 100 % | | CBR al 95% | |
| | Penetración | | Penetración | |
| | 2.54cm | 5.08cm | 2.54cm | 5.08cm |
| SN + 2% Cal | 5.81 | 8.02 | 4.68 | 6.43 |
| SN + 4% Cal | 7.93 | 10.45 | 5.71 | 7.72 |
| SN + 6% Cal | 9.91 | 12.75 | 8.31 | 10.40 |

Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°20 presenta la variación del valor del CBR al 100% para 1 y 2 pulgadas de penetración en la calicata C-1 con adiciones de Cal

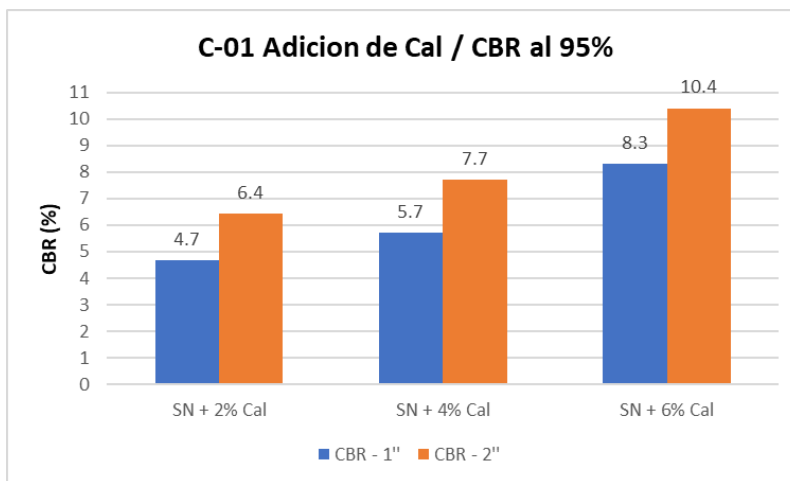
Grafico N°20. Variación del CBR de la C-03 al 95% con penetraciones de 1 y 2 pulg.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°21 presenta la variación del valor del CBR al 95% para 1 y 2 pulgadas de penetración en la calicata C-1 con adiciones de Cal

Grafico N°21. Variación del CBR de la C-03 al 95% con penetraciones de 1 y 2 pulg.



Fuente: Elaboración propia

(4) Evaluar el impacto ambiental de la estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de carbón con vidrio molido para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos

Como parte complementaria de esta investigación, en el anexo del presente proyecto se incluye una EIA completa, realizada siguiendo los criterios establecidos por V. Conesa [25]. Este análisis proporciona una visión integral de los posibles impactos ambientales vinculados al desarrollo del proyecto.

(5) Realizar un estudio de viabilidad económica.

El análisis de costo-beneficio para estabilizar subrasantes arcillosas con vidrio reciclado depende considerablemente de la proximidad entre la planta de trituración de vidrio y el sitio donde se recicla este material, así como del costo asociado a la trituración en pequeña escala con molinos o chancadoras de menor capacidad. Este estudio económico preliminar se enfoca en la producción de vidrio y ceniza a pequeña escala, considerando los costos de alquilar molinos eléctricos, sin incluir el costo del vidrio en sí, ya que se trata de un material reciclado. Los residuos de vidrio provenientes de la fabricación de productos como ventanas, mamparas y trofeos se consideran inadecuados para ser reciclados, dado que no pueden emplearse para crear nuevos productos de vidrio y presentan un alto riesgo en su manipulación. Por ello, la eliminación de estos residuos en botaderos es la práctica más común, esto hace que la utilización de "residuos de vidrio" como estabilizante de suelos arcillosos sea una alternativa interesante para explorar.

Se llevó a cabo una comparación económica del costo de la estabilización de subrasantes para un tramo de 1 km de dos carriles, cada uno de 3.50 m de ancho, utilizando cemento en contraste con la misma subrasante estabilizada con vidrio y ceniza de carbón. Según las normativas, la profundidad de estabilización se estableció en 20 cm. Este análisis se centró en los precios de los insumos y trituración, mano de obra, transporte y costos de equipos.

En la ilustración N°64 se presenta el precio del vidrio reciclado. En el contexto de este estudio, no se incurrió en un costo por el vidrio utilizado, ya que fue reciclado debido a la escasa cantidad requerida. Sin embargo, si este proyecto se implementara a gran escala, sería necesario considerar un costo por kilogramo. Según ChatarraPerú el precio de materiales como la chatarra (hierro, aluminio, cobre) se estima en 0.5 céntimos, mientras que las botellas de plástico alcanzan S/. 1.1 [27]. Por otro lado, según el diario Gestión, el costo del vidrio reciclado es de apenas 10 céntimos por kilogramo el cual resulta el más económico frente a otros materiales reciclables [28]

Ilustración N°64. Precio unitario para compra de vidrio

| Compra de vidrio | |
|------------------------------|-------------------------|
| Precio por kg | 0.1 s/kg |
| Densidad de vidrio | 2500 kg/m ³ |
| <i>P.U. p/1m³</i> | 250.00 s/m ³ |

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se indica el precio por triturar vidrio. Para hacer esto, se utilizó un motor de 2 caballos de fuerza. Se separaron los vidrios más delgados, que tenían entre 2 y 4 mm de grosor, en 7 baldes, cada uno con un peso de 40 kg aproximadamente. Sabemos que la densidad del vidrio es de 2500 kg/m³, lo que nos permitió calcular el volumen total. Además, alquilar la máquina para triturar 280 kg de vidrio costó 90 soles. Al comparar los precios con algunos molinos eléctricos artesanales, el costo de triturar vidrio oscila entre S/0.50 y S/1.00. Sin embargo, en esta investigación, el costo fue de S/0.35 por kilogramo. Estas variaciones en los resultados se deben principalmente al tipo de vidrio y su espesor

Tabla N°32. Precio unitario para la trituración de vidrio

| Trituración de Vidrio | |
|------------------------------|-------------------------|
| Motor | 2 HP |
| Peso prom. Baldes | 40 kg |
| Total Baldes | 7 Baldes |
| Total VT | 280 kg |
| Densidad de vidrio | 2500 kg/m ³ |
| Volumen de VT | 0.112 m ³ |
| Alquiler de trituradora | 90 soles |
| <i>P.U. p/m³</i> | 803.57 s/m ³ |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°33 muestra el precio por comprar ceniza de carbón. Se compraron 10 sacos de unos 60 kg cada uno. Como sabemos que la densidad de la ceniza de carbón es de 890 kg/m³, se puede calcular el volumen total. Además, cada saco costó 5 soles, lo cual es un precio bastante razonable.

Tabla N°33. Precio unitario para compra de ceniza de carbón

| Compra de ceniza de carbon | |
|-----------------------------------|------------------------|
| Peso prom. Saco (CC) | 60 kg |
| Total de sacos (CC) | 10 Sacos |
| Total CC | 600 kg |
| Densidad de CC | 890 kg/m ³ |
| Volumen de CC | 0.67 m ³ |
| Precio total | 50 soles |
| <i>P.U. p/m³</i> | 74.17 s/m ³ |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°34, se detalla el precio unitario para triturar ceniza de carbón. En este caso, se trituró un saco previamente dividido en partículas más grandes. Sabemos que la densidad de la ceniza de carbón es de 890 kg/m³, lo que permite calcular su volumen. Además, el alquiler de la máquina para procesar esta cantidad de ceniza tuvo un costo de 15 soles.

Tabla N°34. Precio unitario para la trituración de ceniza de carbón

| Trituración de ceniza de carbón | |
|--|-------------------------------|
| Total CC | 60 kg |
| Densidad de CC | 890 kg/m ³ |
| Volumen de CC | 0.07 m ³ |
| Alquiler de trituradora | 15 soles |
| P.U. p/m³ | 222.50 s/m³ |

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra las dosificaciones de agente estabilizador utilizando cemento y cal según el tipo de suelo, debido a que el suelo de la presente investigación es un A-6, entonces corresponde compararlo con rangos de 2-12% (Cemento) y 2-8% (Cal)

Tabla N°35. Porcentaje de agente estabilizante de acuerdo a las recomendaciones del Manual de Carreteras MTC 2014

| Tipo o estabilizador recomendado | Normas técnicas | Suelo⁽¹⁾ | Dosificación⁽³⁾ |
|---|---|--|-----------------------------------|
| Cemento | EQ-CBT-2008 Sección 3068 ASTMC 150 ASTM C150 AASHTO M85 | A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 LL > 40% IP > 18% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ AF ≤ 10% AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg AF ≤ 15% AG ≤ 18% | 2 – 12% |
| Cal | EQ-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977 | A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% < IP < 50% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50% | 2- 8% |

Después de haber obtenido los valores de CBR de suelo natural con las adiciones propuestas, corresponde establecer una dosificación de cal y cemento de manera que el porcentaje de incremento se parezca al de las adiciones de vidrio triturado con ceniza de carbón

Se tomo referencia a la calicata C-01 para compararlas las comparaciones, después de realizar los ensayos de CBR (Ver tabla N°30 y Tabla N°31) se concluyó que con la adición de 2%, 4% y 6% de cal se pueden alcanzar valores similares de CBR respecto con la adición de 2.5%V+10%CC, 3.5%V+10%CC y 4.5%+10%CC respectivamente. Por otro lado, con la adición de 3%, 4% y 5% de cemento se pueden alcanzar valores similares de CBR respecto con la adición de 2.5%V+10%CC, 3.5%V+10%CC y 4.5%+10%CC respectivamente.

Costos unitarios para mejoramiento de subrasante con adición de vidrio 2.5% y ceniza de carbón 10%

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|---------------------------------|---|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|----------------|
| Partida | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | | | | | |
| Rendimiento | GLB | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 1880.00 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 80.00 |
| Peon (Apoyo carga/descarga) | hh | - | 4.000 | 20.00 | 80.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 1800.00 |
| Camion Cama Baja (Ida y vuelta) | via | 2 | 4.000 | 450.00 | 1800.00 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | | | | | |
| Rendimiento | 1500 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 0.84 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.41 |
| Topografo (Operario) | hh | 1 | 0.005 | 30.80 | 0.17 | |
| Peon (Ayudante) | hh | 2 | 0.011 | 22.90 | 0.25 | |
| MATERIALES | | | | | | 0.33 |
| Yeso/Cal (Bolsa 25kg) | bol | - | 0.005 | 12.00 | 0.06 | |
| Puntura | gal | - | 0.002 | 45.00 | 0.09 | |
| Estacas de madera | pza | - | 0.050 | 3.50 | 0.18 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.11 |
| Estacion total | hm | 1 | 0.005 | 15.00 | 0.08 | |
| Nivel Topografico | hm | 1 | 0.005 | 5.00 | 0.03 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|---------------------------------|---|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | | | | | |
| Rendimiento | 1800 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 1.14 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.20 |
| Peon (Limpieza piedras grandes) | hh | 2 | 0.009 | 22.90 | 0.20 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.20 | 0.01 | |
| Motoniveladora (135 HP) | hm | 1 | 0.004 | 210.00 | 0.93 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|---------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | | | | | |
| Rendimiento | 450 m3/día (Carg-Acarreo) | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 12.81 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.88 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.002 | 34.50 | 0.06 | |
| Peon (Control de trafico/apoyo) | hh | 2 | 0.036 | 22.90 | 0.82 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 11.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.88 | 0.03 | |
| Cargador frontal | hm | 1 | 0.018 | 190.00 | 3.38 | |
| Volquete (15 m3) | hm | 3 | 0.053 | 160.00 | 8.53 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESTABILIZACION DE SUELO-ADIT (Mezcla, extendido y Comp) | | | | | |
| Rendimiento | 1000 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 17.24 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.97 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.001 | 34.50 | 0.03 | |
| Oficial (Nivelador) | hh | 1 | 0.008 | 25.50 | 0.20 | |
| Peon (Extendido de bolsas) | hh | 4 | 0.032 | 22.90 | 0.73 | |
| MATERIALES | | | | | | 11.80 |
| Vidrio (2.5%) | m3 | - | 0.005 | 1053.57 | 5.27 | |
| Ceniza de Carbon (10 %) | m3 | - | 0.020 | 296.67 | 5.93 | |
| Agua | m3 | - | 0.040 | 15.00 | 0.60 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 4.47 |
| Desgaste de herramientas | %MO | | 3% | 0.97 | 0.03 | |
| Motoniveladora (Mezcla) | hm | 1 | 0.008 | 210.00 | 1.68 | |
| Rodillo Pata de Cabra | hm | 1 | 0.008 | 165.00 | 1.32 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.5 | 0.004 | 140.00 | 0.56 | |
| Camion Cisterna | hm | 1 | 0.008 | 110.00 | 0.88 | |

Costos unitarios para mejoramiento de subrasante con adición de vidrio 3.5% y ceniza de carbón 10%

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|----------------|
| Partida | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | | | | | |
| Rendimiento | GLB | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 1880.00 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 80.00 |
| Peon (Apoyo carga/descarga) | hh | - | 4.000 | 20.00 | 80.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 1800.00 |
| Camion Cama Baja (Ida y vuelta) | via | 2 | 4.000 | 450.00 | 1800.00 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | | | | | |
| Rendimiento | 1500 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 0.84 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.41 |
| Topografo (Operario) | hh | 1 | 0.005 | 30.80 | 0.17 | |
| Peon (Ayudante) | hh | 2 | 0.011 | 22.90 | 0.25 | |
| MATERIALES | | | | | | 0.33 |
| Yeso/Cal (Bolsa 25kg) | bol | - | 0.005 | 12.00 | 0.06 | |
| Puntura | gal | - | 0.002 | 45.00 | 0.09 | |
| Estacas de madera | pza | - | 0.050 | 3.50 | 0.18 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.11 |
| Estacion total | hm | 1 | 0.005 | 15.00 | 0.08 | |
| Nivel Topografico | hm | 1 | 0.005 | 5.00 | 0.03 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | | | | | |
| Rendimiento | 1800 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 1.14 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.20 |
| Peon (Limpieza piedras grandes) | hh | 2 | 0.009 | 22.90 | 0.20 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.20 | 0.01 | |
| Motoniveladora (135 HP) | hm | 1 | 0.004 | 210.00 | 0.93 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | | | | | |
| Rendimiento | 450 m3/día (Carg-Acarreo) | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | | TOTAL | 12.81 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.88 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.002 | 34.50 | 0.06 | |
| Peon (Control de trafico/apoyo) | hh | 2 | 0.036 | 22.90 | 0.82 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 11.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | | 3% | 0.88 | 0.03 | |
| Cargador frontal | hm | 1 | 0.018 | 190.00 | 3.38 | |
| Volquete (15 m3) | hm | 3 | 0.053 | 160.00 | 8.53 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESTABILIZACION DE SUELO-ADIT (Mezcla, extendido y Comp) | | | | | |
| Rendimiento | 1000 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | | TOTAL | 19.34 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.97 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.001 | 34.50 | 0.03 | |
| Oficial (Nivelador) | hh | 1 | 0.008 | 25.50 | 0.20 | |
| Peon (Extendido de bolsas) | hh | 4 | 0.032 | 22.90 | 0.73 | |
| MATERIALES | | | | | | 13.91 |
| Vidrio (3.5%) | m3 | - | 0.007 | 1053.57 | 7.37 | |
| Ceniza de Carbon (10 %) | m3 | - | 0.020 | 296.67 | 5.93 | |
| Agua | m3 | - | 0.040 | 15.00 | 0.60 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 4.47 |
| Desgaste de herramientas | %MO | | 3% | 0.97 | 0.03 | |
| Motoniveladora (Mezcla) | hm | 1 | 0.008 | 210.00 | 1.68 | |
| Rodillo Pata de Cabra | hm | 1 | 0.008 | 165.00 | 1.32 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.5 | 0.004 | 140.00 | 0.56 | |
| Camion Cisterna | hm | 1 | 0.008 | 110.00 | 0.88 | |

Costos unitarios para mejoramiento de subrasante con adición de vidrio 4.5% y ceniza de carbón 10%

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|----------------|
| Partida | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | | | | | |
| Rendimiento | GLB | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | | TOTAL | 1880.00 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 80.00 |
| Peon (Apoyo carga/descarga) | hh | - | 4.000 | 20.00 | 80.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 1800.00 |
| Camion Cama Baja (Ida y vuelta) | via | 2 | 4.000 | 450.00 | 1800.00 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | | | | | |
| Rendimiento | 1500 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | | | TOTAL |
| | | | | | | 0.84 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.41 |
| Topografo (Operario) | hh | 1 | 0.005 | 30.80 | 0.17 | |
| Peon (Ayudante) | hh | 2 | 0.011 | 22.90 | 0.25 | |
| MATERIALES | | | | | | 0.33 |
| Yeso/Cal (Bolsa 25kg) | bol | - | 0.005 | 12.00 | 0.06 | |
| Puntura | gal | - | 0.002 | 45.00 | 0.09 | |
| Estacas de madera | pza | - | 0.050 | 3.50 | 0.18 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.11 |
| Estacion total | hm | 1 | 0.005 | 15.00 | 0.08 | |
| Nivel Topografico | hm | 1 | 0.005 | 5.00 | 0.03 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | | | | | |
| Rendimiento | 1800 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | | | TOTAL |
| | | | | | | 1.14 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.20 |
| Peon (Limpieza piedras grandes) | hh | 2 | 0.009 | 22.90 | 0.20 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.20 | 0.01 | |
| Motoniveladora (135 HP) | hm | 1 | 0.004 | 210.00 | 0.93 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | | | | | |
| Rendimiento | 450 m3/día (Carg-Acarreo) | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | | | TOTAL |
| | | | | | | 12.81 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.88 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.002 | 34.50 | 0.06 | |
| Peon (Control de trafico/apoyo) | hh | 2 | 0.036 | 22.90 | 0.82 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 11.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.88 | 0.03 | |
| Cargador frontal | hm | 1 | 0.018 | 190.00 | 3.38 | |
| Volquete (15 m3) | hm | 3 | 0.053 | 160.00 | 8.53 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESTABILIZACION DE SUELO-ADIT (Mezcla, extendido y Comp) | | | | | |
| Rendimiento | 1000 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | | | TOTAL |
| | | | | | | 21.45 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.97 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.001 | 34.50 | 0.03 | |
| Oficial (Nivelador) | hh | 1 | 0.008 | 25.50 | 0.20 | |
| Peon (Extendido de bolsas) | hh | 4 | 0.032 | 22.90 | 0.73 | |
| MATERIALES | | | | | | 16.02 |
| Vidrio (4.5%) | m3 | - | 0.009 | 1053.57 | 9.48 | |
| Ceniza de Carbon (10 %) | m3 | - | 0.020 | 296.67 | 5.93 | |
| Agua | m3 | - | 0.040 | 15.00 | 0.60 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 4.47 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.97 | 0.03 | |
| Motoniveladora (Mezcla) | hm | 1 | 0.008 | 210.00 | 1.68 | |
| Rodillo Pata de Cabra | hm | 1 | 0.008 | 165.00 | 1.32 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.5 | 0.004 | 140.00 | 0.56 | |
| Camion Cisterna | hm | 1 | 0.008 | 110.00 | 0.88 | |

Costos unitarios para mejoramiento de subrasante con Cal Viva (2%)

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|----------------|
| Partida | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | | | | | |
| Rendimiento | GLB | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | | 1880.00 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Peon (Apoyo carga/descarga) | hh | - | 4.000 | 20.00 | 80.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | |
| Camion Cama Baja (Ida y vuelta) | via | 2 | 4.000 | 450.00 | 1800.00 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | | | | | |
| Rendimiento | 1500 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | | 0.84 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Topografo (Operario) | hh | 1 | 0.005 | 30.80 | 0.17 | |
| Peon (Ayudante) | hh | 2 | 0.011 | 22.90 | 0.25 | |
| MATERIALES | | | | | | |
| Yeso/Cal (Bolsa 25kg) | bol | - | 0.005 | 12.00 | 0.06 | |
| Puntura | gal | - | 0.002 | 45.00 | 0.09 | |
| Estacas de madera | pza | - | 0.050 | 3.50 | 0.18 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | |
| Estacion total | hm | 1 | 0.005 | 15.00 | 0.08 | |
| Nivel Topografico | hm | 1 | 0.005 | 5.00 | 0.03 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | | | | | |
| Rendimiento | 1800 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | | 1.14 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Peon (Limpieza piedras grandes) | hh | 2 | 0.009 | 22.90 | 0.20 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.20 | 0.01 | |
| Motoniveladora (135 HP) | hm | 1 | 0.004 | 210.00 | 0.93 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | | | | | |
| Rendimiento | 450 m3/día (Carg-Acarreo) | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | | 12.81 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.002 | 34.50 | 0.06 | |
| Peon (Control de trafico/apoyo) | hh | 2 | 0.036 | 22.90 | 0.82 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.88 | 0.03 | |
| Cargador frontal | hm | 1 | 0.018 | 190.00 | 3.38 | |
| Volquete (15 m3) | hm | 3 | 0.053 | 160.00 | 8.53 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|---|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESTABILIZACION DE SUELO-CAL (Mezcla, extendido y Comp) | | | | | |
| Rendimiento | 1000 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | 12.27 | |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.97 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.001 | 34.50 | 0.03 | |
| Oficial (Nivelador) | hh | 1 | 0.008 | 25.50 | 0.20 | |
| Peon (Extendido de bolsas) | hh | 4 | 0.032 | 22.90 | 0.73 | |
| MATERIALES | | | | | | 6.83 |
| Cal Hidratada (2%) | bls | - | 0.432 | 13.50 | 5.83 | |
| Agua | m3 | - | 0.040 | 25.00 | 1.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 4.47 |
| Desgaste de herramientas | %MO | | 3% | 0.97 | 0.03 | |
| Motoniveladora (Mezcla) | hm | 1 | 0.008 | 210.00 | 1.68 | |
| Rodillo Pata de Cabra | hm | 1 | 0.008 | 165.00 | 1.32 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.5 | 0.004 | 140.00 | 0.56 | |
| Camion Cisterna | hm | 1 | 0.008 | 110.00 | 0.88 | |

Costos unitarios para mejoramiento de subrasante con Cal Viva (4%)

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|----------------|
| Partida | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | | | | | |
| Rendimiento | GLB | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | 1880.00 | |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 80.00 |
| Peon (Apoyo carga/descarga) | hh | - | 4.000 | 20.00 | 80.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 1800.00 |
| Camion Cama Baja (Ida y vuelta) | via | 2 | 4.000 | 450.00 | 1800.00 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | | | | | |
| Rendimiento | 1500 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | 0.84 | |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.41 |
| Topografo (Operario) | hh | 1 | 0.005 | 30.80 | 0.17 | |
| Peon (Ayudante) | hh | 2 | 0.011 | 22.90 | 0.25 | |
| MATERIALES | | | | | | 0.33 |
| Yeso/Cal (Bolsa 25kg) | bol | - | 0.005 | 12.00 | 0.06 | |
| Puntura | gal | - | 0.002 | 45.00 | 0.09 | |
| Estacas de madera | pza | - | 0.050 | 3.50 | 0.18 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.11 |
| Estacion total | hm | 1 | 0.005 | 15.00 | 0.08 | |
| Nivel Topografico | hm | 1 | 0.005 | 5.00 | 0.03 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | | | | | |
| Rendimiento | 1800 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | 1.14 | |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.20 |
| Peon (Limpieza piedras grandes) | hh | 2 | 0.009 | 22.90 | 0.20 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.20 | 0.01 | |
| Motoniveladora (135 HP) | hm | 1 | 0.004 | 210.00 | 0.93 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | | | | | |
| Rendimiento | 450 m3/día (Carg-Acarreo) | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 12.81 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.88 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.002 | 34.50 | 0.06 | |
| Peon (Control de trafico/apoyo) | hh | 2 | 0.036 | 22.90 | 0.82 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 11.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | | 3% | 0.88 | 0.03 | |
| Cargador frontal | hm | 1 | 0.018 | 190.00 | 3.38 | |
| Volquete (15 m3) | hm | 3 | 0.053 | 160.00 | 8.53 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|---|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESTABILIZACION DE SUELO-CAL (Mezcla, extendido y Comp) | | | | | |
| Rendimiento | 1000 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 18.10 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.97 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.001 | 34.50 | 0.03 | |
| Oficial (Nivelador) | hh | 1 | 0.008 | 25.50 | 0.20 | |
| Peon (Extendido de bolsas) | hh | 4 | 0.032 | 22.90 | 0.73 | |
| MATERIALES | | | | | | 12.66 |
| Cal Hidratada (4%) | bls | - | 0.864 | 13.50 | 11.66 | |
| Agua | m3 | - | 0.040 | 25.00 | 1.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 4.47 |
| Desgaste de herramientas | %MO | | 3% | 0.97 | 0.03 | |
| Motoniveladora (Mezcla) | hm | 1 | 0.008 | 210.00 | 1.68 | |
| Rodillo Pata de Cabra | hm | 1 | 0.008 | 165.00 | 1.32 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.5 | 0.004 | 140.00 | 0.56 | |
| Camion Cisterna | hm | 1 | 0.008 | 110.00 | 0.88 | |

Costos unitarios para mejoramiento de subrasante con Cal Viva (6%)

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|----------------|
| Partida | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | | | | | |
| Rendimiento | GLB | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 1880.00 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 80.00 |
| Peon (Apoyo carga/descarga) | hh | - | 4.000 | 20.00 | 80.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 1800.00 |
| Camion Cama Baja (Ida y vuelta) | via | 2 | 4.000 | 450.00 | 1800.00 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | | | | | |
| Rendimiento | 1500 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 0.84 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.41 |
| Topografo (Operario) | hh | 1 | 0.005 | 30.80 | 0.17 | |
| Peon (Ayudante) | hh | 2 | 0.011 | 22.90 | 0.25 | |
| MATERIALES | | | | | | 0.33 |
| Yeso/Cal (Bolsa 25kg) | bol | - | 0.005 | 12.00 | 0.06 | |
| Puntura | gal | - | 0.002 | 45.00 | 0.09 | |
| Estacas de madera | pza | - | 0.050 | 3.50 | 0.18 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.11 |
| Estacion total | hm | 1 | 0.005 | 15.00 | 0.08 | |
| Nivel Topografico | hm | 1 | 0.005 | 5.00 | 0.03 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|---------------------------------|--|-----------|----------|---------------------|------------|-------------|
| Partida | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | | | | | |
| Rendimiento | 1800 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| TOTAL | | | | | | 1.14 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.20 |
| Peon (Limpieza piedras grandes) | hh | 2 | 0.009 | 22.90 | 0.20 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.20 | 0.01 | |
| Motoniveladora (135 HP) | hm | 1 | 0.004 | 210.00 | 0.93 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|---------------------------------|--|-----------|----------|---------------------|------------|--------------|
| Partida | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | | | | | |
| Rendimiento | 450 m3/día (Carg-Acarreo) | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| TOTAL | | | | | | 12.81 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.88 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.002 | 34.50 | 0.06 | |
| Peon (Control de trafico/apoyo) | hh | 2 | 0.036 | 22.90 | 0.82 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 11.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | | 3% | 0.88 | 0.03 | |
| Cargador frontal | hm | 1 | 0.018 | 190.00 | 3.38 | |
| Volquete (15 m3) | hm | 3 | 0.053 | 160.00 | 8.53 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|------------------------------|---|-----------|----------|---------------------|------------|--------------|
| Partida | ESTABILIZACION DE SUELO-CAL (Mezcla, extendido y Comp) | | | | | |
| Rendimiento | 1000 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| TOTAL | | | | | | 23.93 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.97 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.001 | 34.50 | 0.03 | |
| Oficial (Nivelador) | hh | 1 | 0.008 | 25.50 | 0.20 | |
| Peon (Extendido de bolsas) | hh | 4 | 0.032 | 22.90 | 0.73 | |
| MATERIALES | | | | | | 18.50 |
| Cal Hidratada (6%) | bls | - | 1.296 | 13.50 | 17.50 | |
| Agua | m3 | - | 0.040 | 25.00 | 1.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 4.47 |
| Desgaste de herramientas | %MO | | 3% | 0.97 | 0.03 | |
| Motoniveladora (Mezcla) | hm | 1 | 0.008 | 210.00 | 1.68 | |
| Rodillo Pata de Cabra | hm | 1 | 0.008 | 165.00 | 1.32 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.5 | 0.004 | 140.00 | 0.56 | |
| Camion Cisterna | hm | 1 | 0.008 | 110.00 | 0.88 | |

Costos unitarios para mejoramiento de subrasante con Cemento Portland Tipo I (3%)

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|---------------------------------|--|-----------|----------|---------------------|------------|----------------|
| Partida | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | | | | | |
| Rendimiento | GLB | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| TOTAL | | | | | | 1880.00 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 80.00 |
| Peon (Apoyo carga/descarga) | hh | - | 4.000 | 20.00 | 80.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 1800.00 |
| Camion Cama Baja (Ida y vuelta) | via | 2 | 4.000 | 450.00 | 1800.00 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | | | | | |
| Rendimiento | 1500 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 0.84 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.41 |
| Topografo (Operario) | hh | 1 | 0.005 | 30.80 | 0.17 | |
| Peon (Ayudante) | hh | 2 | 0.011 | 22.90 | 0.25 | |
| MATERIALES | | | | | | 0.33 |
| Yeso/Cal (Bolsa 25kg) | bol | - | 0.005 | 12.00 | 0.06 | |
| Puntura | gal | - | 0.002 | 45.00 | 0.09 | |
| Estacas de madera | pza | - | 0.050 | 3.50 | 0.18 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.11 |
| Estacion total | hm | 1 | 0.005 | 15.00 | 0.08 | |
| Nivel Topografico | hm | 1 | 0.005 | 5.00 | 0.03 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | | | | | |
| Rendimiento | 1800 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 1.14 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.20 |
| Peon (Limpieza piedras grandes) | hh | 2 | 0.009 | 22.90 | 0.20 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.20 | 0.01 | |
| Motoniveladora (135 HP) | hm | 1 | 0.004 | 210.00 | 0.93 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | | | | | |
| Rendimiento | 450 m3/día (Carg-Acarreo) | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 12.81 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.88 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.002 | 34.50 | 0.06 | |
| Peon (Control de trafico/apoyo) | hh | 2 | 0.036 | 22.90 | 0.82 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 11.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.88 | 0.03 | |
| Cargador frontal | hm | 1 | 0.018 | 190.00 | 3.38 | |
| Volquete (15 m3) | hm | 3 | 0.053 | 160.00 | 8.53 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|---|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESTABILIZACION DE SUELO-CEM (Mezcla, extendido y Comp) | | | | | |
| Rendimiento | 1000 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 16.71 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.97 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.001 | 34.50 | 0.03 | |
| Oficial (Nivelador) | hh | 1 | 0.008 | 25.50 | 0.20 | |
| Peon (Extendido de bolsas) | hh | 4 | 0.032 | 22.90 | 0.73 | |
| MATERIALES | | | | | | 11.27 |
| Cemento Portland Tipo I (3%) | bol | - | 0.381 | 28.00 | 10.67 | |
| Agua | m3 | - | 0.040 | 15.00 | 0.60 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 4.47 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.97 | 0.03 | |
| Motoniveladora (Mezcla) | hm | 1 | 0.008 | 210.00 | 1.68 | |
| Rodillo Pata de Cabra | hm | 1 | 0.008 | 165.00 | 1.32 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.5 | 0.004 | 140.00 | 0.56 | |
| Camion Cisterna | hm | 1 | 0.008 | 110.00 | 0.88 | |

Costos unitarios para mejoramiento de subrasante con Cemento Portland Tipo I (4%)

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|----------------|
| Partida | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | | | | | |
| Rendimiento | GLB | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | | 1880.00 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Peon (Apoyo carga/descarga) | hh | - | 4.000 | 20.00 | 80.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | |
| Camion Cama Baja (Ida y vuelta) | via | 2 | 4.000 | 450.00 | 1800.00 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | | | | | |
| Rendimiento | 1500 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | | 0.84 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Topografo (Operario) | hh | 1 | 0.005 | 30.80 | 0.17 | |
| Peon (Ayudante) | hh | 2 | 0.011 | 22.90 | 0.25 | |
| MATERIALES | | | | | | |
| Yeso/Cal (Bolsa 25kg) | bol | - | 0.005 | 12.00 | 0.06 | |
| Puntura | gal | - | 0.002 | 45.00 | 0.09 | |
| Estacas de madera | pza | - | 0.050 | 3.50 | 0.18 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | |
| Estacion total | hm | 1 | 0.005 | 15.00 | 0.08 | |
| Nivel Topografico | hm | 1 | 0.005 | 5.00 | 0.03 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | | | | | |
| Rendimiento | 1800 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | | 1.14 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Peon (Limpieza piedras grandes) | hh | 2 | 0.009 | 22.90 | 0.20 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.20 | 0.01 | |
| Motoniveladora (135 HP) | hm | 1 | 0.004 | 210.00 | 0.93 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | | | | | |
| Rendimiento | 450 m3/día (Carg-Acarreo) | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | TOTAL | | 12.81 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.002 | 34.50 | 0.06 | |
| Peon (Control de trafico/apoyo) | hh | 2 | 0.036 | 22.90 | 0.82 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.88 | 0.03 | |
| Cargador frontal | hm | 1 | 0.018 | 190.00 | 3.38 | |
| Volquete (15 m3) | hm | 3 | 0.053 | 160.00 | 8.53 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|---|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESTABILIZACION DE SUELO-CEM (Mezcla, extendido y Comp) | | | | | |
| Rendimiento | 1000 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | | TOTAL | 20.26 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.97 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.001 | 34.50 | 0.03 | |
| Oficial (Nivelador) | hh | 1 | 0.008 | 25.50 | 0.20 | |
| Peon (Extendido de bolsas) | hh | 4 | 0.032 | 22.90 | 0.73 | |
| MATERIALES | | | | | | 14.83 |
| Cemento Portland Tipo I (4%) | bol | - | 0.508 | 28.00 | 14.23 | |
| Agua | m3 | - | 0.040 | 15.00 | 0.60 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 4.47 |
| Desgaste de herramientas | %MO | | 3% | 0.97 | 0.03 | |
| Motoniveladora (Mezcla) | hm | 1 | 0.008 | 210.00 | 1.68 | |
| Rodillo Pata de Cabra | hm | 1 | 0.008 | 165.00 | 1.32 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.5 | 0.004 | 140.00 | 0.56 | |
| Camion Cisterna | hm | 1 | 0.008 | 110.00 | 0.88 | |

Costos unitarios para mejoramiento de subrasante con Cemento Portland Tipo I (5%)

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|----------------|
| Partida | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | | | | | |
| Rendimiento | GLB | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | | TOTAL | 1880.00 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 80.00 |
| Peon (Apoyo carga/descarga) | hh | - | 4.000 | 20.00 | 80.00 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 1800.00 |
| Camion Cama Baja (Ida y vuelta) | via | 2 | 4.000 | 450.00 | 1800.00 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | | | | | |
| Rendimiento | 1500 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | | TOTAL | 0.84 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.41 |
| Topografo (Operario) | hh | 1 | 0.005 | 30.80 | 0.17 | |
| Peon (Ayudante) | hh | 2 | 0.011 | 22.90 | 0.25 | |
| MATERIALES | | | | | | 0.33 |
| Yeso/Cal (Bolsa 25kg) | bol | - | 0.005 | 12.00 | 0.06 | |
| Puntura | gal | - | 0.002 | 45.00 | 0.09 | |
| Estacas de madera | pza | - | 0.050 | 3.50 | 0.18 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.11 |
| Estacion total | hm | 1 | 0.005 | 15.00 | 0.08 | |
| Nivel Topografico | hm | 1 | 0.005 | 5.00 | 0.03 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | | | | | |
| Rendimiento | 1800 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | | | | | TOTAL | 1.14 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.20 |
| Peon (Limpieza piedras grandes) | hh | 2 | 0.009 | 22.90 | 0.20 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 0.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | - | 3% | 0.20 | 0.01 | |
| Motoniveladora (135 HP) | hm | 1 | 0.004 | 210.00 | 0.93 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | | | | | |
| Rendimiento | 450 m3/día (Carg-Acarreo) | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 12.81 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.88 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.002 | 34.50 | 0.06 | |
| Peon (Control de trafico/apoyo) | hh | 2 | 0.036 | 22.90 | 0.82 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 11.94 |
| Desgaste de herramientas | %MO | | 3% | 0.88 | 0.03 | |
| Cargador frontal | hm | 1 | 0.018 | 190.00 | 3.38 | |
| Volquete (15 m3) | hm | 3 | 0.053 | 160.00 | 8.53 | |

| ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------------|---|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Partida | ESTABILIZACION DE SUELO-CEM (Mezcla, extendido y Comp) | | | | | |
| Rendimiento | 1000 m2/día | | | Jornada lab. | 8 hrs | |
| | TOTAL | | | | | 23.82 |
| Descripción | Und | Cuadrilla | Cantidad | P.Unitario | P. Parcial | Total |
| MANO DE OBRA | | | | | | 0.97 |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.001 | 34.50 | 0.03 | |
| Oficial (Nivelador) | hh | 1 | 0.008 | 25.50 | 0.20 | |
| Peon (Extendido de bolsas) | hh | 4 | 0.032 | 22.90 | 0.73 | |
| MATERIALES | | | | | | 18.39 |
| Cemento Portland Tipo I (5%) | bol | - | 0.635 | 28.00 | 17.79 | |
| Agua | m3 | - | 0.040 | 15.00 | 0.60 | |
| EQUIPO Y HERRAMIENTAS | | | | | | 4.47 |
| Desgaste de herramientas | %MO | | 3% | 0.97 | 0.03 | |
| Motoniveladora (Mezcla) | hm | 1 | 0.008 | 210.00 | 1.68 | |
| Rodillo Pata de Cabra | hm | 1 | 0.008 | 165.00 | 1.32 | |
| Rodillo Liso Vibratorio | hm | 0.5 | 0.004 | 140.00 | 0.56 | |
| Camion Cisterna | hm | 1 | 0.008 | 110.00 | 0.88 | |

Presupuesto de estabilización con vidrio y ceniza de carbón para 1 km

| PRESUPUESTO PARA MEJORAMIENTO DE SUELO ARCILLOSO CON VIDRIO (2.5%) Y CENIZA DE CARBON (10%) | | | | | |
|--|---|--------|------------------------------|------------|---------------------|
| PROYECTO : TESIS PARA GRADO DE TITULO | | | FECHA : 29/09/2024 | | |
| ESPECIALIDAD : INGENIERIA CIVIL | | | HECHO POR : RIOS PEREZ FRANK | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P.UNITARIO | TOTAL |
| 01.00.00 | OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES | | | | S/7,771.67 |
| 01.01.01 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | GLB | 1 | 1880.00 | S/1,880.00 |
| 01.01.02 | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | m2 | 7000 | 0.84 | S/5,891.67 |
| 02.00.00 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | S/30,429.41 |
| 02.01.01 | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | m2 | 7000 | 1.14 | S/8,004.17 |
| 02.01.02 | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | m3 | 1750 | 12.81 | S/22,425.24 |
| 03.00.00 | ESTABILICACION DE SUELO ARCILLOSO | | | | |
| 03.01.01 | ESTABILIZACION DE SUELO-V+CC (Mezcla, extendido y Comp) | m2 | 7000 | 17.24 | S/120,646.40 |
| Sub-Total | | | | | S/158,847.48 |
| IGV 18% | | | | | S/28,592.55 |
| COSTO TOTAL | | | | | S/187,440.02 |

| PRESUPUESTO PARA MEJORAMIENTO DE SUELO ARCILLOSO CON VIDRIO (3.5%) Y CENIZA DE CARBON (10%) | | | | | |
|--|---|--------|------------------------------|------------|---------------------|
| PROYECTO : TESIS PARA GRADO DE TITULO | | | FECHA : 29/09/2024 | | |
| ESPECIALIDAD : INGENIERIA CIVIL | | | HECHO POR : RIOS PEREZ FRANK | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P.UNITARIO | TOTAL |
| 01.00.00 | OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES | | | | S/7,771.67 |
| 01.01.01 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | GLB | 1 | 1880.00 | S/1,880.00 |
| 01.01.02 | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | m2 | 7000 | 0.84 | S/5,891.67 |
| 02.00.00 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | S/30,429.41 |
| 02.01.01 | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | m2 | 7000 | 1.14 | S/8,004.17 |
| 02.01.02 | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | m3 | 1750 | 12.81 | S/22,425.24 |
| 03.00.00 | ESTABILICACION DE SUELO ARCILLOSO | | | | |
| 03.01.01 | ESTABILIZACION DE SUELO-V+CC (Mezcla, extendido y Comp) | m2 | 7000 | 19.34 | S/135,396.38 |
| Sub-Total | | | | | S/173,597.46 |
| IGV 18% | | | | | S/31,247.54 |
| COSTO TOTAL | | | | | S/204,845.00 |

| PRESUPUESTO PARA MEJORAMIENTO DE SUELO ARCILLOSO CON VIDRIO (4.5%) Y CENIZA DE CARBON (10%) | | | | | |
|--|---|--------|------------------------------|------------|---------------------|
| PROYECTO : TESIS PARA GRADO DE TITULO | | | FECHA : 29/09/2024 | | |
| ESPECIALIDAD : INGENIERIA CIVIL | | | HECHO POR : RIOS PEREZ FRANK | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P.UNITARIO | TOTAL |
| 01.00.00 | OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES | | | | S/7,771.67 |
| 01.01.01 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | GLB | 1 | 1880.00 | S/1,880.00 |
| 01.01.02 | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | m2 | 7000 | 0.84 | S/5,891.67 |
| 02.00.00 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | S/30,429.41 |
| 02.01.01 | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | m2 | 7000 | 1.14 | S/8,004.17 |
| 02.01.02 | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | m3 | 1750 | 12.81 | S/22,425.24 |
| 03.00.00 | ESTABILICACION DE SUELO ARCILLOSO | | | | |
| 03.01.01 | ESTABILIZACION DE SUELO-V+CC (Mezcla, extendido y Comp) | m2 | 7000 | 21.45 | S/150,146.36 |
| Sub-Total | | | | | S/188,347.44 |
| IGV 18% | | | | | S/33,902.54 |
| COSTO TOTAL | | | | | S/222,249.98 |

Presupuesto de estabilización con cal

| PRESUPUESTO PARA MEJORAMIENTO DE SUELO ARCILLOSO CON CAL (2%) | | | | | |
|--|--|--------|------------------------------|------------|---------------------|
| PROYECTO : TESIS PARA GRADO DE TITULO | | | FECHA : 29/09/2024 | | |
| ESPECIALIDAD : INGENIERIA CIVIL | | | HECHO POR : RIOS PEREZ FRANK | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P.UNITARIO | TOTAL |
| 01.00.00 | OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES | | | | S/7,771.67 |
| 01.01.01 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | GLB | 1 | 1880.00 | S/1,880.00 |
| 01.01.02 | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | m2 | 7000 | 0.84 | S/5,891.67 |
| 02.00.00 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | S/30,429.41 |
| 02.01.01 | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | m2 | 7000 | 1.14 | S/8,004.17 |
| 02.01.02 | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | m3 | 1750 | 12.81 | S/22,425.24 |
| 03.00.00 | ESTABILICACION DE SUELO ARCILLOSO | | | | |
| 03.01.01 | ESTABILIZACION DE SUELO-CAL (Mezcla, extendido y Comp) | m2 | 7000 | 12.27 | S/85,861.65 |
| Sub-Total | | | | | S/124,062.73 |
| IGV 18% | | | | | S/22,331.29 |
| COSTO TOTAL | | | | | S/146,394.02 |

| PRESUPUESTO PARA MEJORAMIENTO DE SUELO ARCILLOSO CON CAL (4%) | | | | | | |
|--|--|------------------------------|----------|------------|--------------|---------------------|
| PROYECTO : TESIS PARA GRADO DE TITULO | | FECHA : 29/09/2024 | | | | |
| ESPECIALIDAD : INGENIERIA CIVIL | | HECHO POR : RIOS PEREZ FRANK | | | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P.UNITARIO | P. PARCIAL | TOTAL |
| 01.00.00 | OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES | | | | | S/7,771.67 |
| 01.01.01 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | GLB | 1 | 1880.00 | S/1,880.00 | |
| 01.01.02 | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | m2 | 7000 | 0.84 | S/5,891.67 | |
| 02.00.00 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | | S/30,429.41 |
| 02.01.01 | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | m2 | 7000 | 1.14 | S/8,004.17 | |
| 02.01.02 | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | m3 | 1750 | 12.81 | S/22,425.24 | |
| 03.00.00 | ESTABILICACION DE SUELO ARCILLOSO | | | | | |
| 03.01.01 | ESTABILIZACION DE SUELO-CAL (Mezcla, extendido y Comp) | m2 | 7000 | 18.10 | S/126,685.65 | S/126,685.65 |
| | | | | | Sub-Total | S/164,886.73 |
| | | | | | IGV 18% | S/29,679.61 |
| COSTO TOTAL | | | | | | S/194,566.34 |

| PRESUPUESTO PARA MEJORAMIENTO DE SUELO ARCILLOSO CON CAL (6%) | | | | | | |
|--|--|------------------------------|----------|------------|--------------|---------------------|
| PROYECTO : TESIS PARA GRADO DE TITULO | | FECHA : 29/09/2024 | | | | |
| ESPECIALIDAD : INGENIERIA CIVIL | | HECHO POR : RIOS PEREZ FRANK | | | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P.UNITARIO | P. PARCIAL | TOTAL |
| 01.00.00 | OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES | | | | | S/7,771.67 |
| 01.01.01 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | GLB | 1 | 1880.00 | S/1,880.00 | |
| 01.01.02 | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | m2 | 7000 | 0.84 | S/5,891.67 | |
| 02.00.00 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | | S/30,429.41 |
| 02.01.01 | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | m2 | 7000 | 1.14 | S/8,004.17 | |
| 02.01.02 | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | m3 | 1750 | 12.81 | S/22,425.24 | |
| 03.00.00 | ESTABILICACION DE SUELO ARCILLOSO | | | | | |
| 03.01.01 | ESTABILIZACION DE SUELO-CAL (Mezcla, extendido y Comp) | m2 | 7000 | 23.93 | S/167,509.65 | S/167,509.65 |
| | | | | | Sub-Total | S/205,710.73 |
| | | | | | IGV 18% | S/37,027.93 |
| COSTO TOTAL | | | | | | S/242,738.66 |

Presupuesto de estabilización con Cemento Portland Tipo 1

| PRESUPUESTO PARA MEJORAMIENTO DE SUELO ARCILLOSO CON CEMENTO (3%) | | | | | | |
|--|--|------------------------------|----------|------------|--------------|---------------------|
| PROYECTO : TESIS PARA GRADO DE TITULO | | FECHA : 29/09/2024 | | | | |
| ESPECIALIDAD : INGENIERIA CIVIL | | HECHO POR : RIOS PEREZ FRANK | | | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P.UNITARIO | P. PARCIAL | TOTAL |
| 01.00.00 | OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES | | | | | S/7,771.67 |
| 01.01.01 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | GLB | 1 | 1880.00 | S/1,880.00 | |
| 01.01.02 | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | m2 | 7000 | 0.84 | S/5,891.67 | |
| 02.00.00 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | | S/30,429.41 |
| 02.01.01 | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | m2 | 7000 | 1.14 | S/8,004.17 | |
| 02.01.02 | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | m3 | 1750 | 12.81 | S/22,425.24 | |
| 03.00.00 | ESTABILICACION DE SUELO ARCILLOSO | | | | | |
| 03.01.01 | ESTABILIZACION DE SUELO-CEM (Mezcla, extendido y Comp) | m2 | 7000 | 16.71 | S/116,948.24 | S/116,948.24 |
| | | | | | Sub-Total | S/155,149.32 |
| | | | | | IGV 18% | S/27,926.88 |
| COSTO TOTAL | | | | | | S/183,076.19 |

| PRESUPUESTO PARA MEJORAMIENTO DE SUELO ARCILLOSO CON CEMENTO (4%) | | | | | | |
|--|--|------------------------------|----------|------------|--------------|---------------------|
| PROYECTO : TESIS PARA GRADO DE TITULO | | FECHA : 29/09/2024 | | | | |
| ESPECIALIDAD : INGENIERIA CIVIL | | HECHO POR : RIOS PEREZ FRANK | | | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P.UNITARIO | P. PARCIAL | TOTAL |
| 01.00.00 | OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES | | | | | S/7,771.67 |
| 01.01.01 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | GLB | 1 | 1880.00 | S/1,880.00 | |
| 01.01.02 | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | m2 | 7000 | 0.84 | S/5,891.67 | |
| 02.00.00 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | | S/30,429.41 |
| 02.01.01 | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | m2 | 7000 | 1.14 | S/8,004.17 | |
| 02.01.02 | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | m3 | 1750 | 12.81 | S/22,425.24 | |
| 03.00.00 | ESTABILICACION DE SUELO ARCILLOSO | | | | | |
| 03.01.01 | ESTABILIZACION DE SUELO-CEM (Mezcla, extendido y Comp) | m2 | 7000 | 20.26 | S/141,851.77 | S/141,851.77 |
| | | | | | Sub-Total | S/180,052.84 |
| | | | | | IGV 18% | S/32,409.51 |
| COSTO TOTAL | | | | | | S/212,462.36 |

| PRESUPUESTO PARA MEJORAMIENTO DE SUELO ARCILLOSO CON CEMENTO (5%) | | | | | | |
|--|--|------------------------------|----------|------------|--------------|---------------------|
| PROYECTO : TESIS PARA GRADO DE TITULO | | FECHA : 29/09/2024 | | | | |
| ESPECIALIDAD : INGENIERIA CIVIL | | HECHO POR : RIOS PEREZ FRANK | | | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P.UNITARIO | P. PARCIAL | TOTAL |
| 01.00.00 | OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES | | | | | S/7,771.67 |
| 01.01.01 | MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS | GLB | 1 | 1880.00 | S/1,880.00 | |
| 01.01.02 | TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO | m2 | 7000 | 0.84 | S/5,891.67 | |
| 02.00.00 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | | S/30,429.41 |
| 02.01.01 | ESCARIFICADO Y HOMOGEN.DE SUBRASANTE (e=0.2m) | m2 | 7000 | 1.14 | S/8,004.17 | |
| 02.01.02 | CORTE Y ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE (D<10KM) | m3 | 1750 | 12.81 | S/22,425.24 | |
| 03.00.00 | ESTABILICACION DE SUELO ARCILLOSO | | | | | |
| 03.01.01 | ESTABILIZACION DE SUELO-CEM (Mezcla, extendido y Comp) | m2 | 7000 | 23.82 | S/166,755.30 | S/166,755.30 |
| | | | | | Sub-Total | S/204,956.37 |
| | | | | | IGV 18% | S/36,892.15 |
| COSTO TOTAL | | | | | | S/241,848.52 |

La tabla a continuación compara los costos de estabilizar suelos arcillosos utilizando Cemento Portland, Cal viva y los aditivos propuestos. Las barras indican el precio en soles de cada agente estabilizante.

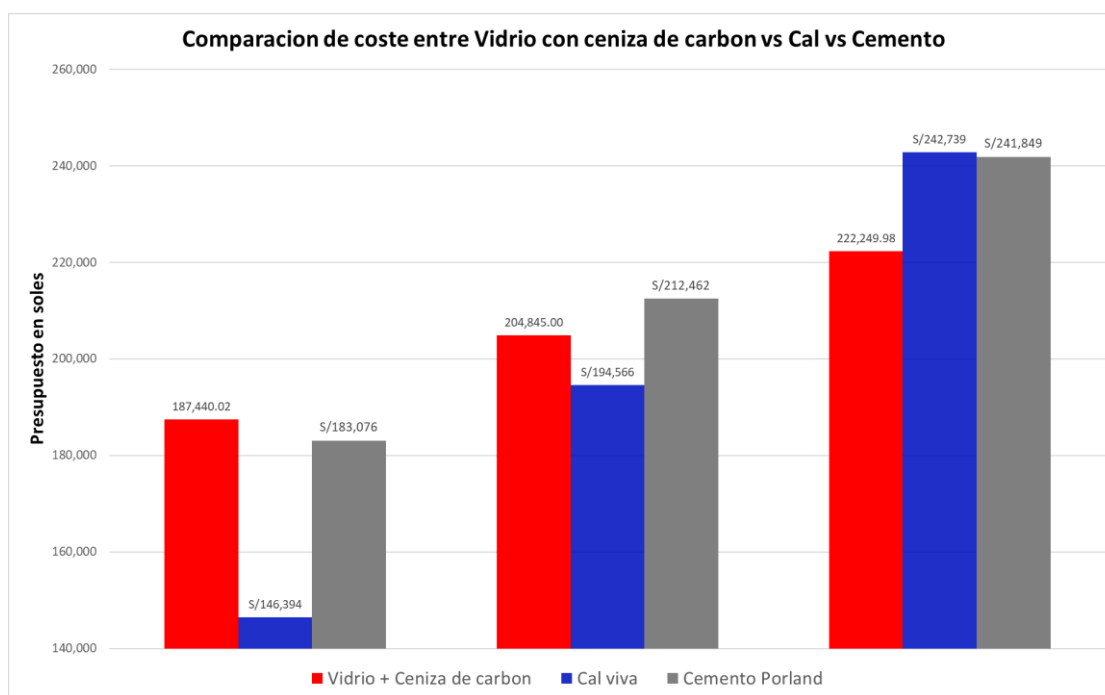
Tabla N°36. Comparación económica entre el Cemento Portland – Cal Viva – Vidrio - Ceniza de Carbón

| Agente estabilizante | Precio |
|-----------------------|-----------|
| 2.5% V + 10% CC | S/187,440 |
| 3.5% V + 10% CC | S/204,845 |
| 4.5% V + 10% CC | S/222,250 |
| Cal (2%) | S/146,394 |
| Cal (4%) | S/194,566 |
| Cal (6%) | S/242,739 |
| Cemento Portland (3%) | S/183,076 |
| Cemento Portland (4%) | S/212,462 |
| Cemento Portland (5%) | S/241,849 |

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico, se realizó una comparación económica entre tres alternativas de estabilización. Si bien la cal viva presenta el costo inicial más bajo (S/ 146,394), se observa que la propuesta de vidrio con ceniza de carbón mantiene un comportamiento económico y estable frente al incremento de costos que presentan el Cemento Portland y la Cal en los escenarios de mayor dosificación, donde estos últimos superan los S/ 240,000

Grafico N°22. Comparación de costes de aditivos propuestos vs Cal vs Cemento



Fuente: Elaboración propia

Discusión de resultados

Ensayo de Límites de Atterberg

De acuerdo con el primer objetivo específico, que busca comparar las características físicas del suelo arcilloso en su estado natural con adiciones variables de vidrio molido y ceniza de carbón, los resultados indican que el suelo en estado natural tiene un IP entre 17 y 21, clasificándolo como un suelo arcilloso de media plasticidad. Al integrar vidrio triturado con partículas de menores a 300 μm y ceniza de carbón con partículas inferiores a 75 μm ., se observó una reducción en este parámetro en todas las combinaciones de suelo tratado (ver tablas N°20, 21 y 22). Los valores más bajos de IP se alcanzaron con una dosificación de 4.5% de vidrio y 10% de ceniza de carbón, donde se registró una disminución máxima del IP de 21.6 a 15.2 logrando una reducción del 29.54%, resultados que al ser comparados por Syed Aaqib Javed y Sudipta Chakraborty [16] donde indicaron que, al agregar un 10% de vidrio con partículas menores de 300 μm , el IP del suelo disminuyó de 21.52 a 15.50, lo que representa una reducción del 27.97%. De manera similar, Nuruzzaman y Akhtar Hossain [17] documentaron una disminución del 71% en el IP al añadir un 9% de vidrio con partículas menores de 75 μm . Por su parte, Goñaz M. [18] reportó que al añadir un 20% de ceniza de carbón con partículas menores de 75 μm , el IP disminuyó de 24.11 a 16.09 en la muestra C-1, y de 18.45 a 13.81 en la muestra C-2, lo que representa reducciones del 33.26% y 25.14%, respectivamente. Los resultados de esta investigación son consistentes con lo reportado en los antecedentes donde ninguno de los estudios revisados menciona un aumento del IP con la adición de dichos componentes. La disminución del IP se debe a que tanto el vidrio, que no absorbe agua, como la ceniza de carbón, un material inorgánico sin plasticidad compuesto por minerales no cohesivos, poseen propiedades contrarias a las del suelo arcilloso. Al incorporarlos, se reduce significativamente la cohesión del suelo, mejorando así sus características físicas.

Ensayo de Proctor modificado

Según el segundo objetivo específico, que tenía como propósito comparar las características mecánicas del suelo arcilloso en su estado natural y con la incorporación de distintas proporciones de vidrio molido y ceniza de carbón, los resultados mostraron un incremento en la MDS (Máxima Densidad Seca) a medida que aumentaba el porcentaje de estos materiales. Los valores más altos de MDS se lograron con una dosificación de 4.5% de vidrio y 10% de ceniza de carbón, mostrando incrementos de 1.756 a 1.831 g/cm^3 en la calicata N°01, de 1.690 a 1.785 g/cm^3 en la calicata N°02, y de 1.739 a 1.839 g/cm^3 en la calicata N°03, lo que

corresponde a aumentos del 4.27%, 5.62% y 5.75%, respectivamente, en comparación con el suelo natural. Estos resultados son consistentes con estudios previos. M. Siyab Khan, M. Tufail y Mateeullah [18] reportaron en su investigación un incremento de 2.262 g/cm³ a 2.389 g/cm³ con una adición del 12% de vidrio, lo que representa un aumento del 5.31% respecto al suelo original. De forma similar, H. Canakci, A. AL-Kaki y F. Celik [6]. también observaron un crecimiento lineal en la MDS del suelo a medida que se incrementaba el porcentaje de polvo de vidrio, logrando su mayor incremento con un 12% de vidrio, alcanzando un aumento del 2.99% en comparación con el suelo natural. Asimismo, Goñas O. y Saldaña J. [10], encontraron que al añadir un 20% de ceniza de carbón, la MDS aumentó de 1.681 a 1.733 g/cm³ en la muestra C-01 y de 1.694 g/cm³ a 1.746 g/cm³ en la muestra C-02, lo que supone incrementos del 3.09% y 3.06%, respectivamente, frente al suelo en su estado natural. En esta investigación, los incrementos observados en la MDS fueron superiores a los reportados en los estudios anteriores, lo que se atribuye a la combinación de vidrio y ceniza de carbón. Este aumento en la densidad se explica por el hecho de que el vidrio sodocálcico tiene una densidad que varía entre 1.44 a 1.6 g/cm³, mientras que la ceniza de carbón presenta una densidad de 0.72 g/cm³ [26]. La mezcla de ambos materiales densifica el suelo, sugiriendo que, al emplear residuos de vidrio y ceniza de carbón más densos, es posible obtener mayores incrementos en la MDS.

En cuanto al OCH los resultados muestran que este se reduce conforme aumenta la cantidad de vidrio y ceniza de carbón en la mezcla. El mayor descenso en el OCH se observó con la dosificación de 4.5% de vidrio y 10% de ceniza de carbón, donde el OCH se redujo de 14.99% a 10.92% en la muestra de la calicata C-01; de 18.67% a 12.62% en la calicata C-02; y de 17.57% a 11.46% en la calicata N° 03, estas reducciones equivalen a un 34.78%, 32.39% y 27.17% respectivamente, en comparación al suelo natural. Estos resultados están en línea con la literatura que trata la incorporación de vidrio, donde se ha demostrado consistentemente que el OCH disminuye a medida que se incrementa la proporción de vidrio en el suelo. Nuruzzaman y Akhtar Hossain [1] señalan que el OCH disminuye con el aumento de porcentajes de vidrio, resultando una reducción de 12.7% utilizando 12% de vidrio. Respecto a la adición con ceniza de carbón, Cabrera y Paredes [4] señalaron que el uso de un 10% de este material produce un ligero aumento de 5.03% en el OCH utilizando 10% de ceniza de carbón. En el presente estudio, se observa una reducción más notable al emplear vidrio triturado y ceniza de carbón, en comparación con investigaciones previas. A pesar de que la dosificación de vidrio utilizada fue menor que en estudios anteriores, este parámetro disminuyó significativamente gracias a la influencia de la ceniza de carbón, que superó las expectativas al lograr una reducción aún mayor

que la esperada según los antecedentes. Este comportamiento puede explicarse por la naturaleza del vidrio que, al ser un material inerte, no tiene capacidad de absorción de agua, a diferencia del suelo arcilloso, que demanda mayores cantidades de agua para alcanzar su Máxima Densidad Seca. Además, la composición química de la ceniza de carbón influye en la capacidad de retención de agua, reduciendo la cantidad necesaria para lograr una mezcla óptima. Por lo tanto, a medida que aumenta el porcentaje de ceniza de carbón el OCH disminuye. La combinación de estos aditivos permite optimizar este parámetro de manera significativa.

Ensayo de CBR

De acuerdo con el tercer objetivo específico, que buscaba comparar las características mecánicas del suelo arcilloso en su estado natural y con la adición de diferentes proporciones de vidrio molido y ceniza de carbón, Los resultados obtenidos muestran que el suelo natural presenta valores bajos de CBR, con 4.2%, 3.48% y 4.0% en las calicatas C-1, C-2 y C-3, respectivamente, lo que clasificaría al suelo como una subrasante insuficiente según las categorías establecidas por el MTC. Sin embargo, al incorporar vidrio y ceniza de carbón, se observan mejoras significativas en los valores de CBR. Con la mezcla de 3.5% de vidrio y 10% de ceniza de carbón, los valores de CBR aumentan a 8.48% ($6 < \text{CBR} < 10$), lo que permite clasificar el suelo como una subrasante "regular", y al aumentar la dosificación a 4.5% de vidrio y 10% de ceniza de carbón, los valores de CBR aumentan a 10.91% ($10 < \text{CBR} > 20$) el 10%, alcanzando la categoría de subrasante "buena". La investigación confirma que la adición de diferentes proporciones de vidrio y ceniza de carbón mejora significativamente el CBR en suelos arcillosos, de acuerdo con los parámetros del Manual de Carreteras del MTC. Estos resultados evidencian una tendencia lineal de aumento del CBR a medida que se incrementa la proporción de vidrio y ceniza de carbón, lo que valida la hipótesis planteada de que la incorporación de estos materiales mejora las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso. Estos resultados son consistentes con estudios previos. Por ejemplo, M. Siyab Khan, M. Tufail y Mateeullah [6] reportaron que al incorporar un 12% de vidrio con partículas menores de 75 μm , el CBR aumentó de 45.10% a 59.61% en comparación con el suelo natural, observándose un incremento constante a medida que se añadía vidrio. De manera similar, H. Canakci, A. AL-Kaki y F. Celik [8] demostraron una tendencia lineal en el aumento del CBR, alcanzando su valor máximo con un 10% de vidrio, con un incremento del 120% en esta proporción. Asimismo, Z. A. Zahra Mahdi y N. S. Al-Hassnawi [1] observaron un aumento significativo en el CBR con una dosificación de 7%, que fue de 1.46% a 13.74%. Los resultados de esta investigación confirman lo señalado en los estudios previos, que destacan un aumento en el

valor de CBR al incorporar aditivos. En este caso, se logró incrementar el CBR de 3.89% a 10%, lo que representa un aumento de 2.57 veces en comparación con el suelo natural. Aunque este valor es inferior a lo esperado, es importante considerar que se utilizó una dosificación menor de materiales en comparación con los estudios anteriores, lo que explica la diferencia en los resultados obtenidos. El aumento de CBR en suelos tratados con vidrio molido y ceniza de carbón puede explicarse por las mejoras físico-mecánicas, tales como la reducción de la plasticidad, una mejor compactación y una disminución en el OCH. Estos factores actúan en conjunto para aumentar la capacidad del suelo de soportar cargas, lo cual se evidencia con los valores altos de CBR registrados en esta investigación.

Conclusiones

- El ensayo de composición química revela que el componente más abundante fue el dióxido de silicio (SiO_2) con un 55.2%, seguidamente se encuentra el trióxido de dialuminio (Al_2O_3) con un 15.2% y el Trióxido de dihierro (Fe_2O_3) con un 7.53%, representando un 77.83%, concluyendo que la ceniza de carbón utilizado en esta investigación es de tipo F (min 70%)
- Los ensayos de caracterización física muestran que el índice de plasticidad disminuye a medida que se incrementa la proporción de aditivos en el suelo, alcanzando su punto más óptimo con una mezcla de 3.5% de vidrio y 10% de ceniza de carbón. Con esta dosificación, se logró reducir el índice de plasticidad de 21.6 a 15.2, lo que representa una disminución del 29.54%. A partir de este valor, el índice se mantiene estable, destacando esta combinación como la que ofrece el mejor comportamiento en términos de consistencia.
- Se determinó que el suelo natural presenta una capacidad de soporte inadecuada para su uso como subrasante ($\text{CBR} < 6\%$) y que su máxima densidad seca era baja. En contraste, al añadir vidrio y ceniza de carbón, el suelo mostró un aumento significativo en los valores de CBR, lo cual se atribuye a la mejora en la densificación alcanzada con estos aditivos. La dosificación óptima resultó ser la de 4.5% de vidrio y 10% de ceniza de carbón, ya que ofreció las mejores propiedades en términos de resistencia y densificación del suelo. Con esta combinación, el CBR aumentó de 4.77% a 10.15%, representando un incremento del 112.63%, mientras que la MDS pasó de 1.728 a 1.818 g/cm^3 , logrando una mejora del 5.21%.
- Se concluye que los costos de los materiales reciclados (Vidrio y Ceniza) son más estables. Mientras que la Cal Viva y el Cemento disparan sus costos linealmente al aumentar la dosificación debido al alto precio de mercado del material virgen, esta propuesta amortiza mejor los costos en volúmenes altos, logrando un ahorro significativo en las dosificaciones más altas.
- La EIA realizada mediante el uso de la Matriz de Leopold, reveló que la acción más agresiva fue la “Excavación masiva a nivel de la rasante con maquinaria”, con un valor de -231, y que el componente ambiental más vulnerable fue el “Nivel de ruidos”, con un valor de -384. Además, el impacto negativo más significativo se observó en la “Trituración de vidrio y ceniza de carbón” en relación con el componente ambiental “Nivel de partículas en suspensión”. Por otro lado, el impacto positivo más destacado fue el “Riego y compactación del material estabilizado”, en términos de la “Calidad y capacidad del suelo”.

Recomendaciones

- Se recomienda continuar esta línea de investigación aumentando los porcentajes de vidrio y reduciendo los de ceniza de carbón, utilizando dosificaciones entre 5% y 15% de vidrio y 5% de ceniza de carbón. Esto permitirá identificar el punto de inflexión a partir del cual el CBR del suelo tratado comienza a disminuir.
- También se recomienda explorar el uso de la mezcla de vidrio y ceniza de carbón en otros tipos de suelos, como arenosos o limosos, así como en suelos arcillosos altamente expansivos. Esto generaría información valiosa y permitiría ajustar las dosificaciones según las necesidades y características específicas de cada proyecto de construcción.

Bibliografía

- [1] P. C., *Estabilización de Suelos Arcillosos*, 2014.
- [2] M. O., *Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada*, 2015.
- [3] H. P., *Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de Suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas*, 2017.
- [4] P. y. Cañar, *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón*, 2017.
- [5] P. M., *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos*, 2012.
- [6] S. A., *Effects of waste glass powder on subgrade soil improvement*, 2020.
- [7] N. y. A. H., *Effect of Soda Lime Glass Dust on the Properties of Clayey Soil*, 2014.
- [8] Terrones, *Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante en el sector Barraza, Trujillo*, 2019.
- [9] P. R., *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos*, Lima, 2012.
- [10] E. J. B. y. A. R. Rodríguez, *Mecánica de Suelos: Fundamentos de la Mecánica*, Limusa Noriega editores, 2005.
- [11] M. D. Braja, «*Fundamentos de ingeniería geotécnica*,» de *Fundamentos de ingeniería geotécnica*, Cuarta ed., México, Cengage learning, 2015.
- [12] M. d. V. C. y. Saneamiento, *Norma CE.020: Suelos y taludes*. Sencico, Lima, 2010.
- [13] M. P. d. M. Nieto, *Conociendo los suelos de Moquegua*, Moquegua: Predes. Centro de Estudios y Prevención de Desastres, 2004.
- [14] M. d. T. y. Comunicaciones, *Manual de carreteras: suelos geología*, Lima, 2014.
- [15] M. B. Gayo, *Análisis de la variabilidad de algunos parámetros geotécnicos de suelos*, Universidad Politécnica de Madrid, 2017.
- [16] M. d. V. C. y. Saneamiento, *Norma CE.020: Suelos y taludes*, Lima, 2010.
- [17] C. y. S. Ministerio de Vivienda, *Norma CE.010: Pavimentos: Pavimentos Urbanos*, Lima, Peru, 2010.

- [18] M. d. T. y. Comunicaciones, *Manual de carreteras: suelos geología, geotécnica y pavimentos*, 2014.
- [19] K. C. B. y. J. C. F. C. Arroyo, *valuación de las Cenizas de Carbón para la Estabilización de Suelos Mediante Activación Alcalina y Aplicación en Carreteras no Pavimentadas*, Lima, 2018.
- [20] S. M. G. y. A. O. Huamán, *Dieño moderno de pavimentos asfálticos*, Lima: Universidad nacional de ingeniería, 2006.
- [21] R. H. Sampieri, *Metodología de la investigación*, Mexico: INTERAMERICANA EDITORES, 2014.
- [22] V. Conesa, *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*, Mexico: Mundi-Prensa, 2010.
- [23] BIGBAGPERU, *Tabla de densidades*, Peru, 2015.
- [24] M. B. Gayo, *Análisis de la variabilidad de algunos parámetros geotécnicos de suelos*, Madrid, 2017.

Anexos

Anexo 01: Ubicación de calicatas

Croquis de Ubicación



Ubicación de calicatas en intersecciones de la zona de estudio

| CALICATA | Ubicación (Intersecciones) |
|----------|---|
| C-01 | Calle Inhuatana y la calle Santos Atahualpa |
| C-02 | Calle Antenor Orrego y la calle 22 de octubre |
| C-03 | Calle Puerto Rico y la calle Triunfo |

Anexo 02: Dosificaciones de Vidrio y Ceniza de Carbón

Límites de Atterberg: Peso unitario de materiales en g

| MUESTRA | SUELO NATURAL (g) | VIDRIO (g) | CENIZA DE CARBON (g) |
|-------------------------|-------------------|------------|----------------------|
| 100% SN + 0%V + 0%CC | 150 | 0 | 0 |
| 100% SN + 2.5%V + 10%CC | 150 | 3.75 | 15 |
| 100% SN + 3.5%V + 10%CC | 150 | 5.25 | 15 |
| 100% SN + 4.5%V + 10%CC | 150 | 6.75 | 15 |
| TOTAL | 600 | 15.75 | 45 |

Proctor Modificado: Peso unitario de materiales en g

| MUESTRA | SUELO NATURAL (g) | VIDRIO (g) | CENIZA DE CARBON (g) |
|------------------------|-------------------|------------|----------------------|
| 100%SN + 0%V + 0%CC | 3000 | 0 | 0 |
| 100%SN + 2.5%V + 10%CC | 3000 | 75 | 300 |
| 100%SN + 3.5%V + 10%CC | 3000 | 105 | 300 |
| 100%SN + 4.5%V + 10%CC | 3000 | 135 | 300 |
| TOTAL | 12000 | 315 | 900 |

CBR: Peso unitario de materiales en g

| MUESTRA | SUELO NATURAL (g) | VIDRIO (g) | CENIZA DE CARBON (g) |
|------------------------|-------------------|------------|----------------------|
| 100%SN + 0%V + 0%CC | 5000 | 0 | 0 |
| 100%SN + 2.5%V + 10%CC | 5000 | 125 | 500 |
| 100%SN + 3.5%V + 10%CC | 5000 | 175 | 500 |
| 100%SN + 4.5%V + 10%CC | 5000 | 225 | 500 |
| TOTAL | 20000 | 525 | 1500 |

Cantidad de ensayos por calicata

| MUESTRA P/CALICATA | LIMITES ATT. | Proctor | CBR |
|------------------------|--------------|---------|-----|
| 100%SN + 0%V + 0%CC | 2 | 3 | 10 |
| 100%SN + 2.5%V + 10%CC | 2 | 3 | 10 |
| 100%SN + 3.5%V + 10%CC | 2 | 3 | 10 |
| 100%SN + 4.5%V + 10%CC | 2 | 3 | 10 |

Límites de Atterberg: Peso total de materiales para 2 ensayos p/combinación/calicata en g

| MUESTRA | SUELO NATURAL (g) | VIDRIO (g) | CENIZA DE CARBON (g) |
|------------------------|-------------------|------------|----------------------|
| 100%SN + 0%V + 0%CC | 300 | 0 | 0 |
| 100%SN + 2.5%V + 10%CC | 300 | 7.5 | 30 |
| 100%SN + 3.5%V + 10%CC | 300 | 10.5 | 30 |
| 100%SN + 4.5%V + 10%CC | 300 | 13.5 | 30 |
| TOTAL | 1200 | 31.5 | 90 |

Proctor Modificado: Peso total de materiales para 3 ensayos p/combinación/calicata en g

| MUESTRA | SUELO NATURAL (g) | VIDRIO (g) | CENIZA DE CARBON (g) |
|--------------------------------------|-------------------|------------|----------------------|
| 100%SN + 0%V + 0%CC | 36000 | 0 | 0 |
| 100%SN + 2.5%V + 10%CC | 36000 | 225 | 900 |
| 100%SN + 3.5%V + 10%CC | 36000 | 315 | 900 |
| 100%SN + 4.5%V + 10%CC | 36000 | 405 | 900 |
| TOTAL | 144000 | 945 | 2700 |

CBR: Peso total de materiales para 10 ensayos p/combinación/calicata en g

| MUESTRA | SUELO NATURAL (g) | VIDRIO (g) | CENIZA DE CARBON (g) |
|--------------------------------------|-------------------|------------|----------------------|
| 100%SN + 0%V + 0%CC | 150000 | 0 | 0 |
| 100%SN + 2.5%V + 10%CC | 150000 | 1250 | 5000 |
| 100%SN + 3.5%V + 10%CC | 150000 | 1750 | 5000 |
| 100%SN + 4.5%V + 10%CC | 150000 | 2250 | 5000 |
| TOTAL | 600000 | 5250 | 15000 |

Peso total de materiales: Suelo arcilloso – Vidrio – Ceniza de Carbón p/1C y 3C en kg

| TOTAL CALICATA | Suelo (kg) | Vidrio (kg) | Ceniza (kg) |
|-------------------|---------------|----------------|--------------|
| 1 Calicata | 745.2 | 6.2265 | 17.79 |
| 3 Calicata | 2235.6 | 18.6795 | 53.37 |

Anexo 05: Panel Fotografico

Excavacion de Calicata N°01: calle Intihuatana frente al lote 14 Mz D



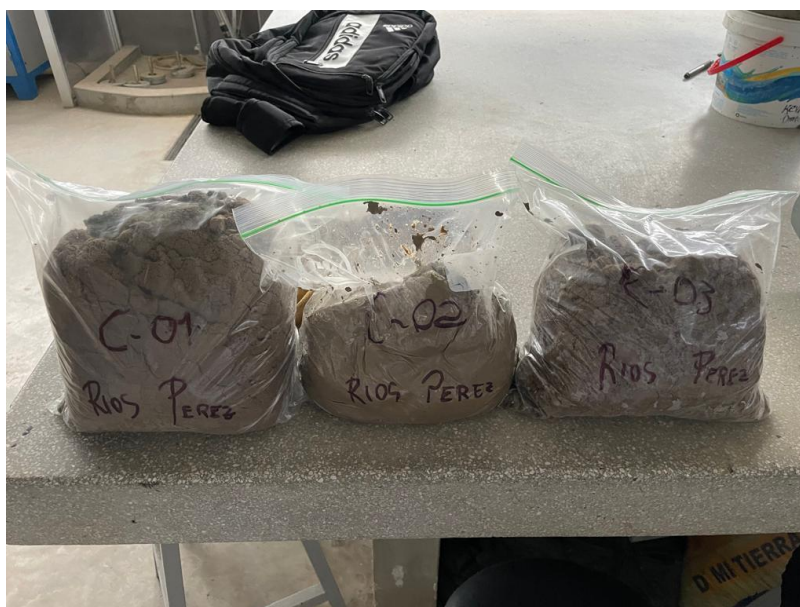
Excavacion de la Calicata N°02: la calle Antenor Orrego y 22 de febrero



Excavacion de la Calicata N°03: Calle Puerto Rico y la calle Triunfo



Extraccion de muestra en estado natural para calcular el contenido de humedad



Colocacion de muestras al horno para contenido de humedad



Reposo de material para granulometría de agregado fino



Analisis granulometrico por tamizado



Trituración de suelo y tamizado por la malla N°40 para Límites de Atterberg



Limites Liquido: Combinacion suelo-agua destilada, reposo 24h, verificacion de altura 1cm, emparejamiento, separacion con ranura y conteo de golpes



Limites Plastico: Muestra de 30g de LL, moldeado ,cilindros de 3mm, colocacion de muestra a horno



Proctor Modificado: Muestra pasante por tamiz N°4, peso de 3kg



Determinación de peso, medición con vernier de diámetro y altura de molde



Compactación de 5 capas con martillo apisonador de 4.5kg



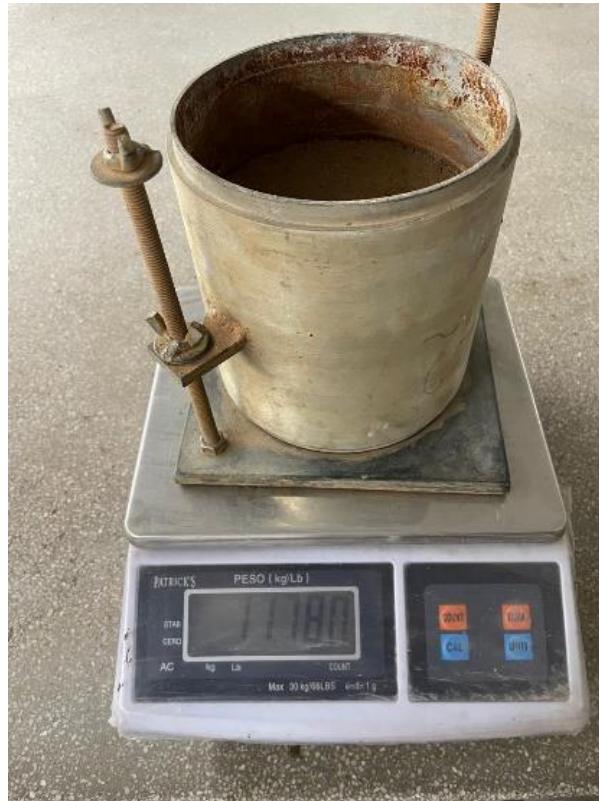
Enrasado y determinación del peso de suelo compactado



Ensayo de CBR: Adición de humedad óptima y mezclado



Enrasado, desarticulación de molde para colocación de papel filtro



Determinacion de peso, inmesion de moldes 24h/7d, medicion de hinchamiento, penetracion



Selección de ceniza de carbon obtenida de la ladrillera artes., Crtra. Fernando Belaunde Terry, Illimo



Selección de vidrio obtenida de la vidriera NORGLASS EIRL, Juan Cuglievan 1249, Chiclayo



Triturado de vidrio usando un molino artesanal eléctrico por primera y segunda vez



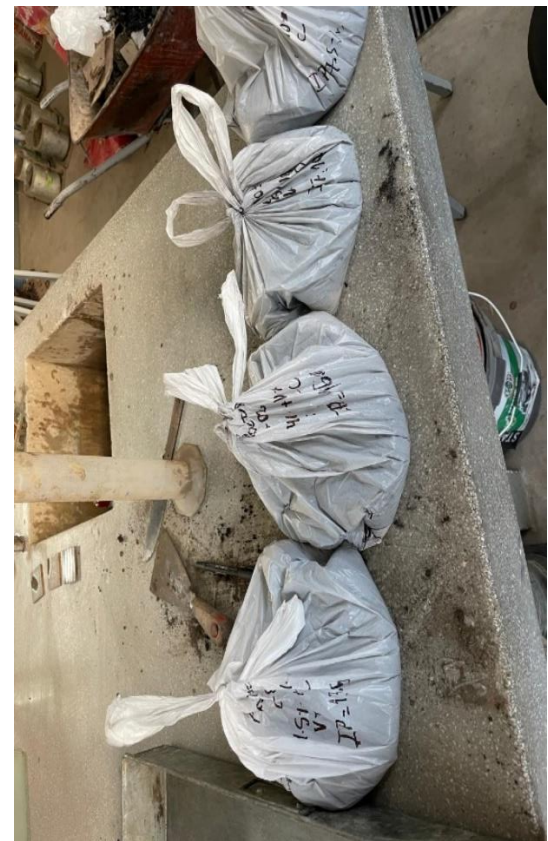
Filtración de vidrio por el tamiz #50



Preparacion de mezcla de suelo natural con vidrio y ceniza de carbon p/ limites de Atterberg



Preparacion de mezcla de suelo natural con vidrio y ceniza de carbon p/ Proctor Mod - CBR



Anexo 06: Informes de Resultados de Ensayos de Laboratorio

Análisis de muestra por fluorescencia de rayos X de la ceniza de carbon, ASTM C25

RIVELAB

LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE ENSAYO N°582-2024-RIVELAB/FQ

Emitido en Trujillo, el 18 de setiembre de 2024

| | |
|-------------------------------|--|
| ORDEN DE SERVICIO | 011-120924CZ |
| SOLICITANTES | Frank Eduardo Ríos Pérez |
| TITULO DE TESIS / UNIVERSIDAD | "Estabilización de suelos arcillosos utilizando cenizas de carbón con vidrio molido para su uso como subrasante" |
| ENSAYO SOLICITADO | Físico Químico |
| MUESTRA RECEPCIONADA | Ceniza de carbón vegetal |
| TAMAÑO DE MUESTRA | 200 g |
| CODIFICACION DE LA MUESTRA | CZ-C1 |
| PROCEDENCIA DE MUESTRA | Muestra proporcionada por el solicitante |
| FECHA DE INICIO DE ENSAYOS | 12/09/2024 |
| FECHA DE TERMINO DE ENSAYOS | 17/09/2024 |

RESULTADOS

ANALISIS QUIMICOS (AQ)

| DETERMINACIONES | UNIDADES | RESULTADOS CZ-C1 |
|--|----------|---------------------|
| SiO ₂ | % | 55.20 |
| Al ₂ O ₃ | % | 15.10 |
| Fe ₂ O ₃ | % | 7.53 |
| CaO | % | 10.07 |
| MgO | % | 3.28 |
| SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ | — | 77.83 |

METODOS O NORMAS

| ENSAYO | NORMA O REFERENCIA |
|--------------------------------|--|
| Fe ₂ O ₃ | Cálculos a partir de óxidos combinados |
| Al ₂ O ₃ | Gravimetría |
| SiO ₂ | Gravimetría |
| CaO y MgO | Volumetría |


 Dr. JOSE RIVERO CORCUERA
 Ingeniero Químico
 R. CIP. 130519



INFORME N°582-24- RIVELAB / Pag. 1

Certificado de calibración por INACAL – Instituto Nacional de Calidad



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Laboratorio Itinerante 1

Informe de Calibración

LM - LI1 - 001 - 2024

Página 1 de 5

| | | |
|--|---|---|
| Expediente | 1045739 | <p>Este informe de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metroológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP).</p> <p>La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las Intercomparaciones que éste realiza en la región.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p> |
| Solicitante | LABORATORIO RIVERO S.A.C. - RIVELAB S.A.C. | |
| Dirección | Av. Isabel de Bobadilla N° 524 Urb. Monserrate IV Etapa - Trujillo | |
| Instrumento de Medición | BALANZA | |
| Marca | FAITHFUL | |
| Modelo | FA2104N | |
| Número de Serie | 1012011035 | |
| Intervalo de Indicaciones | 0 g a 210 g | |
| División de escala real (d) | 0,0001 g | |
| División de verificación de escala (e) | 1 mg | |
| Procedencia | NO INDICA | |
| Tipo | ELECTRONICA | |
| Clasificación | NO AUTOMATICA | |
| Fecha de Calibración | 2024-03-03 | |

Este informe de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Informes sin firma digital y sello carecen de validez.

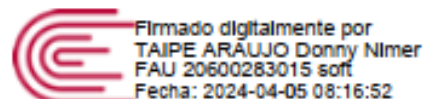


Responsable del área



Dirección de Metrología

Responsable del laboratorio



Dirección de Metrología

Matriz de consistencia

| <i>"Estabilización de suelos arcillosos utilizando cenizas de carbón con vidrio molido para uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos"</i> | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|---------------------------------------|---|--|
| PROBLEMA | OBJETIVO | HIPOTESIS | VARIABLES E INDICADORES | INDICADOR | RANGO DE APLICACIÓN | METODOLOGIA | |
| ¿Cómo influye la incorporación de cenizas de carbon con vidrio triturado sobre las propiedades geotecnicas de suelos arcillosos para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos? | Objetivo General: | "La incorporación de ceniza de carbón con vidrio triturado mejorara las propiedades geotécnicas de un suelo arcilloso" | Variable Independiente (X) | | | | |
| | * Evaluar la estabilización de suelos adicionando cenizas de carbón y vidrio reciclado molido como agente estabilizador de un suelo arcilloso para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos | | Incorporacion de ceniza de carbon con vidrio triturado | Ceniza de carbon | 10% | Hoja de Registro | |
| | | | | Vidrio triturado | 2.5%, 3.5%, 4.5% | Hoja de Registro | |
| | Objetivos especificos: | | | Variable Dependiente (Y) | | | |
| | * Determinar y comparar las características físicas del suelo arcilloso en estado virgen y adiciones variables de vidrio molido con ceniza de carbón en diferentes granulometrias | | Propiedades geotecnicas de un suelo arcilloso | Distribucion granulometrica | --- | Granulometria por tamizado (MTC E107) | |
| | | | | Limites de consistencia | --- | Limite liquido (MTC E110), Limite plástico (MTC E111) | |
| | Contenido de Humedad | | | --- | Contenido de humedad (MTC E108) | | |
| | Gravedad Especifica | | | --- | Gravedad Especifica (AASHTO T-100-70) | | |
| | Proctor Modificado | | | --- | Proctor modificado (MTC E115) | | |
| | CBR | | | --- | CBR en suelos (MTC E132) | | |
| * Evaluar el impacto ambiental de la estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de carbón con vidrio molido para su uso como subrasante mejorada | | Variable Interviniente | | | | | |
| * Realizar un estudio de viabilidad económica | Diametro de vidrio triturado | - | 300 µm (Malla N°50) | Tamiz | | | |
| | Diametro de ceniza de carbon | - | 75 µm (Malla N°200) | Tamiz | | | |
| | Composicion quimica de CC | - | - | Espectometro de Fluorescencia de Rayos X | | | |

Anexo 07: Evaluación de Impacto Ambiental**EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL DEL
PROYECTO “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS
ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CARBÓN
CON VIDRIO MOLIDO PARA SU USO COMO
SUBRASANTE MEJORADA EN PAVIMENTOS
URBANOS”**

EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL

OBJETIVO GENERAL DE LA EIA

Definir los impactos que genere el proyecto “Estabilización de suelos arcillosos utilizando cenizas de carbón con vidrio molido para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos”, establecer medidas de mitigación a niveles aceptables y prevenir el deterioro ambiental que podría causar la operación de las mismas en la fase de construcción.

MARCO LEGAL

Actualmente, las normativas y disposiciones legales, tanto a nivel nacional como internacional, que se aplican a los Estudios de Impacto Ambiental, sirven como un marco de referencia esencial a seguir durante el proceso de reconstrucción de obras.

- **Constitución Política del Perú**

La Constitución Política de 1993 establece en el Artículo 66° que los recursos naturales, tanto renovables como no renovables, son patrimonio de la Nación, destinados a su explotación responsable para el desarrollo del país. Además, los Artículos 67° al 69° detallan las responsabilidades del Estado en cuanto a la política ambiental, la conservación de los recursos y la promoción del desarrollo sostenible.

- **Reglamento Nacional de Edificaciones**

La Ley N° 27779, junto con la Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Ley N° 27792), asigna a este ministerio la tarea de crear, implementar y supervisar políticas nacionales en áreas de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento, estableciendo normas obligatorias. El Artículo 5 resalta que las edificaciones deben diseñarse de manera que garanticen seguridad, calidad de vida y protección del medio ambiente, integrándose armónicamente en su entorno y evitando su deterioro.

- **Ley General del Ambiente**

La Ley N° 28611, promulgada el 13 de octubre de 2005, tiene como objetivo principal ordenar el marco normativo para la gestión ambiental en Perú. Establece principios y normas básicas para garantizar el derecho a un ambiente saludable y equilibrado, promoviendo una

gestión ambiental efectiva que proteja el entorno y sus componentes. Su finalidad es mejorar la calidad de vida de la población y fomentar el desarrollo sostenible del país.

- **Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental**

La Ley N° 27446, promulgada el 23 de abril de 2005, tiene como objetivo la creación del Sistema Nacional de Evaluación Ambiental (SEIA), un sistema único y coordinado para identificar, prevenir, supervisar, controlar y corregir de manera anticipada los impactos ambientales negativos. El Artículo 10 establece que los EIA deben incluir: una descripción del proyecto y su área de influencia, la identificación de impactos ambientales a lo largo del ciclo del proyecto, una estrategia de manejo ambiental, planes de seguimiento y control,

- **Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental**

El Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, publicado el 25 de septiembre de 2009, establece el reglamento de la Ley del SEIA, con el propósito de identificar, prevenir, supervisar, controlar y corregir de forma anticipada los impactos ambientales negativos causados por proyectos de inversión, políticas, planes y programas públicos.

- **Ley de Evaluación de Impacto Ambiental para Obras y Actividades**

La Ley N° 26786, promulgada el 13 de mayo de 1997, modifica los Artículos 51° y 52° del Decreto Legislativo N° 757, estableciendo la obligación de notificar al CONAM sobre actividades en cada sector que puedan superar los límites permisibles de contaminación y los límites máximos de impacto ambiental acumulado.

- **Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental**

La Ley N° 29325, publicada el 5 de marzo de 2009, establece el Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental, que es gestionado por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Su objetivo es asegurar que todas las personas y entidades cumplan con la legislación ambiental, supervisando y garantizando la evaluación, supervisión, control y sanciones en materia ambiental por parte de las distintas entidades del Estado.

- **Código Penal**

El Título XIII, sobre Delitos Contra la Ecología, en su capítulo único referente a los delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente, establece en el Artículo 304° que quien contamine el medio ambiente infringiendo las normas, vertiendo residuos sólidos, líquidos o gaseosos por encima de los límites permitidos y que causen daño o riesgo a la flora, fauna o recursos hidrobiológicos, será sancionado con prisión de uno a tres años o una multa de 180 a 365 días. También se mencionan la contaminación agravada (Artículo 305°) y el daño al ambiente natural (Artículo 313°), además de otros delitos contra la ecología.

- **Ley del Consejo Nacional del Ambiente (CONAM)**

La Ley N° 26410, promulgada en diciembre de 1994, designa a un organismo rector responsable de la política ambiental nacional, encargado de planificar, promover, coordinar, controlar y proteger el medio ambiente. Entre sus funciones, destaca la de establecer criterios generales para la elaboración de EIA y la fijación de los límites máximos permisibles, así como supervisar la implementación de la política ambiental por parte de los Gobiernos Locales.

- **Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental**

La Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, promulgada el 8 de junio de 2004, busca garantizar que las entidades públicas cumplan de manera efectiva con sus objetivos ambientales. Además, fortalece los mecanismos de coordinación entre diferentes sectores en la gestión ambiental. Establece el rol del Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) y de las entidades sectoriales, regionales y locales, para asegurar que desempeñen sus funciones sin generar duplicidades, vacíos, omisiones o conflictos en sus competencias.

- **Decreto de Urgencia para el Fortalecimiento de la Identificación y Gestión de Pasivos Ambientales**

De acuerdo con el artículo 135 de la Constitución Política del Perú, y mediante el Decreto Supremo N° 165-2019-PCM, aprobado por la Resolución Legislativa N° 26181, se prioriza la restauración y protección de los ecosistemas que brindan servicios esenciales. El artículo 1 destaca la importancia de abordar los pasivos ambientales causados por actividades productivas, extractivas o de servicios. El artículo 2 se enfoca en prevenir y mitigar los daños a los ecosistemas, protegiendo tanto la salud de las personas como el medio ambiente.

- **Ley Orgánica de Gobiernos Regionales**

La Ley Orgánica de Gobiernos Regionales (Ley N° 27867) establece en su artículo 6 que el desarrollo regional debe estar en armonía con el crecimiento poblacional, el progreso social equitativo y la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente. Este desarrollo busca un equilibrio entre generaciones, promoviendo el uso racional de los recursos naturales para alcanzar los objetivos de desarrollo, proteger el medio ambiente y preservar la biodiversidad.

- **Ley Orgánica de Municipalidades**

La Ley Orgánica de Municipalidades (Ley N° 27972), promulgada el 26 de mayo de 2003, define las funciones de las municipalidades. Entre ellas, establece que deben emitir normas técnicas para proteger y conservar el medio ambiente (Artículo 73°, inciso d). Además, tienen la responsabilidad de regular la concesión de licencias y supervisar las actividades de control y fiscalización de las municipalidades distritales, en concordancia con los planes y estudios de impacto ambiental, según las normas técnicas correspondientes (Artículo 79°, incisos 1 y 4).

- **Ley General de la Salud**

La Ley N° 26842, promulgada el 9 de julio de 1997, establece que la protección del medio ambiente es una responsabilidad compartida entre el Estado, las personas naturales y las empresas (Artículo 103°). Todos tienen la obligación de mantener los estándares de calidad definidos por las autoridades de salud para proteger la salud de las personas. Además, según el Artículo 104°, ninguna persona ni empresa puede realizar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, aire o suelo sin antes tomar las medidas de purificación exigidas por las normas sanitarias y ambientales.

- **Ley de Seguridad y Salud en el trabajo**

El objetivo es fomentar una cultura de prevención de riesgos laborales en el país. Para lograrlo, se establece que los empleadores deben asumir la responsabilidad de prevenir riesgos, mientras que los trabajadores y sus sindicatos participan activamente. A través del diálogo social, ambas partes trabajan juntas para promover, difundir y garantizar el cumplimiento de las normas relacionadas con la seguridad laboral.

- **Reglamento de Estándares de Calidad del Aire**

El Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, aprobado el 24 de junio de 2001 por el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, establece las reglas para asegurar la calidad del aire y proteger la salud pública. Está dividido en 5 títulos, con 28 artículos, disposiciones complementarias y anexos. Su enfoque principal es fijar los límites máximos de contaminantes en el aire, conocidos como estándares primarios, que no deben superarse para evitar riesgos a la salud. El reglamento también define los mecanismos y plazos necesarios para alcanzar estos objetivos.

Tabla N°37. Estándares de Calidad Ambiental para Aire.

| Contaminantes | Periodo | Forma del Estándar | | Método de Análisis |
|--|----------|----------------------|------------------|--|
| | | Valor | Formato | |
| Dióxido de azufre | 24 horas | 80 g/m ³ | Media aritmética | Fluorescencia UV (método automático) |
| | 24 horas | 20 g/m ³ | Media aritmética | |
| PM2.5 | 24 horas | 50 g/m ³ | Media aritmética | Separación inercial/ filtración (gravimetría) |
| | 24 horas | 25 g/m ³ | Media aritmética | |
| Hidrocarburos Totales (HT) expresado como Hexano | 24 horas | 100 g/m ³ | Media aritmética | Ionización de la llama de hidrógeno) |
| Benceno | Anual | 4 g/m ³ | Media aritmética | Cromatografía de gases |
| | | 2 g/m ³ | Media | |

- **Límites Permisibles para Ruidos**

Mediante el Decreto Supremo N° 085- 2003-PCM del 24 de octubre del 2003, se aprueba el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido, el cual consta de 5 títulos, 25 artículos, 11 disposiciones complementarias, 2 disposiciones transitorias y 1 anexo.

Tabla N°38. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Ruido.

| ZONAS DE APLICACIÓN | Niveles de ruido (LAeqT) | |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | Horario Diurno 07:01 - 22:00 | Horario Nocturno 22:00 - 07:00 |
| Zona de protección especial | 50 | 40 |
| Zona Residencial | 60 | 50 |
| Zona Comercial | 70 | 60 |
| Zona Industrial | 80 | 70 |

- **Ley General de Residuos Sólidos**

La Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314), promulgada el 21 de julio del 2000, tiene como objetivo garantizar una gestión adecuada y sostenible de los residuos sólidos. Para ello, fomenta la colaboración y alineación de políticas y acciones entre todos los actores involucrados. Los principios clave se explican en el Artículo 4. En este proyecto, los residuos que se generen, especialmente los de construcción, se clasifican siguiendo lo que establece el Artículo 15 de la ley.

- **Ley que Establece la Obligación de Elaborar y Presentar Planes de Contingencia**

La Ley N° 28551, aprobada el 19 de junio de 2010, establece la obligación de crear y presentar planes de contingencia. Estos deben alinearse con los objetivos, principios y estrategias del Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres. La ley también define el procedimiento a seguir para su elaboración.

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROYECTO

Antecedentes

La ceniza de carbón obtenida de una ladrillera tiene un impacto ambiental significativo, debido a que su generación resulta del uso de carbón como combustible en los hornos. Estas cenizas, si no son gestionadas adecuadamente, contribuyen a la contaminación del suelo y del aire. Sin embargo, su reutilización en la estabilización de suelos podría mitigar parte de este impacto. Al integrar las cenizas en la estabilización de suelos, se reduce la acumulación de estos residuos, disminuyendo la necesidad de desechos en vertederos y reduciendo indirectamente las emisiones de CO₂ que generan las ladrilleras al quemar carbón.

Con respecto al vidrio, su proceso de fabricación genera altas emisiones de CO₂ debido al consumo de energía necesario para fundir las materias primas, como silicio, carbonato de sodio y caliza. La extracción y procesamiento de estos materiales también contribuyen al impacto ambiental. Por ello, su reutilización en la estabilización de suelos no solo ayuda a disminuir los residuos, sino que también reduce la necesidad de producir más vidrio, mitigando así las emisiones de CO₂.

Ubicación y Extensión

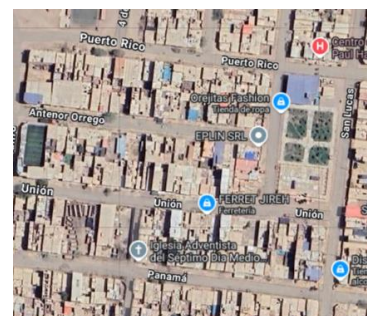
El proyecto se desarrolla en la región Lambayeque, provincia de Chiclayo y distrito de José Leonardo Ortiz en la Urb. Nuevo San Lorenzo etapa 4, en las calles: Av. Chiclayo, Av. Mariano Cornejo, calle Venezuela y calle progreso; con un área de 12060m².



Chiclayo – Distrito de Jose
Leonardo Ortiz



Urbanizacion Nuevo San
Lorenzo Etapa 4



Zona de estudio ubicada entre:
Puerto Rico, Intihuatana,
Santos Atahualpa y La Paz

Ilustracion N°65. Ubicación geográfica del proyecto.

Características actuales

Los suelos arcillosos resultan ser los más problemáticos debido a su baja resistencia, su notable capacidad de expansión y su alta deformabilidad, características que se reflejan claramente en las condiciones actuales de las calles cercanas a la zona de estudio.

Se puede afirmar que el suelo arcilloso presenta signos de deterioro y hundimientos, lo que sugiere que este tipo de suelo tiene baja capacidad de soporte y es propenso a deformarse con el tiempo, especialmente bajo cargas de tráfico. Estos signos son comunes en suelos arcillosos que tienden a cambiar de volumen al mojarse y secarse, lo que afecta gravemente la estabilidad de los suelos. Además, la falta de compactación adecuada o el uso de técnicas de construcción inapropiadas puede contribuir a la aparición de estos daños visibles.

Características técnicas del proyecto a implementar

El proyecto consiste en el mejoramiento de subrasante con adición de ceniza de carbón y vidrio de la Urb. La Nuevo San Lorenzo Etapa 4 – José Leonardo Ortiz - Chiclayo

Descripción de actividades

El proceso comprende:

ETAPA PRE - CONSTRUCTIVA

- **ACTIVIDADES PRELIMINARES**

En la fase preconstructiva, las actividades iniciales consisten en el transporte de los estabilizantes y materiales, la instalación de la señalización vial, y la colocación del cartel de obra, todas ellas de carácter provisional.

- **OBRAS PRELIMINARES**

De manera simultánea, se ejecutan el cierre vial, la limpieza manual del terreno, y el trazado, nivelación y replanteo. También se procede con la movilización y desmovilización de maquinarias, equipos, insumos y materiales de construcción

ETAPA CONSTRUCTIVA

- **OBTENCION DE VIDRIO**

El proceso para obtener vidrio implica la recolección de trofeos, ventanas, mamparas, etc otros productos de vidrio descartados. Luego, se procede a la limpieza de los residuos (Lavado y secado), su trituración en pequeños fragmentos con el uso de herramientas como comba y martillo, y finalmente el vidrio es llevado a un molino eléctrico donde se pasan las veces que sean necesarias para obtener el tamaño requerido, considerando una bomba de 2HP se realiza 3 veces para obtener un tamaño de 300 μ

- **OBTENCIÓN DE CENIZA DE CARBON**

El proceso de obtención de la ceniza de carbón se realiza a partir de los residuos generados en una ladrillera. Este procedimiento incluye la recolección de las cenizas producidas tras la combustión del carbón en los hornos de la ladrillera. Posteriormente, la ceniza se enfría, se almacena de manera adecuada y se somete a un tamizado para eliminar partículas no deseadas, garantizando un material uniforme y listo para su uso.

- **ESTABILIZACIÓN**

El proceso comenzará con una excavación profunda hasta la rasante, removiendo el material sobrante. Luego, se aplicará una mezcla de ceniza de carbón, vidrio triturado como estabilizante, que será homogenizado, regado y compactado. Finalmente, se hará el curado, la colocación del ligante y la carpeta asfáltica, y se verificará la rasante antes de instalar la señalización vial.

- **OBRAS COMPLEMENTARIAS FINALES**

Como parte de las obras complementarias, se llevará a cabo la limpieza final tanto dentro como en los alrededores de la obra, junto con el desmonte de las construcciones provisionales. Además, como parte del plan de mitigación ambiental, se realizará la siembra de árboles y arbustos. Todas estas actividades se completarán en un plazo de 90 días calendario.

ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

El área de influencia del proyecto se refiere a la parte del territorio donde podrían manifestarse los impactos ambientales, afectando el entorno biológico, físico, cultural y

socioeconómico de la zona en estudio, como resultado de las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto

- **Área de influencia directa**

Incluye tanto el área donde se llevará a cabo la obra como la zona donde se evidenciarán directamente los impactos generados por las actividades del proyecto en todas sus fases durante la etapa de construcción.

El área afectada por la construcción de la infraestructura propuesta en el proyecto, incluyendo los espacios destinados a las obras e instalaciones es de 97,602 m², donde involucra:

Por el Norte: con viviendas, tiendas, unidad ejecutora Chiclayo/UPIRV de la calle Santos Atahualpa

Por el Sur: con viviendas, tiendas, iglesia “adventista”, ferreterías, entre otros a lo largo de la calle Panamá

Por el Este: con viviendas, el centro de Salud “Paul Harris”, iglesia “Glory”, entre otros a largo de la calle San Lucas

Por el Oeste: con viviendas, la iglesia “Nazareno, restaurantes”, comisaria “La Familia”, entre otros a lo largo de la calle Niño Héroe

- **Área de influencia indirecta**

Esta área abarca las zonas donde los impactos se presentarán de manera más leve, además de aquellas que podrían verse afectadas de forma indirecta por las actividades del proyecto. En total, cubre una superficie de 194.315 m².



LEYENDA

| | |
|--|------------------------------|
| | Área del proyecto |
| | Área de influencia directa |
| | Área de influencia indirecta |

Ilustración N°66. Mapa de área de influencia directa e indirecta.

LÍNEA BASE AMBIENTAL (LBA)

Se encargará de realizar el seguimiento y verificar que todo se cumpla, en base a una fotografía de cómo están los factores ambientales antes de iniciar el proyecto

Línea Base Física (LBF)

A continuación, se presenta los resultados de la Línea Base Física:

| LBF | Descripcion |
|----------------------------|---|
| Mapa Base | La zona de estudio se realizará en: Av. Chiclayo, Av. Mariano Cornejo, calle Venezuela y calle progreso; en la Urb. Nueno San Lorenzo Etapa 4, ubicada en el distrito de Jose Leonardo Ortiz, Provincia de Chiclayo. |
| Geologia | Chiclayo se encuentra en una región costera con suelos predominantemente arenosos y arcillosos, siendo la erosión un factor relevante en las áreas cercanas a los rios. La actividad de deslizamientos de la tierra son fenómenos geológicos comunes en la región. |
| Geografia | Chiclayo está ubicado a 13 km de la costa del Pacífico, en la región de Lambayeque. Es una ciudad relativamente plana, con una altitud promedio de 27 metros sobre el nivel del mar, lo que la hace vulnerable a inundaciones. |
| Clima y Temperatura | El clima de Chiclayo es cálido y seco, caracterizado como desértico subtropical. La temperatura media anual varía entre 18°C y 32°C. Los meses más cálidos son febrero y marzo, con temperaturas que pueden alcanzar hasta 33.5°C |
| Calidad del aire | La calidad del aire en Chiclayo es generalmente buena, aunque el entorno desértico y los vientos frecuentes pueden levantar polvo en ciertas áreas, lo que aumenta la presencia de partículas en suspensión, especialmente aquellas menores a 2.5 micrones (PM 2.5). A pesar de esto, la contaminación atmosférica es baja y no representa un riesgo significativo para la salud. |
| Recurso suelo | En el sector III, según la microzonificación de Chiclayo, se ha clasificado el suelo de apoyo como arcilloso, con niveles de media y alta plasticidad, y pequeñas proporciones de arena (SC, SM y SP). Este suelo se encuentra dividido en tres estratos: blando a medio, semiduro y duro a rígido, con un grado de expansión de moderado a alto y una capacidad portátil que varía entre 0,5 y 1,0 kg/cm ² . Debido a estas características, se recomienda mejorar el sustrato del suelo antes de colocar el pavimento, para asegurar su estabilidad. |
| Topografia | La topografía de Chiclayo es mayormente llana, con ligeras elevaciones que no superan los 50 metros de altura. Esto facilita la construcción, pero también hace que la ciudad sea propensa a inundaciones durante las lluvias intensas. |
| Precipitacion | La precipitación anual es de 88.9 mm aproximadamente |

Línea Base Biológica (LBB)

A continuación, se presenta los resultados de la Línea Base Biológica:

| LBB | Descripción |
|------------------------------|---|
| Formación ecológica | El área donde se desarrollará el proyecto no se encuentra dentro de una zona de interés ecológico |
| Flora | La vegetación de la zona de estudio se puede observar principalmente en los jardines de las viviendas y en el parque que rodea las calles |
| Paisajes | En la zona estudiada no se ha encontrado la presencia de paisajes naturales de interés geológico. |
| Ecosistemas acuáticos | En el área donde se desarrollará el proyecto no se encuentran ecosistemas |
| Áreas naturales | En el área donde se desarrollará el proyecto no se encuentran áreas natural protegida. |

Línea Base Socioeconómica

| LBS | Descripción |
|---|--|
| Comunidades campesinas y nativas | En el área evaluada no se encuentran comunidades campesinas que puedan ser afectadas o beneficiadas directamente con el proyecto |
| Educación | En el área donde se llevará a cabo el proyecto y su zona de influencia, se encuentran las siguientes instituciones: IEP "Uniciencia", IEP Horacio Zevallos, IEP "San Lorenzo" |
| Salud | El puesto más cercano al proyecto es el centro de salud "Paul Harris", además hay (5) boticas |
| Economía | Alrededor del área del proyecto se ubican diferentes establecimientos, como hostales (1), restaurantes (6), ferreterías (4), campos deportivos (3), peluquerías (2), tienda de ropa (4), librería (1), veterinaria (1) que reflejan la dinámica comercial de la zona. |
| Transporte | En el área de influencia predominan los vehículos motorizados como mototaxis, autos y motos, junto con bicicletas. La zona no cuenta con calles asfaltadas, lo que presenta una oportunidad para un proyecto de mejora vial. |
| Comunicaciones | La población no enfrenta problemas de comunicación, ya que tiene acceso a servicios como telefonía e internet. Esto es posible gracias a que se encuentra en una zona urbana |
| Problemática social | La Primavera tiene un pavimento en mal estado y sin un sistema de drenaje pluvial, lo que limita la circulación vehicular y el acceso a los servicios. Esto genera inseguridad e incomodidad entre los residentes, ya que el agua de lluvia se acumula en los huecos, empeorando la situación. |

Diagnóstico Arqueológico

En la zona de estudio, a pesar de ser un área urbana y como parte del proceso de cualquier proyecto de inversión, se obtendrá el CIRA (Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos) para confirmar la ausencia de dichos restos, concluyendo que no se encontraron vestigios. arqueológicos.

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Existen varias metodologías para la realización de la evaluación de impacto ambiental, para este proyecto utilizaremos el método MATRIZ DE LEOPOLD.

Matriz de Leopold

Es una herramienta utilizada en construcción para evaluar impactos ambientales, donde se registran las acciones del proyecto y los factores que pueden afectarlo. Después de ejecutar cada acción, se evalúan los factores ambientales que tienen un impacto significativo, marcando una diagonal en las celdas donde se cruzan con dicha acción. Las intersecciones entre ambos generan dos valores que indican la magnitud y la importancia del impacto.

Magnitud

El grado de alteración de la calidad ambiental de cada factor se mide en una escala del 1 al 10, de menor a mayor. Este valor se coloca en la mitad superior izquierda de cada celda, utilizando un signo "+" para los efectos positivos y un "-" para los negativos.

Tabla N°37. Clasificación de acuerdo a la magnitud

| MAGNITUD | | |
|----------|------------|------------|
| CLAS. | INTENSIDAD | AFECTACIÓN |
| 1 | Baja | Baja |
| 2 | | Media |
| 3 | | Alta |
| 4 | Media | Baja |
| 5 | | Media |
| 6 | | Alta |
| 7 | Alta | Baja |
| 8 | | Media |
| 9 | | Alta |
| 10 | Muy Alta | Alta |

Importancia

El valor ponderado que indica la importancia relativa de cada impacto, se coloca en la parte inferior de cada cuadro en la matriz. Este número, que refleja su relevancia, se califica en una escala del 1 al 10 de manera creciente

Tabla N°38. Clasificación de acuerdo a la importancia

| INTENSIDAD | | |
|------------|------------|------------|
| CLAS. | INFLUENCIA | AFECTACIÓN |
| 1 | Puntual | Temporal |
| 2 | | Media |
| 3 | | Permanente |
| 4 | Local | Temporal |
| 5 | | Media |
| 6 | | Permanente |
| 7 | Regional | Temporal |
| 8 | | Media |
| 9 | | Permanente |
| 10 | Regional | Permanente |

1. Actividades que amenazan con causar impacto

La tabla a continuación presenta las actividades que se llevarán a cabo durante la fase de ejecución del proyecto “Estabilización de suelos arcillosos utilizando cenizas de carbón con vidrio molido para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos” El objetivo es evaluar si estas actividades podrían generar impactos ambientales, tanto directos como indirectos, positivos o negativos.

Tabla N°39. Actividades que amenazan con causar impacto ambiental

| "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CARBÓN CON VIDRIO MOLIDO PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN PAVIMENTOS URBANOS" | | |
|--|--|---|
| ETAPA PRE-CONSTRUCTIVA | ACTIVIDADES PRELIMINARES | Colocación de cartel de obra |
| | | Cierre perimetral y señalización de obra |
| | OBRAS PRELIMINARES | Transporte de materiales, insumos, maquinaria, equipos y estabilizantes |
| ETAPA CONSTRUCTIVA | OBTENCION DE CENIZA DE CABON | Desmote y limpieza de terreno |
| | | Trazo, nivelación y replanteo |
| | OBTENCION DE VIDRIO | Reduccion de tamaños de Ceniza de Carbon |
| | | Trituracion de Ceniza de Carbon |
| | | Lavado y secado de Vidrio |
| | ESTABILIZACION | Reduccion de tamaños de Vidrio |
| | | Trituracion de Vidrio |
| | | Excavación masiva a espesor de la rasante con maquinaria |
| | | Transporte y eliminación de material excavado |
| | | Homogenización de los estabilizantes (Ceniza de carbon + Vidrio) |
| | | Riego y Compactación del material estabilizado |
| | | Curado |
| Verificacion de compactacion | | |
| OBRAS COMPLEMENTARIAS | Colocación del ligante asfáltico | |
| | Colocación de la carpeta asfáltica | |
| | Colocación de la señalización | |
| | Sembrado de arboles y arbustos en parque adyacente como plan de mitigación | |
| | | Desmontaje de construcciones provisionales |
| | | Limpieza final dentro y alrededor de obra |

2. Componentes del ambiente que son amenazados

En la tabla que sigue, se detallan los componentes de cada factor que serán impactados durante la fase de ejecución del proyecto “Estabilización de suelos arcillosos utilizando cenizas de carbón con vidrio molido para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos” con el objetivo de comprender de qué manera y que acciones los afectara.

Tabla N°40. Componentes que serán afectados

| FACTORES | COMPONENTES |
|--------------------------|-----------------------------------|
| AIRE | Nivel de partículas en suspensión |
| | Emisión de gases |
| | Nivel de ruidos |
| AGUA | Uso de agua potable |
| SUELO | Calidad y Capacidad del suelo |
| | Erosión del suelo |
| | Morfología del suelo |
| FLORA | Arbustos y Plantas Ornamentales |
| FAUNA | Aves |
| | Insectos |
| | Animales Terrestres |
| CALIDAD VISUAL | Paisaje urbano |
| FACTORES SOCIOECONÓMICOS | Empleo |
| | Transporte vehicular y peatonal |
| | Actividades comerciales |
| | Uso parcial de vías |
| FACTORES HUMANOS | Calidad de vida |
| | Salud y Seguridad |
| | Servicios de salud y transporte |

3. Evaluación de impactos ambientales

3.1. Descripción de los factores ambientales

➤ Posible contaminación del aire

| |
|---|
| <p style="text-align: center;">Nivel de partículas en suspensión</p> <p>El factor aire sufrirá un impacto negativo durante la fase de construcción, ya que las actividades de movimiento de tierras, junto con la mezcla y aplicación de cenizas de carbón y vidrio molido, generarán partículas finas que podrían permanecer en suspensión en el ambiente</p> |
| <p style="text-align: center;">Emisión de gases</p> <p>El aire en la zona se verá afectado por los gases que emiten las máquinas y equipos utilizados en la construcción. Desde el transporte de agregados hasta la eliminación de material excedente, e incluso la preparación del concreto, cada una de estas actividades generará emisiones contaminantes. Dado que la obra se encuentra en un área rodeada de viviendas, los residentes también sentirán el impacto de estos gases en su entorno, afectando la calidad del aire.</p> |
| <p style="text-align: center;">Nivel de ruidos</p> <p>A lo largo de la fase de construcción, el uso de maquinaria, equipos y herramientas generará ruidos que podrían resultar bastante molestos. Dado que el proyecto está ubicado en una zona urbana, estos sonidos afectarán a las viviendas cercanas. Si los niveles de ruido alcanzan valores muy elevados, podrían incluso tener repercusiones en la salud de los residentes.</p> |

➤ Posible disminución del agua

| |
|---|
| <p style="text-align: center;">Uso de agua potable</p> <p>En el transcurso de la construcción, se requerirá el uso de agua potable tanto para compactar el terreno como para abastecer los baños portátiles que se emplearán en la obra.</p> |
|---|

➤ Posible contaminación del suelo

| |
|--|
| <p align="center">Calidad y capacidad del suelo</p> <p>La calidad y capacidad del suelo se verá alterada durante la construcción, ya que se utilizarán estabilizantes para mejorar su capacidad de soporte. Estos tratamientos modificarán las propiedades del suelo, haciéndolo más adecuado para soportar las cargas requeridas en el proyecto.</p> |
| <p align="center">Erosión del suelo</p> <p>El suelo sufrirá alteraciones a lo largo de la construcción debido al constante tránsito de maquinaria, ya sea para transportar materiales hacia la obra o para retirarlos</p> |
| <p align="center">Morfología</p> <p>A lo largo de la fase de construcción, las continuas actividades de excavación y relleno modificarán la composición del suelo, alterando su estructura original.</p> |

➤ **Posible contaminación de la flora**

| |
|---|
| <p align="center">Arbustos</p> <p>Para comenzar con cada etapa de la obra, será necesario remover arbustos como parte de la limpieza del terreno. Además, las excavaciones realizadas durante la construcción también podrían ocasionar la pérdida de más vegetación</p> |
|---|

➤ **Posible contaminación de la fauna**

| |
|--|
| <p align="center">Aves</p> <p>La combinación de la pérdida de vegetación y los altos niveles de ruido generados durante la construcción alterará el entorno natural, lo que provocará que las aves se vean obligadas a abandonar su ecosistema habitual.</p> |
| <p align="center">Insectos</p> <p>La pérdida de vegetación, junto con el ruido generado durante la construcción, alterará el ecosistema y causará que los insectos se vean forzados a abandonar su hábitat natural.</p> |
| <p align="center">Animales Terrestres</p> <p>El uso de maquinaria, herramientas y equipos durante la construcción generará niveles de ruido que podrían resultar molestos para los animales domésticos, y aún más para los animales callejeros que habitan en las cercan.</p> |

➤ **Posible contaminación de la calidad visual**

| |
|--|
| <p align="center">Paisaje Urbano</p> <p>La construcción puede alterar temporalmente el paisaje, afectando la estética del área hasta que se complete el proyecto.</p> |
|--|

➤ **Posible contaminación de los factores socioeconómicos**

| |
|--|
| Empleo |
| Esta obra generara empleo, pudiendo brindar trabajo a la población que este por la zona y a todo ciudadano de manera general. |
| Transporte vehicular y peatonal |
| En esta obra, las calles y veredas adyacentes serán utilizadas por la maquinaria encargada de transportar los materiales y retirar el material excedente. Esto ocasionará obstrucciones tanto en el tránsito vehicular como en el peatonal de la zona, afectando la circulación normal en los alrededores. |
| Uso parcial de vías |
| En esta obra, se emplearán las calles y veredas adyacentes para el paso de la maquinaria encargada de transportar materiales y retirar el excedente. Esto generará una obstrucción parcial en las vías cercanas, afectando el tránsito en la zona. |

➤ **Factores humanos**

| |
|---|
| Calidad de vida |
| Las actividades de construcción impactarán la calidad de vida debido al ruido de las maquinarias y la obstrucción de vías, dificultando el tránsito peatonal y vehicular. |
| Salud y Seguridad |
| La salud y seguridad de los vecinos podrian estar en riesgo durante la construcción debido a efluvios, ruido, particulas en el aire y emisión de gases. |

3.2. Descripción de los impactos producidos por las acciones del proyecto

3.3.1. ETAPA PRE – CONSTRUCTIVA

3.3.1.1. ACTIVIDADES PRELIMINARES

- **Colocación de cartel de obra:** Esta acción impactará el paisaje urbano, aunque, como aspecto positivo, contribuirá a la generación de empleo.
- **Cierre perimetral y señalización de obra:** Esta acción alterará la unidad del paisaje, provocando contaminación visual, aunque, como aspecto positivo, ayudará a prevenir accidentes.
- **Transporte de materiales, insumos, maquinaria, equipos y estabilizantes:** El transporte utilizado en la obra generará emisiones de gases de efecto invernadero, partículas en el aire y elevados niveles de ruido debido al paso de los vehículos. Dado que se empleará maquinaria de gran tamaño, es posible que cause inconvenientes en algunas vías. También impactará negativamente la calidad de vida de los residentes cercanos por el ruido constante y las vibraciones. No obstante, un punto a favor es que esta actividad ayudará a crear nuevos empleos.

3.3.1.2. OBRAS PRELIMINARES

- **Desmonte y limpieza de terreno:** Esta acción impactará negativamente el aire ya que habrá ciertos niveles de partículas en suspensión, afectará la calidad de vida de los pobladores por el polvo y generará empleo.
- **Trazo, nivelación y replanteo:** Esta acción afectará negativamente la calidad del aire debido al uso de yeso para el trazado, lo que producirá polvo en suspensión. Sin embargo, como aspecto positivo, contribuirá a la generación de empleo

3.3.2. ETAPA CONSTRUCTIVA

3.3.2.1. OBTENCIÓN DE CENIZA DE CARBÓN

- **Reducción de tamaños de Ceniza de Carbón:** El proceso genera partículas en suspensión que contaminan el aire y pueden ser tóxicas, pero permite reutilizar las cenizas en la construcción, reduciendo residuos y promoviendo la sostenibilidad.
- **Trituración de Ceniza de Carbón:** Produce más polvo y contaminación del aire, además de ruido y vibraciones, pero facilita el uso de las cenizas como estabilizantes en suelos, promoviendo el reciclaje de desechos industriales.

3.3.2.2. OBTENCIÓN VIDRIO

- **Lavado y secado de Vidrio:** Puede generar aguas residuales contaminantes, pero permite que el vidrio se reutilice en la construcción, reduciendo la demanda de materias primas nuevas.
- **Reducción de tamaños de Vidrio:** Libera polvo peligroso y genera ruido, pero facilita el reciclaje del vidrio para reducir el uso de recursos naturales, contribuyendo a la economía circular.
- **Trituración de Vidrio:** Genera fragmentos de vidrio y polvo que contaminan el suelo y el aire, además de ruido, pero ayuda a reciclar vidrio, disminuyendo los desechos y la necesidad de extraer materiales vírgenes.

3.3.2.3. ESTABILIZACIÓN

- **Excavación masiva a espesor de la rasante con maquinaria:** Esta actividad producirá material particulado, emitirá gases de efecto invernadero y generará ruido debido al uso constante de maquinaria pesada.
- **Transporte y eliminación de material excavado:** El transporte de estos residuos provocará la liberación de partículas en suspensión, emisión de gases y ruido debido al uso de volquetes. Además, al tratarse de maquinaria de gran tamaño, causará conflictos en algunas calles y afectará la calidad de vida de los residentes cercanos. Sin embargo, como aspecto positivo, contribuirá a la creación de empleo.
- **Homogenización de los estabilizantes (ceniza de carbón + Vidrio):** Esta actividad tendrá impactos negativos, ya que provocará la emisión de gases de efecto invernadero, la liberación de material particulado y la generación de ruido debido al uso de maquinaria.
- **Riego y Compactación del material estabilizado:** Esta actividad causará impactos negativos debido a la emisión de gases de efecto invernadero, la generación de ruido y vibraciones por el uso de maquinaria, además del consumo significativo del recurso natural agua.
- **Curado:** Esta actividad generará impactos negativos ya que producirá gases de efecto invernadero y ruido por el uso de maquinaria, así como también consumo del recurso natural agua.
- **Colocación del ligante asfáltico:** Esta actividad tendrá impactos negativos debido a la emisión de gases de efecto invernadero y el ruido generado por la maquinaria, además del consumo del recurso natural agua.
- **Colocación de la carpeta asfáltica:** Esta actividad ocasionará impactos negativos, ya que producirá emisiones de gases de efecto invernadero y ruido debido al uso de maquinaria.

3.3.3. OBRAS COMPLEMENTARIAS FINALES

- **Colocación de la señalización:** Esta acción cambiará la unidad de paisaje y generará contaminación visual positiva.
- **Sembrado de árboles y arbustos en parque adyacente como plan de mitigación ambiental:** Esta acción compensa actividades previas, afectando negativamente el aire por ruido y uso de agua, pero mejora la calidad del suelo, la vegetación, la fauna, el paisaje urbano, la calidad de vida, la seguridad y genera empleo.
- **Desmontaje de construcciones provisionales:** El desmontaje de estos elementos incrementa las partículas en suspensión y el ruido, afectando el aire. Sin embargo, también genera empleo y mejora el paisaje urbano.
- **Limpieza final dentro y alrededor de obra:** Esta acción genera partículas en suspensión, ruido y consumo de agua, afectando a fauna, comercios y el uso de vías, pero tiene efectos positivos como la generación de empleo, mejora de la calidad de vida, salud, seguridad y el paisaje urbano, además de beneficiar árboles y plantas

A continuación, se presenta la matriz de Leopold. En la primera imagen se identifican los impactos ambientales, mientras que en la segunda se lleva a cabo su evaluación:

| FACTORES | | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CARBÓN CON VIDRIO MOLIDO PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN PAVIMENTOS URBANOS" | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | MAGNITUD | IMPORTANCIA | PROMEDIO |
|-------------|-----------------------|---|--|---|--------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|--|---|--|--|--------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---|--|---|----------|-------------|----------|
| | | ETAPA PRE-CONSTRUCTIVA | | | | | ETAPA CONSTRUCTIVA | | | | | | | | | | OBRAS COMPLEMENTARIAS | | | | | | | | |
| | | ACTIVIDADES PRELIMINARES | | OBRAS PRELIMINARES | | | OBTENCION DE CENIZA DE CARBON | | OBTENCION DE VIDRIO | | | ESTABILIZACION | | | | | | | | | | | | | |
| | | Colocación de cartel de obra | Cierre perimetral y señalización de obra | Transporte de materiales, insumos, maquinaria, equipos y estabilizantes | Desmante y limpieza de terreno | Trazo, nivelación y replanteo | Reduccion de tamaños de Ceniza de Carbon | Trituración de Ceniza de Carbon | Lavado y secado de Vidrio | Reduccion de tamaños de Vidrio | Trituración de Vidrio | Excavación masiva a espesor de la rasante con maquinaria | Transporte y eliminación de material excavado | Homogenización de los estabilizantes (Ceniza de carbon + Vidrio) | Riego y Compactación del material estabilizado | Curado | Colocacion de ligante asfáltico | Colocación de la carpeta asfáltica | Colocación de la señalización | Sembrado de arboles y arbustos en parque adyacente como plan de | Desmontaje de construcciones provisionales | Limpieza final dentro y alrededor de obra | | | |
| AMBIENTALES | AIRE | NIVEL DE PARTICULAS EN SUSPENSION | | -4 | -4 | -1 | -5 | -7 | | -5 | -7 | -6 | -4 | -6 | | | | | | -3 | 3 | -49 | -234 | | |
| | | EMISION DE GASES | | -4 | | | | -3 | | | -3 | -5 | -3 | | -2 | -2 | -4 | -4 | | | | | -30 | -120 | |
| | | NIVEL DE RUIDOS | -3 | -6 | -6 | | -5 | -6 | | -5 | -6 | -6 | -3 | | -5 | -4 | -6 | -6 | | -1 | -3 | -3 | -74 | -384 | |
| | AGUA | USO DE AGUA POTABLE | | | | | | | -3 | | | | | | -3 | -3 | | | | -1 | | -2 | -12 | -38 | |
| | | CALIDAD | | | | | | | | | -6 | | | | 8 | | | | | 4 | | | 6 | 52 | |
| | SUELO | EROSION | | -1 | -1 | | | | | | | | -1 | | | | | | | | | | -3 | -6 | |
| | | MORFOLOGIA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -6 | -42 | |
| | | FLORA | ÁRBOLES | | | | | | | | | -2 | | | | | | | | 5 | | | 3 | 21 | |
| | FAUNA | AVES | | -1 | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | | | 3 | 14 | |
| | | INSECTOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | | | 3 | 9 | |
| | | | ANIMALES TERRESTRES | | | -4 | | | | | | | -2 | | | | | | | | 2 | | | -4 | -8 |
| | CALIDAD VISUAL | PAISAJE URBANO | -1 | -6 | | | | | | | | -2 | | | | | | | -2 | 4 | 2 | 3 | 0 | -34 | |
| | FACTOR SOCIOECONÓMICO | EMPLEO | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 4 | 1 | 2 | 4 | 5 | 2 | 3 | 6 | 2 | 5 | 5 | 3 | 2 | 2 | 2 | 59 | 197 |
| | | TRANSPORTE VEHICULAR Y PEATONAL | | -3 | -4 | | | | | | | | | -4 | | | | | | -2 | | | -2 | -15 | -52 |
| | | ACTIVIDADES COMERCIALES | | -3 | | | | | | | | | | | | | | | | -4 | | | -7 | -28 | |
| | | USO PARCIAL DE VIAS | | -3 | | | | | | | | | | | | | | | | -2 | | | -7 | -22 | |
| | FACTOR HUMANO | CALIDAD DE VIDA | | -2 | -5 | -5 | | -3 | -3 | | -3 | -3 | -6 | -5 | -6 | -6 | | -5 | -5 | | 2 | | -2 | -57 | -276 |
| | | SALUD Y SEGURIDAD | | | | | | -3 | -3 | | -3 | -3 | -4 | | | | | | | 2 | | 2 | -12 | -46 | |
| | MAGNITUD (+/-) | | 0 | -18 | -26 | -14 | 0 | -14 | -18 | -2 | -14 | -18 | -38 | -18 | -9 | -2 | -7 | -10 | -10 | -7 | 26 | -2 | -1 | | |
| | + IMPORTANCIA | | 2 | 28 | 35 | 20 | 2 | 16 | 23 | 4 | 16 | 23 | 48 | 27 | 14 | 33 | 12 | 19 | 18 | 14 | 27 | 9 | 26 | | |
| | PROMEDIO | | 0 | -92 | -127 | -82 | 0 | -54 | -94 | -8 | -54 | -94 | -218 | -83 | -57 | 30 | -28 | -47 | -52 | -16 | 82 | -7 | 4 | | |

Luego de identificar los impactos y analizarlos en relación con cada componente ambiental, se procedió a evaluarlos en términos de magnitud e importancia utilizando la Matriz de Leopold. De este análisis, se observó que la acción más agresiva fue la "Excavación masiva al nivel de la rasante con maquinaria", con una calificación de -231, y que el componente ambiental más vulnerable fue el "Nivel de ruidos", con una puntuación de -384. Además, el impacto más negativo correspondió a la "Trituración de ceniza de carbón y vidrio" en relación con el "Nivel de partículas en suspensión", mientras que el impacto más positivo fue el "Riego y compactación del material estabilizado" con respecto a la "Calidad y capacidad del suelo".

PLAN DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA

De acuerdo con el Reglamento de Transparencia, todas las personas tienen derecho a opinar en decisiones que afecten el medio ambiente, y las autoridades deben informar sobre cualquier acción que pueda impactar la salud o el entorno. Para conocer la opinión de la comunidad, se organizará una charla sobre el proyecto, y un plan participativo ayudará a prevenir o resolver posibles conflictos, generando confianza y colaboración entre la comunidad y el proyecto.

a. Objetivo

- Fomentar una relación de confianza entre la empresa constructora y la comunidad, asegurando que se respete el derecho de la gente a participar en las decisiones.

b. Indicadores de cumplimiento

- Las opiniones de la gente afectada sobre las molestias y su relación con la empresa.
- Datos sobre lo que piensa la comunidad sobre el proyecto y sus posibles impactos y sobre los impactos ambientales y sociales que el proyecto puede generar.
- La participación de la comunidad en la resolución de problemas.

c. Líneas de acción

- La gente podrá hacer sus consultas a través de buzones o con el personal encargado del proyecto.
- Habrá reuniones informativas mensuales para que la comunidad conozca los avances y participe en el proceso de consulta.

d. Actividades

- Se hará una asamblea antes de comenzar el proyecto para explicarlo claramente y obtener la aceptación de la comunidad.
- Habrá reuniones mensuales entre la empresa y los vecinos para informar sobre el avance y evitar conflictos.
- Se presentará un plan de trabajo que incluirá horarios, duración y el fin de la obra, asegurando una comunicación constante con los vecinos afectados.

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) es una guía que busca evitar y reducir los impactos negativos de la construcción en el entorno. Se enfoca en proteger el área afectada y aplicar medidas para prevenir daños. Además, requiere que tanto los encargados del proyecto como la comunidad trabajen juntos para asegurar que se sigan las estrategias necesarias. Por lo expuesto anteriormente, se proponen los siguientes programas:

1. Programa de Medidas Preventivas, Mitigadoras y Correctivas

Este programa busca prevenir, corregir o mitigar los efectos negativos del proyecto durante la construcción. Incluye medidas preventivas para evitar o reducir los impactos antes de que ocurran, medidas mitigadoras para compensar los daños inevitables, y medidas correctivas que, aunque no eliminan los impactos, los disminuyen usando tecnología o procesos adecuados.

➤ Subprograma de manejo de residuos sólidos, líquidos y efluentes

Este subprograma tiene como objetivo reducir los impactos negativos causados por la generación, manipulación y disposición final de los residuos durante la construcción. Para controlar estos residuos, es fundamental identificarlos y clasificarlos adecuadamente

• Segregación

La norma NTP 900.058.2019, aprobada en marzo de 2019, establece un nuevo código de colores para separar los residuos sólidos. La población recibirá un volante explicativo para fomentar la segregación de residuos. Los depósitos tendrán rótulos con información sobre el tipo de residuo, su descripción, área de origen y nivel de peligrosidad. Los colores serán: rojo para residuos peligrosos, azul para papel y cartón, blanco para plásticos y marrón para residuos orgánicos.

• Almacenamiento

El almacenamiento de residuos consiste en mantenerlos temporalmente en lugares adecuados que cumplan con las normas, evitando que se liberen mientras se procesan, tratan, transportan o eliminan. Los residuos de construcción se guardan en espacios que no interfieran con el tránsito y se cubren para evitar que el polvo se disperse. Otros materiales se guardan en bolsas para que los recoja el camión municipal. Los residuos domésticos se colocan en contenedores con bolsas, y los peligrosos se almacenan en bolsas selladas y etiquetadas, manejados solo por personal autorizado con el equipo necesario.

Las aguas negras de los baños portátiles se mantendrán allí hasta que un camión las recoja. Las aguas grises se almacenarán temporalmente para ser usadas en humedecer el suelo y controlar el polvo. Las sustancias industriales estarán en depósitos cerrados para evitar derrames y estarán en zonas a las que los residentes no tendrán acceso.

• Transporte y disposición final

La mayoría de los residuos serán recogidos por una empresa especializada para su tratamiento. Para manejar bien los residuos líquidos, es clave identificarlos y clasificarlos según su tipo para garantizar un buen control.

Tabla N°41. Disposición final de residuos

| TIPO DE RESIDUO | DESCRIPCIÓN |
|-------------------------|---|
| Residuo de construcción | Los restos de la demolición serán dispuestos en lugares autorizados por el municipio distrital de la zona, como lugar de depósito de escombros y residuos constructivos. |
| Residuo doméstico | Serán transportados y dispuestos al botadero más cercano a la zona. |
| Residuo peligroso | Los residuos serán almacenados en depósitos o cilindros con cierre hermético y, según la Ley General de Residuos Sólidos, se entregarán a empresas especializadas en su recolección y disposición final. Estas empresas, acreditadas por DIGESA, se encargarán de su transporte y eliminación en rellenos de seguridad autorizados por las autoridades competentes. |

Para poder controlar adecuadamente los residuos líquidos, es necesario identificar y clasificar los distintos tipos de residuos que se generen.

Tabla N°42. Tipos de residuos líquidos

| TIPO DE RESIDUO LÍQUIDO | DESCRIPCIÓN |
|------------------------------------|--|
| Aguas residuales domésticas negras | Se trata de las aguas generadas en los servicios higiénicos, provenientes de las actividades de excreción, cuando se utilicen baños portátiles |
| Aguas residuales domésticas grises | Estas aguas provienen de actividades de aseo personal, como el lavado de manos. |
| Sustancias industriales | Estos son residuos líquidos que provienen del uso de aceites como combustible para la mezcladora, maquinaria o equipos. |

o Subprograma de protección de recursos naturales

Este subprograma se encarga de proteger los recursos naturales dentro del área del proyecto y reducir cualquier posible daño. Como el proyecto está en una zona urbana, no afectará directamente a la naturaleza. El parque cercano no sufrirá consecuencias, aunque si hay plantas ornamentales, se trasladarán a un lugar donde se les pueda cuidar bien durante la obra y luego se devolverán o reubicarán. En resumen, no se espera que haya un impacto importante.

o Subprograma de salud local

Este subprograma tiene como objetivo proteger la calidad de vida de los vecinos y personas cercanas al proyecto, y estar preparados para cualquier accidente grave que ocurra durante la obra. Si un trabajador o alguien cercano sufre un accidente, será trasladado rápidamente al Hospital Regional de Lambayeque, que está a solo 5 min. Además, se contará con un botiquín de primeros auxilios y se instalará una caseta de atención médica en la obra para responder a emergencias.

o Subprograma de seguridad motivo del EIA

Este subprograma de seguridad busca prevenir o reducir accidentes, ya sea por causas naturales o imprevistos, para cuidar la vida de los trabajadores, los vecinos y el entorno mientras se realiza la Evaluación de Impacto Ambiental. Para lograrlo, se formará una brigada de trabajadores o vecinos encargada de supervisar las actividades. Además, habrá al menos un vehículo en buen

estado listo para responder rápidamente en caso de una emergencia. Todos los trabajadores usarán el equipo de protección necesario para evitar accidentes, dependiendo de las tareas que realicen. También se contará con un espacio equipado para atender emergencias graves, por si hubiera algún retraso en el traslado de una persona herida al hospital.

2. Programa de Monitoreo Ambiental

El Programa de Monitoreo Ambiental se encarga de revisar cómo las actividades del proyecto afectan la calidad del aire y el ruido en la zona cercana. Su objetivo es asegurarse de que se cumplan las normas ambientales establecidas. La empresa contratista, con el Ingeniero Ambiental y en coordinación con el Supervisor Ambiental de la Municipalidad de Chiclayo, será responsable de este control para mantener todo en orden y proteger el entorno.

• Monitoreo de emisión de ruido

El monitoreo de los niveles de ruido se realizará según el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido, aprobado mediante el Decreto Supremo N°085-2003-PCM. Este reglamento establece los límites permisibles para el ruido en diferentes situaciones.

| | |
|-------------------------|---|
| Parámetros a Monitorear | Se monitorearán los siguientes parámetros: niveles ambientales de ruido de acuerdo con la escala dB (A). Los puntos de control principales serán las actividades de demolición de estructuras, excavaciones y las diferentes etapas ejecutadas en la construcción |
| Frecuencia de Monitoreo | La operación de frecuencia de monitoreo deberá realizarse 1 vez al mes, al inicio y después del proyecto y cuando haya actividades donde se sabe que registrarán grandes niveles de ruido. |
| Métodos de Muestreo | Las mediciones de los dB serán hechas por una empresa y/o laboratorio competente que cuente con un sonómetro digita, el cual deberá estar inscrito en INDECOPI, además deberá contar con el certificado de calibración del equipo del mismo año. |

Tabla N°43. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido. Fuente: DS. N° 085-2003-PCM 08.

| VALORES EXPRESADOS | | |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------|
| ZONAS DE APLICACIÓN | EN LAeqT APLICACIÓN HORARIO DIURNO | HORARIO NOCTURNO |
| Zona de Protección Especial | 50 | 40 |
| Zona Residencial | 60 | 50 |
| Zona Comercial | 70 | 60 |
| Zona Industrial | 80 | 70 |

• Monitoreo de la calidad del aire

El objetivo de monitorear la calidad del aire es cuidar la salud tanto de las personas que viven cerca del proyecto como de los trabajadores. Para hacerlo bien, se seguirán las pautas que indica el Protocolo de Monitoreo y Calidad de Aire de DIGESA, asegurando que todo se controle según lo recomendado.

| | |
|-------------------------|---|
| Parámetros a Monitorear | De acuerdo con las actividades a realizarse en la Etapa Constructiva (que incluyen básicamente actividades generadoras de polvos como la remoción de tierras, excavación de zanjas, etc.), Se han seleccionado los siguientes parámetros a monitorear: Dióxido de Nitrógeno y Dióxido de Carbono. Se seleccionaron estos 2 parámetros puesto que hay varias actividades como la maquinaria que requieren combustible fósil para funcionamiento. |
| Frecuencia de Monitoreo | La frecuencia del monitoreo de los parámetros se llevará en iguales intervalos de tiempo, en un área de muestreo determinado. Para el proyecto en cuestión se realizará la medición cuando se den las actividades de excavación, soldadura y demás actividades que sugieran la emisión de gases, esta medición se realizará durante 24 horas continuas de cada uno de los parámetros. Antes y después de obra. |
| Métodos de Muestreo | El registro del monitoreo de la calidad del aire se deberá realizar con equipo especializado que cuente con la certificación de calibración ya sean monitores o sensores. Estos métodos de análisis, además de los valores que no deben ser superados se muestran en el siguiente cuadro |

Tabla N°44. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. Fuente: Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos D.S. N° 069-2003- PCM.

| Contaminante | Periodo | Forma del estándar | | Método de análisis (1) |
|---------------------|---------|--------------------|---------------------------|--|
| | | Valor * | Formato | |
| Plomo | Anual | 0.5 | Promedio Aritmético | Método PM-10 (espectrofotometría de absorción atómica) |
| | Mensual | 1.5 | NE más de 4 veces/año | |
| Monóxido de carbono | 8 horas | 10000 | Promedio móvil | Infrarrojo no dispersivo IRND (método automático) |
| | 1 hora | 30000 | NE más de 1 vez al año | |
| Dióxido de carbono | Anual | 100 | Promedio aritmético anual | Quimioluminiscencia (método automático) |
| | 1 hora | 200 | NE más de 24 veces/año | |

3. Programa de Asuntos Sociales

Este programa busca acercarse a la comunidad cercana al proyecto, creando un ambiente de confianza y buena convivencia. A través de actividades donde la gente participe, se espera que los vecinos se sientan incluidos y apoyen el trabajo que se está llevando a cabo.

| SUBPROGRAMA | DESCRIPCION | ACTIVIDADES |
|---|---|--|
| Subprograma de relaciones comunitarias | Este subprograma tiene como objetivo establecer buenas relaciones con las comunidades a través de actividades de apoyo social y desarrollo sostenible, buscando fomentar la conformidad | o Se realizarán charlas para explicar el Proyecto y sus posibles impactos, ayudando a la comunidad a prevenir problemas. o También se creará un afiche sobre el avance de la obra. |
| Subprograma de contratación de mano de obra local | El subprograma contratará a pobladores locales para el Proyecto de Mejoramiento de Subrasante, generando empleo y brindando capacitación conforme a las normas. | o Contratación de peones para excavación, acarreo de material y otras tareas. o Contratación de una pensión local para proveer almuerzos a los trabajadores. |
| Subprograma de participación ciudadana | El subprograma de participación ciudadana busca mitigar los posibles impactos sociales en las comunidades cercanas al proyecto, promoviendo una convivencia armoniosa mediante la comunicación constante entre los pobladores y los responsables del proyecto | o Encuestar a los vecinos para evaluar su opinión sobre el proyecto sin convocarlos en grupo. o Colocar un buzón de sugerencias para recoger sus ideas e inquietudes. o Crear un comité de apoyo con los vecinos cercanos a la obra. |

4. Programa de Educación Ambiental

El programa de educación ambiental tiene como objetivo sensibilizar a todo el equipo sobre la necesidad de cuidar el medio ambiente durante el proyecto, resaltando su protección para garantizar un buen futuro

Actividades:

- o Cada viernes, el Ingeniero de Seguridad dará una charla de una hora a jefes y trabajadores sobre la importancia de cuidar el medio ambiente y las consecuencias de la contaminación.
- o Se colocarán afiches en la obra que resalten las pautas para asegurar un entorno de trabajo sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

5. Programa de Capacitación Ambiental y Seguridad

El programa tiene como objetivo concienciar a la comunidad y a los trabajadores sobre la importancia de proteger el medio ambiente

Actividades:

- o Cada lunes, se ofrecerán capacitaciones de 30 minutos sobre temas ambientales, lideradas por el Ingeniero de Seguridad de la obra
- o Se distribuirán dípticos y manuales de seguridad con pautas para mantener un entorno de trabajo limpio y seguro.
- o Se instalará señalización informativa al menos dos semanas antes del inicio de la obra para avisar sobre el proyecto y las precauciones a seguir.

o Habrá señalización preventiva para que transportistas, transeúntes y trabajadores estén al tanto de las medidas de seguridad.

6. Programa de Prevención, de Pérdidas y Contingencias

| SUBPROGRAMA | DESCRIPCION | ACTIVIDADES |
|---|---|--|
| Subprograma de salud e higiene ocupacional | Este subprograma se enfoca en proteger la salud de los trabajadores durante sus labores diarias, asegurando su integridad física y evitando riesgos ocupacionales y accidentes en el trabajo. | o Durante el primer mes, el Ingeniero de Seguridad dará tres charlas sobre Ergonomía Laboral, de 30 minutos a 1 hora, enfocándose en las posiciones correctas para trabajar. o Los trabajadores deberán usar Equipos de Protección Personal, como guantes, chalecos y zapatos con punta de acero. |
| Subprograma de contratación de mano de obra local | Este subprograma se encarga de prevenir y controlar los riesgos laborales que puedan surgir en la obra, implementando medidas para manejar situaciones que impliquen cierto peligro. | o Proteger al personal en excavaciones de 1.20 m con arneses ergonómicos y exigir el uso de cascos, guantes y gafas de seguridad, asegurando que estén bien señalizados o Tener un botiquin listo para atender pequeños accidentes y contar con un equipo de primeros auxilios, que incluya extintores y una camilla de emergencia. o Implementar un Kit antiderrames para prevenir contaminación química y ofrecer tres charlas del Ingeniero de Seguridad en el primer mes sobre el uso de equipos de protección y cómo actuar en emergencias laborales. |

7. Programa de Cierre de Obra

Este programa se enfoca en asegurar que los espacios afectados por el proyecto sean restaurados, al menos, con las mismas características que tenían antes de su intervención

Actividades:

- o Realizar una limpieza final que incluya tanto la obra como sus alrededores.
- o Retirar los equipos temporales y restaurar las áreas afectadas, rellenando huecos y devolviendo el suelo a su estado original, sin escombros.
- o Restauración de áreas ocupadas, acondicionándolas en su estado inicial, antes del proyecto
- o Firmar un acta de conformidad con representantes de la empresa y municipios, verificando que todos los pagos a trabajadores y proveedores locales estén en orden antes del cierre del proyecto.

PLAN DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL

En Perú, la normativa SEIA establece que el plan de compensación ambiental forma parte de la evaluación de impacto ambiental detallada, y su cumplimiento está sujeto a controles y posibles sanciones. Este plan es una herramienta de gestión que implementa medidas para contrarrestar los efectos negativos del proyecto en el medio ambiente, y se utiliza cuando no es posible prevenir, mitigar o restaurar el daño. La compensación se activa como último recurso, de acuerdo con el principio de jerarquía de mitigación, cuando no se pueden aplicar otras medidas de protección ambiental.

CONCLUSIONES

1. Durante la fase de construcción del proyecto “Estabilización de suelos arcillosos utilizando cenizas de carbón con vidrio molido para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos” se calificaron impactos ambientales con mayor y menor relevancia que se explican a continuación.

| AGRESIVIDAD | |
|--|--------------|
| ACCION | MAS AGRESIVA |
| Excavación masiva a espesor de la rasante con maquinaria | -231 |

| FRAGILIDAD | |
|-----------------|--------------|
| Componente | MAS AGRESIVA |
| Nivel de Ruidos | -384 |

| AGRESIVIDAD | |
|--|----------------|
| ACCION | MENOS AGRESIVA |
| Desmontaje de construcciones provisionales | -7 |
| Colocacion de señalizacion | -16 |

| FRAGILIDAD | |
|---------------------|----------------|
| Componente | MENOS AGRESIVA |
| Animales terrestres | -8 |

2. Se detectaron 21 actividades que impactarán 8 factores ambientales, afectando un total de 18 componentes.

3. Los resultados de la evaluación de impactos revelaron que: El impacto positivo más notable fue el riego y compactación del material estabilizado, que mejoró tanto la calidad como la capacidad del suelo, obteniendo una calificación de 8/9. Por otro lado, el impacto negativo más severo se debió a la trituración de ceniza de carbón y vidrio, lo que incrementó las partículas en suspensión en el aire, con una calificación de -7/6.

4. La Línea Base Ambiental supervisó que todo se ejecutara según el Plan de Manejo Ambiental (PMA), asegurándose de que los programas propuestos mitigaran los impactos sobre los factores ambientales. De esta forma, garantizó que las condiciones originales del área se mantuvieran o incluso mejoraran al final del proceso.

5. Durante la fase de construcción, el Subprograma de manejo de residuos sólidos, líquidos y efluentes identificó la generación de residuos sólidos, que fueron clasificados en tres tipos: residuos de construcción, domésticos y peligrosos. Todos estos pasarán por un proceso adecuado de segregación, almacenamiento, transporte y eliminación final.

6. En el Programa de capacitación ambiental y seguridad, así como en el de educación ambiental, los trabajadores recibieron formación a través de charlas informativas y dípticos. Paralelamente, la comunidad fue informada mediante el Plan de Participación Ciudadana y los Programas de Asuntos Sociales, donde se realizaron charlas sobre el inicio, avance mensual, y cierre del proyecto, concluyendo con un acta de conformidad al finalizar la obra.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere implementar todas las medidas de corrección o mitigación necesarias para minimizar los impactos ambientales, y en los casos de impactos irreversibles, se debe activar el plan de compensación ambiental.
2. Es recomendable visitar la zona donde se llevará a cabo la obra para ajustar y complementar las consideraciones del expediente técnico, especialmente en la Evaluación de Impacto Ambiental.

Anexo 08: Propuesta de especificaciones técnicas**PROPUESTA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
CONSTRUCTIVAS DEL PROYECTO
“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS
UTILIZANDO CENIZAS DE CARBÓN CON VIDRIO
MOLIDO PARA SU USO COMO SUBRASANTE
MEJORADA EN PAVIMENTOS URBANOS”**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS (PROPUESTA)

PARTIDA: MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE CON SUELO ESTABILIZADO (CENIZA DE CARBÓN + VIDRIO MOLIDO)

1. DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la escarificación, disgregación, mezcla, conformación y compactación del suelo arcilloso existente (subrasante), incorporando agentes estabilizadores: Ceniza de Carbón y Vidrio Molido. El objetivo es obtener una subrasante mejorada que cumpla con los requisitos de C.B.R.

2. MATERIALES

2.1 Suelo de Subrasante

El suelo deberá estar libre de materia orgánica, raíces, escombros o material vegetal perjudicial. Deberá ser escarificado y pulverizado de tal manera que los terrones de arcilla se disgreguen.

2.2 Ceniza de Carbón

Material proveniente de la combustión de carbón (ladrillera).

- Condición: Deberá almacenarse en seco. No se permitirá el uso de ceniza que presente aglomeramientos endurecidos por hidratación previa
- Granulometría: Deberá estar libre de clinker o escorias mayores a Tamiz N° 4

2.3 Vidrio Molido

Material proveniente del triturado de botellas y vidrio reciclado

- Granulometría: Para garantizar la seguridad del personal y la integridad de los neumáticos de la maquinaria, el 100% del vidrio molido deberá pasar el Tamiz N° 4
- Limpieza: El material deberá estar libre de etiquetas de papel, plásticos, corchos o residuos orgánicos
- Geometría: Se controlará que las partículas no presenten formas excesivamente largas dificulten la compactación.

2.4 Agua

El agua deberá ser limpia y libre de materia orgánica, álcalis o ácidos que puedan inhibir la reacción química de la ceniza.

3. REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN

3.1 Preparación de la Superficie

Se escarificará el suelo existente hasta la profundidad de diseño (ej: 30 cm). Se disgregarán los terrones de arcilla hasta que un mínimo del 60% del material pase el tamiz N°4

3.2 Distribución de los Estabilizadores

Para evitar la segregación y pérdidas por viento, se seguirá el siguiente orden:

- Extendido del Vidrio: Se colocará el vidrio molido sobre el suelo suelto, distribuyéndolo uniformemente según la dosificación
- Extendido de la Ceniza: Se colocará la ceniza sobre la capa de vidrio
 - Nota de Seguridad: Si la velocidad del viento es superior a 15km/h, se suspenderá el extendido de la ceniza o se utilizarán faldones de protección para evitar la pérdida de finos y contaminación ambiental.

3.3 Mezclado en Seco

Utilizando la recicladora o motoniveladora, se mezclará el suelo + vidrio + ceniza en seco hasta obtener un color uniforme en toda la profundidad de la capa.

3.4 Humectación y Mezcla Húmeda

Se incorporará agua con el camión cisterna hasta alcanzar el Contenido Óptimo de Humedad (OCH) determinado en el Proctor Modificado.

3.5 Compactación

La compactación deberá iniciarse inmediatamente después del mezclado húmedo. Se continuará el proceso con rodillo vibratorio hasta alcanzar como mínimo el 95% de la Máxima Densidad Seca (MDS) del material estabilizado.

3.6 Curado y Protección

Debido a la naturaleza puzolánica de la ceniza, la capa compactada deberá mantenerse húmeda (riego ligero superficial) por un periodo mínimo de 3 a 7 días para favorecer las reacciones químicas de endurecimiento y evitar fisuras por contracción.