

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



Mejoramiento de la impermeabilidad y control de erosión, en obras de drenaje superficial en carreteras no pavimentadas, aplicando el Sistema Consolid

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

AUTOR

Sergio Fernando Leyva Mateos

ASESOR

Joaquin Hernan Rojas Oblitas

<https://orcid.org/0000-0002-6521-0215>

Chiclayo, 2025

Mejoramiento de la impermeabilidad y control de erosión, en obras de drenaje superficial en carreteras no pavimentadas, aplicando el Sistema Consolid

PRESENTADA POR

Sergio Fernando Leyva Mateos

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

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Wilmer Moises Zelada Zamora

PRESIDENTE

Segundo Guillermo Carranza Cieza

SECRETARIO

Joaquin Hernan Rojas Oblitas

VOCAL

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de investigación a mis familiares, especialmente a mis padres, por su amor y cariño, por su sacrificio sin límites. A mi familia y compañeros, por su motivarme y apoyarme en cada paso de este viaje. A mis docentes universitarios, por sus enseñanzas. A todas las personas que confiaron en mí y me motivaron a alcanzar mis objetivos. Esta tesis está dedicada a ustedes, quienes han sido mi inspiración y cimientos en este camino hacia el conocimiento. ¡Gracias por ser mi apoyo en la oscuridad y mi fuerza en los momentos difíciles!

Agradecimientos

"Quiero agradecer a mis padres, Fernando y Marisol, cuyo apoyo y sacrificio han sido el pilar de todo logro en mi vida. Su inquebrantable fe, su constante generosidad y sus palabras de motivación han sido mi fuerza en los desafíos y mi inspiración en los triunfos. Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mis sueños, por sacrificarse para darme las oportunidades que hoy me permiten alcanzar este logro. Este trabajo de investigación no solo es un reflejo de mi esfuerzo, sino también de su dedicación y amor incondicional. A ustedes les debo todo lo que soy y todo lo que llegaré a ser. Gracias por ser mi ejemplo. Los amo más de lo que los límites de lo que las palabras pueden describir."

A mis futuros colegas y amigos quienes estuvieron presentes en mi desarrollo universitario y profesional, siendo parte importante que contribuyeron a alcanzar mis objetivos y metas. Esto se debe a la sólida amistad que cultivamos y fortalecimos a lo largo del tiempo."

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 24% | 22% | 5% | 9% |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|-----------|--|---------------|
| 1 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 7% |
| 2 | cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet | 3% |
| 3 | tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet | 2% |
| 4 | repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 5 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | 1% |
| 6 | ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet | 1% |
| 7 | Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante | 1% |
| 8 | www.coursehero.com Fuente de Internet | <1% |
| 9 | Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante | <1% |
| 10 | Submitted to uncedu Trabajo del estudiante | <1% |
| 11 | repository.unipiloto.edu.co Fuente de Internet | <1% |
| 12 | repository.usta.edu.co Fuente de Internet | |

Índice

| | |
|---|----|
| Resumen | 17 |
| Abstract..... | 18 |
| Introducción..... | 19 |
| Situación Problemática | 19 |
| Formulación del Problema..... | 20 |
| Justificación del Proyecto..... | 20 |
| Objetivos de la investigación..... | 21 |
| Revisión de literatura..... | 22 |
| Antecedentes del Problema | 22 |
| Bases Teóricas Científicas..... | 24 |
| Permeabilidad | 24 |
| Erosión Hídrica..... | 25 |
| Carreteras No Pavimentadas..... | 26 |
| Drenaje Superficial | 26 |
| Obras de Drenaje Superficial..... | 27 |
| Zanjas de Coronación | 28 |
| Cunetas | 28 |
| Revestimiento de las Obras de Drenaje Superficial. | 29 |
| Estabilizador Sistema Consolid..... | 30 |
| Consolid C444 | 31 |
| Solidry | 31 |
| Ventajas y Limitaciones del Sistema Consolid | 31 |
| Determinación de la dosificación óptima. | 32 |
| Marco Normativo | 33 |
| MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO | 33 |

| | |
|--|----|
| CE 020 ESTABILIZACION DE SUELOS Y TALUDES..... | 34 |
| MANUAL DE HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y DRENAJE..... | 34 |
| MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES | 34 |
| Ensayos..... | 34 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108) | 34 |
| ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (NTP.339.128) | 35 |
| DETERMINACIÓN DEL L.L Y L.P DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110) (MTC E 111). | 36 |
| LÍMITE PLÁSTICO (LP) | 36 |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP):..... | 37 |
| ENSAYO ESTENDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS DE SUELO. (MTC E 113). | 37 |
| ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115)..... | 38 |
| ENSAYO DE CAMPO – LEFRANC (IRAM 10 531)..... | 38 |
| ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE (ASTM D2434-68) (AASHTO T 215)..... | 39 |
| ENSAYO DE PERMEABILIDAD PARA SUELOS FINOS DE CARGA VARIABLE (AASHTO T125-66) | 40 |
| ENSAYO DE ABSORCION, EXPANSION Y ASCENSION CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS (AS 1141.53)..... | 41 |
| TRAMPA DE SEDIMENTOS | 42 |
| Materiales y Métodos | 43 |
| Tipo de Investigación | 43 |
| Nivel de Investigación | 43 |
| Diseño de Investigación..... | 43 |
| Criterios de Selección..... | 43 |
| Población, Muestra. | 44 |
| Definición de Variables | 44 |

| | |
|--|-----|
| Operacionalización de Variables | 45 |
| Estrategia Metodológica para demostrar la Hipótesis. | 46 |
| Procedimiento para demostrar la hipótesis..... | 48 |
| Identificación de Puntos de Estudios para Muestras Representativas..... | 48 |
| Ensayos de Caracterización de Suelos..... | 52 |
| Ensayos de Permeabilidad..... | 64 |
| Ensayos de Compactación..... | 70 |
| Diseño y Construcción del Modelo físico | 77 |
| Resultados..... | 92 |
| CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE TERRENO NATURAL | 92 |
| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO..... | 93 |
| ENSAYO DE CAMPO – LEFRANC | 96 |
| ENSAYO DE ASCENSO CAPILAR | 98 |
| PRUEBA EXPERIMENTAL DE PERMEABILIDAD..... | 101 |
| ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA VARIABLE | 103 |
| ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE..... | 103 |
| ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS..... | 104 |
| LÍMITES DE ATTERBERG CON 0.045 % DE CONSOLID C444 Y 2% DE SOLIDRY..... | 105 |
| ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO CON 0.045 % DE CONSOLID C444 Y 2% DE SOLIDRY | 106 |
| ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA VARIABLE CON 0.045 % DE CONSOLID C444 Y 2% DE SOLIDRY | 109 |
| ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE CON 0.045 % DE CONSOLID C444 Y 2% DE SOLIDRY | 110 |

| | |
|---|-----|
| ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS CON 0.045 % DE CONSOLID C444 Y 2% DE SOLIDRY | 110 |
| TRAMPA DE SEDIMENTOS | 111 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA..... | 112 |
| Evaluación económica de Cunetas sin Revestir. | 113 |
| Evaluación económica de Cunetas con Revestimiento de Concreto..... | 113 |
| Evaluación económica de Cuneta Estabilizada con Sistema Consolid | 114 |
| PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CUNETAS ESTABILIZADAS CON SISTEMA CONSOLID | 115 |
| Discusión | 118 |
| Interpretación de los resultados | 130 |
| Limitaciones del estudio..... | 132 |
| Conclusiones..... | 133 |
| Recomendaciones | 135 |
| Referencias | 136 |
| Anexos | 139 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Fig. 1. Obras de Drenaje Superficial [3] | 28 |
| Fig. 2. Sección Transversal de Cuneta Triangular Atípica [3]..... | 28 |
| Fig. 3. Tramo en mal estado. Fuente: Propia..... | 48 |
| Fig. 4. Punto de Extracción de la Muestra. Fuente: Propia. | 49 |
| Fig. 5. Tramo con cunetas improvisadas. Fuente: Propia. | 50 |
| Fig. 6. Punto de extracción de la muestra. Fuente: Propia | 50 |
| Fig. 7. Extracción de Muestra N°02. Fuente: Propia. | 51 |
| Fig. 8. Punto de extracción de la Muestra N°03. Fuente: Google Earth. | 52 |
| Fig. 9. Material de Cantera "Josecito". Fuente: Propia | 52 |
| Fig. 10. Peso de Tara + Muestra Húmeda Suelo Tipo SP-SM. Fuente: Propia. | 53 |
| Fig. 11. Peso de Tara + Muestra Húmeda Suelo Tipo SC. Fuente: Propia. | 53 |
| Fig. 12. Peso de Tara + Muestra Húmeda Suelo Tipo GP-GM. Fuente: Propia. | 53 |
| Fig. 13. Cuarteo de la Muestra Representativo. Fuente: Propia..... | 54 |
| Fig. 14. Tamices para utilizar para en Granulometría. Fuente: Propia. | 54 |
| Fig. 15. Muestras retenidas por los Tamices. Fuente: Propia..... | 54 |
| Fig. 16. Saturación de la Muestra. Fuente: Propia | 55 |
| Fig. 17. Índice de Plasticidad. Fuente: Propia..... | 55 |
| Fig. 18. Proceso de Mezclado con Consolid. Fuente: Propia..... | 56 |
| Fig. 19. Secado en el Horno límites con consolid. Fuente: Propia..... | 56 |
| Fig. 20. G. Especifica – Suelo Tipo SP-SM. Fuente: Propia. | 57 |
| Fig. 21. G. Especifica – Suelo Tipo SC. . Fuente: Propia. | 57 |
| Fig. 22. G. Especifica – Suelo Tipo GP-GM. . Fuente: Propia..... | 57 |
| Fig. 23. Mezcla de Estabilizadores. Fuente: Propia | 60 |
| Fig. 24. Adición de Solidry Fuente: Propia. | 60 |
| Fig. 25. Proceso de Secado. Fuente: Propia. | 61 |
| Fig. 26. Muestras con diferentes dosificaciones. Fuente: Propia | 61 |
| Fig. 27. Muestras después de 240 horas. Fuente: Propia | 61 |
| Fig. 28. Molde de Experimentación. Fuente: Propia..... | 62 |
| Fig. 29. Colocación de C444 en 1:4. Fuente: Propia..... | 64 |
| Fig. 30. Suelo después del compactado. Fuente: Propia | 64 |
| Fig. 31. Proceso de Discurrimento de 1000 ml de Agua. Fuente: Propia | 64 |
| Fig. 32. Ensayo de Permeabilidad en Campo – Suelo Tipo SC. Fuente: Propia..... | 65 |

| | |
|---|----|
| Fig. 33. Saturación de la Calicata – Suelo Tipo SC. Fuente: Propia..... | 65 |
| Fig. 34. Saturación del sondeo – Suelo Tipo SP. Fuente: Propia..... | 65 |
| Fig. 35. Medición de pérdida de carga hidráulica. Fuente: Propia..... | 65 |
| Fig. 36. Instalación del Permeámetro. Fuente: Propia | 66 |
| Fig. 37. Toma de Datos – Suelo Tipo GP-GM Natural. Fuente: Propia | 67 |
| Fig. 38. Mezclado de Suelo con Consolid. Fuente: Propia | 67 |
| Fig. 39. Toma de Datos GP-GM- con Consolid. Fuente: Propia | 67 |
| Fig. 40. Instalación del Equipo. Fuente: Propia | 68 |
| Fig. 41. Colocación de Piedra Porosa. Fuente: Propia | 69 |
| Fig. 42. Toma de Datos – Suelo Tipo SC Natural. Fuente: Propia | 69 |
| Fig. 43. Mezclado de Estabilizadores con Suelo Natural. Fuente: Propia | 69 |
| Fig. 44. Toma de Datos – Suelo Tipo SC con Consolid. Fuente: Propia..... | 70 |
| Fig. 45. Ensayo de Proctor con Adiciones – Suelo Tipo SP-SM. Fuente: Propia..... | 73 |
| Fig. 46. Ensayo de Proctor con Adiciones – Suelo Tipo SC. Fuente: Propia..... | 73 |
| Fig. 47. Ensayo de Proctor con Adiciones – Suelo Tipo GP-GM. Fuente: Propia..... | 74 |
| Fig. 48. Proceso de Mezclado con Solidry. Fuente: Propia | 76 |
| Fig. 49. Proceso de colocación de C444 en 1:4. Fuente: Propia..... | 76 |
| Fig. 50. Espécimen después del Compactado. Fuente: Propia..... | 76 |
| Fig. 51. Colocación en una capa de agua de 2cm. Fuente: Propia | 77 |
| Fig. 52. Medida después de 72 horas- Suelo Tipo GP-GM Consolid. Fuente: Propia... | 77 |
| Fig. 53. Plano de Diseño de Cuneta modelo a escala. Fuente: Propia | 78 |
| Fig. 54. Proceso de Construcción de Cuneta. Fuente: Propia | 79 |
| Fig. 55. Sistema de Desagüe. Fuente: Propia | 79 |
| Fig. 56. Sistema de Tuberías. Fuente: Propia..... | 79 |
| Fig. 57. Estimación de curvas IDF bajo escenarios futuros. Fuente: Senahmi. https://idesep.senamhi.gob.pe/dhi-idf/ | 82 |
| Fig. 58. Preparación de modelación de cuneta (SP-SM). Fuente: Propia | 87 |
| Fig. 59. Preparación de modelación de Cuneta (SC). Fuente: Propia | 87 |
| Fig. 60. Preparación de modelación de Cuneta (GP-GM). Fuente: Propia..... | 88 |
| Fig. 61. Proceso de escurrimiento superficial (SP-SM). Fuente: Propia..... | 88 |
| Fig. 62. Proceso de escurrimiento superficial (SC). Fuente: Propia | 89 |
| Fig. 63. Proceso de escurrimiento superficial (GP-GM). Fuente: Propia | 89 |
| Fig. 64. Material de Arrastre sin estabilizadores Suelo tipo SP-SM. Fuente: Propia | 90 |

- Fig. 65.** Material de Arrastre sin Estabilizadores Suelo Tipo SC. Fuente: Propia 90
- Fig. 66.** Material de Arrastre sin Estabilizadores Suelo Tipo GP-GM. Fuente: Propia . 90
- Fig. 67.** Material de Arrastre con Estabilizadores Suelo Tipo SP-SM. Fuente: Propia . 91
- Fig. 68.** Material de Arrastre con Estabilizadores Suelo Tipo SC. Fuente: Propia..... 91
- Fig. 69.** Material de Arrastre con Estabilizadores Suelo Tipo GP-GM. Fuente: Propia 91

Lista de tablas

| | |
|--------------------|----|
| TABLA I | 25 |
| TABLA II | 29 |
| TABLA III | 30 |
| TABLA IV | 32 |
| TABLA V | 33 |
| TABLA VI | 38 |
| TABLA VII | 44 |
| TABLA VIII | 45 |
| TABLA IX | 45 |
| TABLA X | 46 |
| TABLA XI | 49 |
| TABLA XII | 50 |
| TABLA XIII | 51 |
| TABLA XIV | 58 |
| TABLA XV | 59 |
| TABLA XVI | 62 |
| TABLA XVII | 63 |
| TABLA XVIII | 66 |
| TABLA XIX | 68 |
| TABLA XX | 71 |
| TABLA XXI | 71 |
| TABLA XXII | 72 |
| TABLA XXIII | 72 |
| TABLA XXIV | 74 |
| TABLA XXV | 75 |
| TABLA XXVI | 80 |
| TABLA XXVII | 81 |
| TABLA XXVIII | 81 |
| TABLA XXIX | 83 |
| TABLA XXX | 84 |
| TABLA XXXI | 85 |
| TABLA XXXII | 85 |

| | |
|---------------------|-----|
| TABLA XXXIII | 85 |
| TABLA XXXIV | 86 |
| TABLA XXXV | 92 |
| TABLA XXXVI..... | 92 |
| TABLA XXXVII..... | 93 |
| TABLA XXXVIII | 94 |
| TABLA XXXIX..... | 95 |
| TABLA XL | 96 |
| TABLA XLI..... | 97 |
| TABLA XLII..... | 97 |
| TABLA XLIII | 98 |
| TABLA XLIV | 99 |
| TABLA XLV..... | 100 |
| TABLA XLVI..... | 101 |
| TABLA XLVII..... | 102 |
| TABLA XLVIII..... | 102 |
| TABLA XLIX | 103 |
| TABLA L | 103 |
| TABLA LI..... | 103 |
| TABLA LII..... | 104 |
| TABLALIII | 104 |
| TABLA LIV | 105 |
| TABLA LV | 107 |
| TABLA LVI..... | 108 |
| TABLA LVII..... | 109 |
| TABLA LVIII | 110 |
| TABLA LIX | 110 |
| TABLA LX | 111 |
| TABLA LXI | 112 |
| TABLA LXII..... | 112 |
| TABLA LXIII | 112 |
| TABLA LXIV | 113 |
| TABLA LXV..... | 114 |

| | |
|------------------|-----|
| TABLA LXVI..... | 114 |
| TABLA LXVII..... | 115 |

Lista de Gráficas

| | |
|---|-----|
| Gráfica N° 1. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad Natural (SP-SM). Fuente: Elaboración Propia | 94 |
| Gráfica N° 2. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad SC. Fuente: Elaboración Propia. | 95 |
| Gráfica N° 3. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad Natural (SC). Fuente: Elaboración Propia..... | 96 |
| Gráfica N° 4. Ascenso Capilar SP-SM. Fuente: Elaboración Propia. | 99 |
| Gráfica N° 5. Ascenso Capilar SC. Fuente: Elaboración Propia..... | 100 |
| Gráfica N° 6. Ascenso Capilar GP-GM. Fuente: Elaboración Propia..... | 101 |
| Gráfica N° 7. Curva de Fluidez SC con CONSOLID. Fuente: Elaboración Propia..... | 106 |
| Gráfica N° 8. Curva de Fluidez GP-GM con CONSOLID. Fuente: Elaboración Propia | 106 |
| Gráfica N° 9. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad Consolid (SP-SM). Fuente: Elaboración Propia..... | 107 |
| Gráfica N° 10. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad Consolid (SC). Fuente: Elaboración Propia | 108 |
| Gráfica N° 11. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad Consolid (GP-GM). Fuente: Elaboración Propia | 109 |
| Gráfica N° 12. Contenido de Humedad de M-1, M-2, M-3. Fuente: Elaboración Propia | 118 |
| Gráfica N° 13. Análisis Granulométrico de M-1, M-2, M-3. Fuente: Elaboración Propia. | 119 |
| Gráfica N° 14. Índice de Plasticidad de M-1, M-2, M-3. Fuente: Elaboración Propia. | 120 |
| Gráfica N° 15. Comparación de Ascenso Capilar Natural y 0.045% de C444 +2% de Solidry. Fuente: Elaboración Propia..... | 121 |
| Gráfica N° 16. Comparación de la capacidad de infiltración de M-1, M-2 y M-3..... | 122 |
| Gráfica N° 17. Comparación de Máxima Densidad Seca. Fuente: Propia. | 123 |
| Gráfica N° 18. Comparación Óptima de Contenido de Humedad. Fuente: Propia. | 124 |
| Gráfica N° 19. Ascensión Capilar de las muestras a las 72 horas. Fuente: Elaboración Propia..... | 126 |
| Gráfica N° 20. % de Absorción a las 72 horas. Fuente: Elaboración Propia | 126 |
| Gráfica N° 21. Comparación de Material de Arrastre | 127 |

| | |
|--|-----|
| Gráfica N° 22. Eficiencia del estabilizante según cada tipo de suelo | 128 |
| Gráfica N° 23. Comparación de Costos x m de Revestimiento de Cunetas Fuente: Elaboración Propia. | 130 |

Resumen

El flujo de la escorrentía debido a las precipitaciones desempeña un papel crucial en la erosión de las obras drenaje de las carreteras no pavimentadas, especialmente cuando los sistemas de drenaje no son revestidos y el tipo de suelo es permeable y erosionable. Estas condiciones disminuyen la durabilidad y funcionabilidad de este tipo de estructuras. A pesar de su importancia estratégica, las obras de drenaje no están recibiendo la atención necesaria en este tipo de carreteras. Por lo tanto, esta investigación analiza un nuevo enfoque de revestimiento de suelos para las obras de drenaje con la incorporación de un estabilizador "Sistema Consolid". Para esto, se planteó analizar muestras de suelo representativas de carreteras no pavimentadas y una muestra de cantera de tipo afirmado e incorporarles el estabilizador. Las muestras fueron sometidas a ensayos de compactación, de permeabilidad, capilaridad, absorción. Con los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio se puede determinar que el estabilizador aumenta las propiedades mecánicas de estos suelos. Para verificar la efectividad del estabilizante "Sistema Consolid" como revestimiento en las obras de drenaje, se realizaron pruebas de recolección de material de arrastre mediante la modelación física de una obra de drenaje de tipo cuneta de sección triangular, se controló factores como velocidad de flujo y pendiente, buscando obtener datos que se adapten lo más fielmente posible a las condiciones reales que podrían surgir en una carretera no pavimentada.

Palabras clave: Impermeabilidad de los Suelos, Erosión de las obras de Drenaje, Revestimiento de Cunetas, Carreteras No Pavimentadas, Sistema Consolid.

Abstract

Runoff flow due to precipitation plays a crucial role in the erosion of drainage works on unpaved roads, especially when the drainage systems are unlined and the soil type is permeable and erodible. These conditions decrease the durability and functionality of such structures. Despite their strategic importance, drainage works are not receiving the necessary attention on these types of roads. Therefore, this research analyzes a new soil lining approach for drainage works incorporating a stabilizer known as "Consolid System." For this purpose, it was proposed to analyze representative soil samples from unpaved roads and a sample from an affirmed quarry, incorporating the stabilizer. The samples underwent compaction, permeability, capillarity, and absorption tests. The results obtained from laboratory tests indicate that the stabilizer enhances the mechanical properties of these soils. To verify the effectiveness of the "Consolid System" stabilizer as a lining in drainage works, material collection tests were conducted through the physical modeling of a triangular section ditch drainage work. Factors such as flow velocity and slope were controlled, aiming to obtain data that closely resemble the actual conditions that might arise on an unpaved road.

Keywords: Soil Impermeability, Drainage Works Erosion, Gutter Lining, Unpaved Roads, Consolidation System.

Introducción

Situación Problemática

Las constantes precipitaciones debido al cambio climático mundial son perjudiciales cuando nos referimos a proyectos viales. Una obra vial debe ser drenada para evitar la pérdida de resistencia de sus bases o sub-base debido a la saturación de estos, para poder garantizar mayor durabilidad y seguridad vial, ocasionado por la presencia de agua en la estructura.

En [1] señala que las Carreteras no pavimentadas son diseñadas como carreteras de bajo costo. Por lo tanto, cuentan con lineamientos de diseño inadecuados. Por consiguiente, muchas de estas obras de drenaje no son revestidas, lo que significa que no tienen un revestimiento de concreto u otro material que las proteja. Esto puede llevar a problemas como la erosión del suelo, el colapso de estas debido a fuertes lluvias o flujos de escorrentía intensos, y obstrucción con sedimentos y escombros.

Según [2] Las Redes Viales en el Perú debido al incremento de las precipitaciones presentan graves daños. Siendo las más afectadas las Redes Viales Vecinales, que representan el 65 % de las redes viales totales. Por otro lado, el 98.4 % de estas, tiene una superficie de rodadura no pavimentada, este tipo de carreteras son las más comunes en nuestro país, su función es articular las capitales de distritos y provincias con los centros poblados, cuya actividad principal es el comercio y transporte de productos agrícolas.

En [3] El Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje considera varios tipos de estructuras para evacuar las acumulaciones de agua que se almacenan en la superficie de la carretera, que pueden originarse tanto por precipitaciones como por el escurrimiento de los terrenos adyacentes, estas son cunetas, zanjas de coronación, zanjas de drenaje, etc.

Según [1] la accidentada topografía de nuestro país y la diversidad de tipos de suelos, al momento de diseñar obras de drenaje condicionan que éstas deben ser revestidas con concreto o con cualquier otro material resistente a la erosión, ya que pueden encontrarse pendientes mayores a 4% superando las velocidades admisibles de flujo de agua, ocasionando daños por erosión. Por otro lado, se presentan suelos permeables que pueden permitir el paso del agua a la estructura vial debilitando su resistencia.

Otro problema, que existe es la escasez de diseños innovadores en los Manuales de Carreteras, limitaciones presupuestarias por parte del gobierno, falta de mantenimiento

adecuado en la infraestructura existente, esto acelera el proceso de deterioro, generando daños en las estructuras de drenaje superficial.

Formulación del Problema

Este panorama sirve para comprender la magnitud de las consecuencias de no tener en consideración la protección de las obras de drenaje de nuestra infraestructura vial. Sufriendo consecuencias como localidades incomunicadas, paralización de transporte de pasajeros y productos agrícolas, generando así pérdidas económicas, hasta pérdida de vidas.

Por esta razón, en el siguiente trabajo de investigación se analizó ¿sí el uso del estabilizante Sistema Consolid mejora la impermeabilidad y el control de erosiones de tres diferentes tipos de suelos con el fin de utilización en obras de drenaje superficial para carreteras no pavimentadas?

Justificación del Proyecto

El presente proyecto en el contexto de la justificación social busca beneficiar a las distintas localidades y centros poblados. Ya que, al mejorar las propiedades de las obras de drenaje superficial, éstas serán más eficientes, por consecuente se minimizarán los daños y obstrucciones viales en las carreteras no pavimentadas, por facilitar la evacuación rápida de las aguas a causa de las precipitaciones. Disminuyendo las brechas de desigualdad, aumento del crecimiento económico y aportando a al desarrollo de las necesidades básicas como la educación, salud, empleo, etc.

Dentro del contexto de la justificación económica, este tema de investigación aborda la necesidad de encontrar nuevas soluciones prácticas para obras de drenaje. Al mejorar sus propiedades se puede reducir costos de mantenimiento rutinario o periódico a largo plazo. Así como también, reducción de costos, disminución de mano de obra, tiempo y el flete de transporte de materiales para su construcción.

En el ámbito de la justificación ambiental, al mejorar las propiedades de los suelos en su estado natural, reducen el impacto ambiental de la fabricación y transporte de cemento y otros materiales que se usan para los revestimientos y la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero por el transporte de estos. Debido a que los componentes del estabilizante son 100 % ecológicos, no generan contaminación en las capas de tierra ni de agua.

La justificación científica de este proyecto radica en su potencial para sentar las bases sólidas que guíen investigaciones futuras destinadas a mejorar las propiedades de las obras de drenaje. Estas estructuras son fundamentales para gestionar eficazmente el flujo de agua en entornos rurales, previniendo daños y erosión de terrenos. Sin embargo, su eficacia puede verse comprometida por problemas como la erosión y la falta de impermeabilidad.

Objetivos de la investigación

En vista de la problemática descrita anteriormente. El estudio persigue conseguir el objetivo general de:

- Analizar el mejoramiento de la impermeabilidad y el control de erosiones en obras de drenaje superficial en carreteras no pavimentadas, aplicando el Sistema Consolid,

Para ello, para lograr el objetivo planteado, también se presentan los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las propiedades mecánicas de tres diferentes muestras de suelo, de diferente granulometría y índices de plasticidad, estabilizadas y sin estabilizar, en función a su impermeabilidad y erosionabilidad.
- Determinar la dosificación óptima de aditivo Consolid C444 y Solidry para el suelo utilizado en obras de Drenaje superficial.
- Realizar un análisis comparativo de los ensayos de Permeabilidad y Erosionabilidad del suelo natural y del suelo con estabilizante.
- Evaluar el nivel de erosionabilidad de la superficie de una cuneta de suelo natural y con estabilizante, a una pendiente de 5 % a escala mediante un flujo de agua controlado de velocidad constante.
- Realizar una evaluación económica de costos de un sistema convencional y los del Sistema Consolid.
- Proponer un procedimiento constructivo práctico aplicando el sistema Consolid en la estabilización de cunetas con tierra natural.

Revisión de literatura

Antecedentes del Problema

Dentro del conjunto de estudios relacionadas con el proyecto de investigación, se presentan los siguientes antecedentes, cada uno con su correspondiente resumen conceptual.

R. Ramos y K. J. Casamayor [4] La presente investigación se realizó en el tramo de la Tres Cruces – Yuracmarca desde Km 19+700 hasta Km 22+150. El objetivo del estudio es seleccionar una mejor alternativa de sistema de drenaje con el propósito de evitar el deterioro de la estructura y minimizar los impactos negativos en el medio ambiente y daños en la población, por las intensas precipitaciones que sufre la localidad. La metodología por seguir es elaborar un análisis hidrológico para calcular el caudal de diseño. Posteriormente se formuló propuestas de los distintos sistemas de drenaje teniendo en cuenta las condiciones geológicas, hidrológicas y topográficas de la localidad. Se logro concluir con diseños proyectados de Alcantarillas de Paso y de Alivio con un diámetro de 0.80 m y 0.60 m. Cunetas Triangulares con sección típica de 0.40m de profundidad por 1.00 m de ancho bajo el talud de corte. Cunetas triangulares al lado de la vía de 0.30 m por 0.90 m. Un sub dren convencional de 75 m de largo con una zanja de 0.60 m por 1.20 m y una tubería perforada de 0.15 m de diámetro.

En A. R. Fonseca y C. E. Silva. [5] Este trabajo de investigación tiene como objetivo general determinar la eficiencia y adaptabilidad del diseño de cunetas en vías terciarias aplicando Stenotaphrum Secundatum y enrocado. Tomando como referencia la vía Tierra Negra localizada en Jenesano – Boyaca – Colombia. El estudio se desarrolló en tres fases. Siendo la primera de ella la investigación de campo. Posteriormente se realizó un modelado a escala física en laboratorio con pendientes de 3%, 6% y 10% y por último la obtención y análisis de resultados. Se concluye que la utilización de enrocado disminuye en un 75% la escorrentía evitando el arrastre de sedimentos. Y la presencia de vegetación reduce la velocidad de flujo en un 30%.

E. Pineda [6] El fin de este estudio es analizar la erosión en suelos arcillosos a través de la creación de una modelación de precipitación reducida de la formación Tilata en la Ciudad de Tunja – Pírgua. Se tomaron 6 muestras de suelos en la zona de estudio. Se construyo un modelo físico para predecir diferentes tipos de comportamientos con pendientes de 15 %, 25% y 45%, y intensidades de precipitación de 60mm/h y 120mm/h.

A manera de conclusión, se deduce que la erosión afecta a los taludes con pendientes pronunciadas. Los modelos 4 y 5, que fueron sometidos a una pendiente del 45%, mostraron una pérdida de 0.068 y 1.02 gramos respectivamente. A diferencia del modelo 1 que fue evaluado en la pendiente más baja del estudio, que registró una pérdida de 0.031 gramos.

En Fernández-Raga María [7] El objetivo general de este estudio es proponer un nuevo sistema de drenaje de tipo ramificado y compararlo con el tradicional. Para analizar diferencias en relación costos de construcción, mantenimiento, erosión y vida útil. Se evaluaron parámetros como energía específica media, velocidad media del agua que discurre por los canales y su fuerza de arrastre. Se elaboró un modelo a escala antes de proyectarlo en terreno natural para ponerlo a prueba en campo. Los resultados obtenidos fueron menores en drenaje ramificado comparados con el tradicional: del 24 % al 34 % en velocidad, del 37 % al 60% en energía y del 51 al 73 % en fuerza. El gasto económico es superior al tradicional pero el drenaje ramificado tiene un costo de mantenimiento menor al tradicional y será rentable a partir del octavo año de construcción, ahorrando el mantenimiento en 15 años de vida útil.

En B.Y. Ramírez. [8] Este trabajo de investigación tiene como fin la evaluación del CBR. y su capacidad de un suelo areno - arcilloso para ser afectado por la presencia de agua, usando dos estabilizadores químicos, Consolid y Cemento. Se puede apreciar que se logró reducir el óptimo contenido de humedad hasta en 2.35%, el aumento de la máxima densidad seca fue hasta 0.034 g/cm³ comparada con la mecánica de suelos natural. Los resultados del CBR obtenidos tras la estabilización mediante el sistema Consolid, se ajustan a los estándares definidos en las Especificaciones Técnicas Generales del MTC para subrasante mejorada, sub - base y base.

En Laura, K. [9] En el presente trabajo de investigación titulada “Estabilización de subrasante del suelo natural con adición de polímeros, en camino vecinal Maras - Moray, Cusco, 2021”. El objetivo de esta tesis fue determinar la capacidad de los polímeros para estabilizar el suelo natural. El diseño de dosis para Consolid y Solidry. Al agregar Consolid al 0.1% y 1.5% de Solidry, se obtuvo un aumento significativo de CBR hasta un 129%, una disminución capilar hasta 56.8 mm y un aumento de densidad hasta 1.95 gr/cm³. Esto mejoró las propiedades físico-mecánicas del suelo. Se ha llegado a la conclusión de que la adición de polímeros mejoró significativamente las propiedades del

suelo natural, y se sugiere que se lleven a cabo más investigaciones sobre este fenómeno en otros aspectos.

H. Karen, M. Mario [10] Según El propósito principal de este trabajo académico es investigar la estabilización de suelos con el uso del Sistema Consolid en el área comprendida entre CP Batanes y CP San Pedro, en la prov. de Morropón, dpto. de Piura. Se obtuvo un suelo tipo limo de alta plasticidad con arena y se realizaron cinco muestras con diversas dosificaciones del Sistema Consolid, el suelo resultó impermeable. Se realizó un ensayo de proctor modificado y CBR con cuatro muestras diferentes; la muestra 01 contenía CONSOLID 444 al 0,045% y SOLIDRY al 0.5%, la muestra 02 contenía CONSOLID 444 al 0,045% y SOLIDRY al 1.0%, la muestra 03 contenía CONSOLID 444 al 0,045% y SOLIDRY al 1.5%, y la muestra 04 contenía CONSOLID 444 al 0,045% y SOLIDRY al 2%, resultando como dosificación ideal, la muestra 04 tenía una densidad seca máxima de 1.870 g/cm³, una humedad óptima del 11.1% y un CBR de 23.5 y 28.2 al 95 y 100%. A manera de conclusión se descubre que la estabilización con el Sistema Consolid aumenta significativamente la densidad seca máxima y el CBR.

Bases Teóricas Científicas

Permeabilidad

En [11] se refiere a la permeabilidad como la capacidad de un medio para facilitar el transporte de agua u otras sustancias. Un medio se considera permeable cuando puede dejar pasar una gran cantidad de líquido, mientras que es impermeable si permite el paso de una cantidad insignificante de líquido. Los suelos pueden ser caracterizados como permeables debido a la presencia de poros. Estos poros tienen la capacidad de absorber agua, y posteriormente se interconectan de manera que proporcionan un camino a través del cual el agua puede moverse fácilmente. Si esto no ocurre, es decir, si hay un número mínimo de espacios vacíos interconectados, el suelo se vuelve impermeable.

En [12] La permeabilidad se define a la capacidad de un suelo o material poroso para posibilitar el desplazamiento del flujo a través de él. Esta propiedad puede ser conceptualizada como la velocidad de flujo inducida por un gradiente hidráulico unitario. El coeficiente de permeabilidad (k) se utiliza para cuantificar la resistencia al flujo que presenta el suelo. La capacidad de permeabilidad puede ser influenciada por una variedad de factores como: la temperatura, densidad del suelo, estratificación del suelo, relación de vacíos, presencia de fisuras y agujeros, etc.

TABLA 1

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD [13]

| Permeabilidad | Coefficiente de Permeabilidad (m/s) |
|-------------------------|--|
| Muy permeable | $> 1 \times 10^{-1}$ |
| Moderadamente permeable | 1×10^{-1} a 1×10^{-3} |
| Poco permeable | 1×10^{-3} a 1×10^{-5} |
| Muy poco permeable | 1×10^{-5} a 1×10^{-7} |
| Impermeable | $< 1 \times 10^{-7}$ |

Según [14] varios elementos pueden influir en el coeficiente de permeabilidad, si bien el más significativo es el porcentaje de vacíos presentes en cualquier tipo de suelo. Este factor determina cómo, Cuando un suelo es comprimido o compactado, el espacio entre sus partículas sólidas se reduce, lo que conlleva a una disminución en su permeabilidad.

Erosión Hídrica

En [15] La erosión hídrica es la erosión del suelo causada por el agua. Esto puede ser el resultado de las gotas de lluvia o del escurrimiento superficial. Las gotas de lluvia dañan la estructura superficial del suelo salpicando el material sólido. El flujo superficial transporta el material ya suelto y genera una fuerza de arrastre sobre el suelo, formando pequeños canalillos que con el paso del tiempo contribuyen significativamente a la pérdida de suelo

En [16] La erosión de los suelos es un fenómeno natural que ocurre con mayor frecuencia en terrenos con pendiente y generalmente es causado por procesos naturales, como vientos fuertes o lluvias intensas. En los suelos con pendientes ocurre un escurrimiento superficial, el agua fluye con un régimen laminar a través de un trayecto corto, arrastrando consigo partículas de suelo y materia orgánica desplazada de este y la velocidad del agua no supera por lo general 30 cm/seg.

En explica sobre [17] Cuantificar la erosión en una carretera es importante para evaluar su estado y tomar medidas de mantenimiento preventivo o correctivo. Uno de los métodos es la inspección visual, que consiste en realizar un seguimiento periódico para analizar el

comportamiento del tipo de suelo frente a las corrientes de agua. Otro de los métodos utilizados, es el control de sedimentos que consiste en la instalación de dispositivos de control de sedimentos, como trampas de sedimentos o barreras de escorrentía, en áreas propensas a la erosión para capturar el sedimento.

Carreteras No Pavimentadas

En [18] un camino sin pavimentar se define como una ruta cuya superficie de rodadura está compuesta por una estructura de agregados pétreos o material granular. Comúnmente, estos materiales se conocen como "afirmado". Las carreteras no pavimentadas presentan características diversas según la región en la que se encuentren. Por lo general, se sitúan en áreas de topografía ondulada o accidentada, aunque también pueden encontrarse en terrenos planos. Por ejemplo, en la selva, suelen estar sobre suelos arcillosos o limosos, con una vegetación densa, altas temperaturas y precipitaciones abundantes a lo largo de todo el año. En contraste, en la costa, el suelo es mayormente arenoso, con escasa vegetación, variaciones de temperatura a lo largo del año y pocas lluvias. En la sierra, se encuentran diferentes tipos de rocas y suelos finos, con vegetación escasa, cambios de temperatura y lluvias estacionales. El ancho de las carreteras suele oscilar entre 4,0 y 5,0 metros, aunque en algunos casos ordinarios pueden tener 3,30 metros o 8,00 metros de ancho. La circulación vehicular depende según la región, pero en su mayoría, más del 50% de las vías experimentan un tráfico pesado. El Índice Medio Diario (IMD) suele ser inferior a 400 vehículos al día, y en el 50% de los casos, se registra un flujo de menos de 50 vehículos por día.

Drenaje Superficial

Según [1] El propósito del drenaje superficial es desviar las aguas lejos de la estructura para prevenir cualquier impacto sobre su durabilidad, transitabilidad y estabilidad. Garantizar un adecuado sistema de drenaje es fundamental para prevenir daños significativos en la carretera y reducir lo mayor posible los impactos negativos en el medio ambiente debido a los cambios de la escorrentía a lo largo de la sección.

El drenaje superficial abarca varios aspectos:

- La captura de las aguas procedentes de la carretera y sus taludes.
- El desvío de las aguas capturadas hacia cursos de agua naturales.

- La recuperación de la continuidad de los cursos naturales que han sido interrumpido por la carretera.

Al seleccionar los elementos para el drenaje superficial, se consideran diversos criterios funcionales, que incluyen:

- Disponibilidad de soluciones técnicas
- Facilidad de conformación y los costos asociados con la construcción y el mantenimiento.
- También se evalúan los posibles daños causados por los flujos de agua durante los períodos de mayor caudal, es decir, los máximos periodos durante el diseño.
- Es importante que el flujo de la escorrentía en estos elementos no cause daños por erosión o sedimentación, y que estén diseñados, dimensionados y mantenidos adecuadamente para prevenir obstrucciones y riesgos asociados.

Obras de Drenaje Superficial

En [3] los principios del drenaje superficial son muy sencillos, el flujo de agua se produce por gravedad, siempre hacia los puntos bajos, al aumentar la pendiente aumenta la velocidad. Hay que controlar que no queden puntos bajos sin desagüe para evitar la infiltración; que las velocidades máximas sean admisibles para los materiales de los elementos de drenaje y que las sobrevaloraciones sean admisibles.

Según [1] Comprende la evacuación de las aguas procedentes de precipitaciones, con el motivo de alejarlas de la carretera y así disminuir el impacto negativo de estas mismas. Para su diseño debemos tener en cuenta: Soluciones técnicas, costos y facilidad de mantenimiento.

De hecho, en [1] y [3] se puede suponer que la corriente no causará daños apreciables por erosión de la superficie del canal si su velocidad promedio no excede el límite impuesto por el tipo de superficie (para flujos de corta duración). Si la corriente es capaz de transportar sólidos en suspensión, es importante tener precaución para asegurar que la disminución de la velocidad del agua no resulte en la acumulación de sedimentos

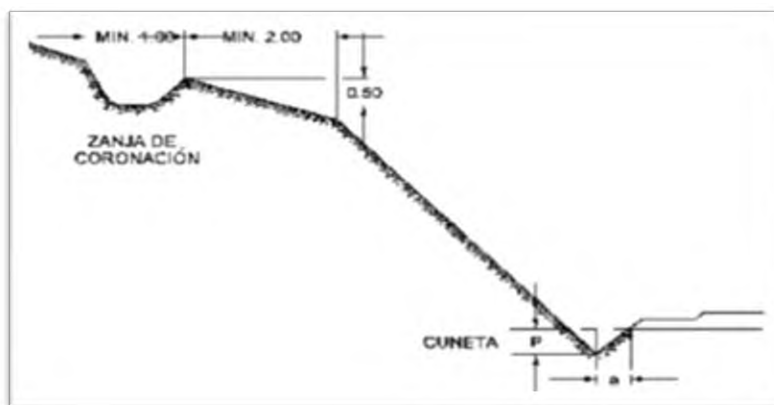


Fig. 1. Obras de Drenaje Superficial [3]

Zanjas de Coronación

En [1] se proyectan en la zona superior de los taludes de corte para transportar el flujo de agua que baja por las pendientes y dirigirlas a la estructura de descarga próxima, evitando la erosión, especialmente en terrenos de pendiente elevada. Generalmente son de forma rectangular. La norma señala que si la pendiente supera el 2 % es fundamental que la estructura sea recubierta de concreto simple o enrocado. Y en la condición que estén expuesta a infiltración y pueda ocasionar la inestabilidad del talud.

Cunetas

En [1] Se proyectan en el pie de todos los tramos de taludes de corte. Se ubican paralelamente a la calzada del camino y en lugares donde puede existir flujos de agua que afecten a la carretera. Existen diferentes tipos de sección de cunetas, la norma señala que preferentemente utilizemos una de sección triangular. Sus dimensiones son establecidas en función de condiciones pluviométricas. Las dimensiones mínimas por utilizar para una región lluviosa son de 0.30 m de profundidad y 0.75 m de ancho.

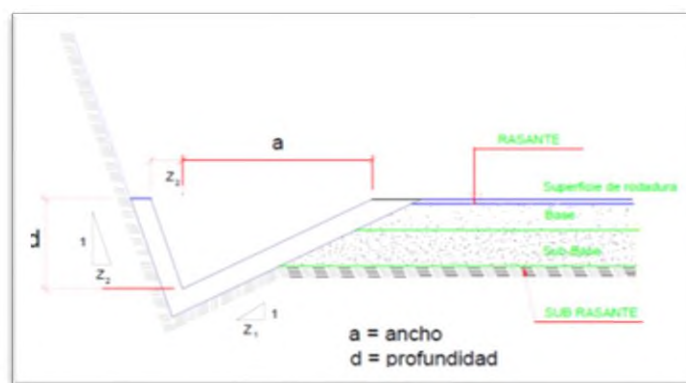


Fig. 2. Sección Transversal de Cuneta Triangular Atípica [3].

TABLA II
DIMENSIONES DE CUNETAS POR REGIONES [3]

| Región | Profundidad (D) (M) | Ancho (A) (M) |
|--|---------------------|---------------|
| Seca (<400 mm/año) | 0.20 | 0.50 |
| Lluviosa (de 400 a < 1600 mm/ año) | 0.30 | 0.75 |
| Muy lluviosa (De 1600 a < 3000 mm/año) | 0.40 | 1.20 |
| Muy lluviosa (>3000 mm/año) | 0.30 | 1.20 |

Revestimiento de las Obras de Drenaje Superficial.

En [19] las obras de drenaje se diseñan para resistir la erosión causada por la escorrentía. El control de la erosión en estas obras sin revestir está determinado por las características de suelo de la subrasante, la pendiente longitudinal de la carretera y la intensidad de la precipitación prevista en el diseño. Es esencial evaluar cómo el agua erosiona la superficie del suelo que forma la cuneta. La velocidad del agua está directamente influenciada por la pendiente longitudinal de la carretera y el caudal proveniente del área de captación definida por el ancho del área de captación y la longitud de la cuneta.

En señala que [1] las obras de drenaje deberán ser revestidas con una lechada de cemento o piedra, o con cualquier otro material resistente a la erosión, cuando el tipo de suelo se disgrega fácilmente, cuando las corrientes de agua alcanzan velocidades mayores a los límites permisibles, además cuando el suelo es altamente permeable facilita la filtración de agua a las capas de la carretera y cuando la pendiente sea mayor o igual al 4%. Se tienen las siguientes consideraciones:

- Los revestimientos de las obras de drenaje se hacen con el fin de evitar el deterioro efectuado por la erosión.
- Los revestimientos serán de concreto o de mampostería previa evaluación de las velocidades conforme con las pendientes.
- Se sugiere revestir la estructura de concreto $f' c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y espesor de 0.075 m.

TABLA III
VELOCIDADES MÁXIMAS PERMISIBLES [3]

| Tipo de Superficie | Máxima velocidad admisible (m/s) |
|---|---|
| Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla) | 0.20-0.60 |
| Arena arcillosa dura, mangas duras | 0.60-0.90 |
| Terreno parcialmente cubierto de vegetación | 0.60-1.20 |
| Arcilla, grava, pizarras blandas con cubierta vegetal | 1.20-1.50 |
| Hierba | 1.20-1.80 |
| Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas | 1.40-2.40 |
| Mampostería, rocas duras | 3.00-4.50 |
| Concreto | 4.50-6.00 |

Estabilizador Sistema Consolid

En [20] el Sistema Consolid se fundamenta en la utilización y combinación de dos elementos: Consolid C444 y Solidry. Es un sistema de nano estabilización de suelos de alta tecnología, que actúa modificando las propiedades y el comportamiento mecánico del suelo, acelerando la atracción de partículas y su compactación. Cada uno influye de manera distinta, dependiendo de las circunstancias y el tipo de suelo. Su mayor uso es en caminos y carreteras, el resultado al utilizar este nano estabilizante será una superficie sólida, resistente al agua y al daño del tránsito pesado. Su aplicación es muy rápida y cualquier agrietamiento o daño se recupera fácilmente volviendo a compactarse. Otra de las características de estabilizar los suelos con este sistema es las variaciones de humedad, ya que ambos productos impiden la circulación del agua desde afuera hacia el interior por efecto de la permeabilidad y capilaridad. Es decir, el suelo tratado se actúa como un material que inhibe y no permite la entrada de agua, ni su circulación a través de sus paredes y evita la pérdida de humedad. Estos aditivos no son contaminantes para el medio ambiente ni dañinos para la salud, ya que están elaborados a base de tensioactivos catiónicos de naturaleza vegetal.

Consolid C444

En [20] Es un líquido lechoso, este componente actúa sobre el agua absorbida que lubrica las partículas finas, induciendo la atracción o aglomeración electromagnética entre las partículas finas y fomentando un incremento en la capacidad de compactación y en la atracción electromagnética entre las partículas., lo que proporciona una mayor resistencia a la deformación. La cantidad de agua del suelo es disminuida hasta lograr inhibir casi por completo la ascensión capilar.

Solidry

En [20] Es un compuesto sólido elaborado a partir de una combinación de cal hidratada y cemento. Este producto se considera como un complemento del Consolid C444, ayuda con la protección de la circulación del agua al bloquear el paso del agua y permitiendo que no penetre en la superficie de capa estabilizada. proceso de impermeabilización del suelo tiene la función de evitar la entrada de agua y regular la pérdida de humedad. Asimismo, controla los fenómenos de capilaridad y permeabilidad, transformando el suelo en un material que resiste la penetración del agua. Este componente es adecuado para una amplia variedad de tipos de suelo. Aunque se diseñó principalmente para suelos altamente plásticos, también puede aplicarse a suelos no plásticos, siempre y cuando se ajuste el índice plástico para que el suelo sea más manejable.

En [20] afirma que generalmente el Sistema Consolid es adecuado para cualquier tipo de suelo, hay situaciones excepcionales en las que puede no ser viable, como en suelos extremadamente arenosos o altamente orgánicos. En todos los escenarios, la determinación de su viabilidad y aplicación dependerá de los resultados de los ensayos de laboratorio.

Ventajas y Limitaciones del Sistema Consolid

Conforme a las especificaciones técnicas del Sistema Consolid, se señalan los beneficios que se encuentran en el suelo tratado con este producto.

- El incremento de la densidad máxima seca oscila entre un 5% y un 10%, aunque en ciertos tipos de suelo puede no haber cambios significativos
- Reduce el óptimo contenido de humedad.

- La vía estabilizada puede abrirse al tráfico de manera inmediata tras finalizar el proceso de compactación, según lo indican las especificaciones del Sistema Consolid
- El rendimiento promedio puede alcanzar hasta 1 kilómetro por día en la conformación y compactación del suelo estabilizado, con un ancho de 6 metros, según las especificaciones del Sistema Consolid.
- Disminuye la permeabilidad del suelo y la velocidad de ascenso capilar.
- No es afectado por los cambios de temperatura.
- No actúa como un aglutinante, por lo que no rigidiza el pavimento, permitiendo que este se mantenga flexible.

Determinación de la dosificación óptima.

En [20] señala que la experiencia demuestra que con una mezcla adecuada de los productos las dosificaciones estándar ofrecen un rendimiento excelente en la mayoría de los suelos. Sin embargo, el ensayo de ascenso capilar es el método más preciso para determinar la dosis adecuada. Para elegir las dosificaciones adecuadas, nos basaremos en los parámetros establecidos por el “Manual del Sistema Consolid”.

El documento incluye una tabla de dosificación para el CONSOLID C444 y el SOLIDRY, que se utilizarán en la investigación. estas tablas son usadas para pavimentos.

TABLA IV

CANTIDAD DE PRODUCTO POR M2 (CONSOLID C444) [20]

| Producto | Espesor | Dosificación | Cantidad |
|----------|----------|--------------|------------------|
| | | % | l/m ² |
| CONSOLID | 20.00 cm | Máx 0.045 | 0.18 |
| | | Med. 0.034 | 0.14 |
| | | Min. 0.023 | 0.09 |
| Producto | Espesor | Dosificación | Cantidad |
| | | % | l/m ² |
| CONSOLID | 15.00 cm | Máx 0.045 | 0.14 |
| | | Med. 0.034 | 0.1 |
| | | Min. 0.023 | 0.07 |
| Producto | Espesor | Dosificación | Cantidad |
| | | % | l/m ² |
| CONSOLID | 10.00 cm | Máx 0.045 | 0.09 |
| | | Med. 0.034 | 0.07 |
| | | Min. 0.023 | 0.05 |

La dosificación del producto Consolid C444 puede variar según el espesor de la capa a tratar, es por esto por lo que para el estudio se decidió utilizar el máximo de porcentaje de dosificación 0.045%, de drenaje.

TABLA V
CANTIDAD DE PRODUCTO POR M2 (SOLIDRY) [20]

| Producto | Espesor | Dosificación | Cantidad |
|----------|---------|--------------|----------|
| | | % | l/m2 |
| CONSOLID | 10 cm | Máx 2 | 4 |
| | | Med. 1.5 | 3 |
| | | Min. 1 | 2 |
| Producto | Espesor | Dosificación | Cantidad |
| | | % | l/m2 |
| CONSOLID | 7.50 cm | Máx 2 | 3 |
| | | Med. 1.5 | 2.25 |
| | | Min. 1 | 1.5 |
| Producto | Espesor | Dosificación | Cantidad |
| | | % | l/m2 |
| CONSOLID | 5 cm | Máx 2 | 2 |
| | | Med. 1.5 | 1.5 |
| | | Min. 1 | 1 |

La dosificación del producto Solidry puede variar según el espesor de la capa a tratar, pero para el estudio se decidió utilizar los porcentajes de 1%, 1.5% y 2%.

Marco Normativo

MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

[1] La finalidad de este escrito es dar a conocer a la nación, un manual de amplio alcance, pero de fácil entendimiento que brinde criterios y consideraciones coherentes y sólidas que posibiliten la construcción y el correcto diseño de caminos eficientes, optimizando en su costo. Así, los límites económicos del sector público no sean un obstáculo para ampliar y mejorar las redes viales. Son caminos de bajo costo. Se caracterizan por tener criterios de evitar movimiento excesivo de tierra, diseñan obras de arte y estructuras para periodos de vida útil de corto y mediano plazo, y por alterar lo menos posible la naturaleza del terreno.

Para el diseño de una carretera de volumen de tránsito se deben tomar factores en cuenta como un drenaje superficial adecuado, se sugiere disminuir la erosión mediante la aplicación de coberturas vegetales o estructuras físicas en áreas como cortes, terraplenes, salidas de drenaje y cualquier zona vulnerable a la acción de corrientes de agua.

CE 020 ESTABILIZACION DE SUELOS Y TALUDES

[21] Señala que, uno de los métodos de estabilización de un talud, es por disminución de las Presiones Hidrostáticas. Las precipitaciones almacenadas en el talud reducen las presiones efectivas, disminuyendo la resistencia del material. Perjudicando la estabilidad del talud la cual se puede restaurarse añadiendo soluciones de obras de drenaje superficial en el talud. El método determinado será seleccionando por el profesional a cargo.

MANUAL DE HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y DRENAJE

[3] El presente documento tiene como objetivo Tener un documento que se utilice como guía de conceptos y metodología para la fijación de parámetros hidráulicos e hidrológicos de diseño, de obras de drenaje en la infraestructura nacional. La información meteorológica e hidrología debe ser brindada por el SENAHMI. En lugares que no se cuente información y de ser el caso, se pedirá datos a los gobiernos encargados de la coordinación de los recursos hidrológicos del lugar.

MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES

En [22] su propósito es establecer normas para uniformizar los métodos y procedimientos empleados en la realización de ensayos tanto en laboratorio como en campo, aplicables a los materiales empleados en proyectos de infraestructura vial. Esto garantiza que el desempeño de dichos materiales cumpla con los estándares de calidad definidos en los estudios, tanto para la construcción de nuevas obras como para el mantenimiento de las vías existentes.

Ensayos

CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC E 108)

Según [22] el contenido de humedad se expresa como la proporción, expresada en porcentaje del peso del agua total presente en una masa de suelo con respecto al peso de la parte sólida presentes en ese mismo suelo.

Equipos:

- Horno con temperatura de 110 +- 5°C.

- Balanza, con sensibilidades de 0.01 g.

Materiales:

- Recipientes deben ser herméticos.
- Utensilios para el manejo de los recipientes.

Procedimiento:

En primer lugar, se registra la masa de un recipiente seco y limpio. Luego, se seleccionan las muestras para el ensayo y se colocan en un recipiente. Se pesa el recipiente con el material húmedo. A continuación, se introduce la tara con la muestra húmeda en el horno y se deja secar por 24 horas. Una vez que la muestra ha alcanzado un peso constante después del secado se procede a pesarlo.

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (NTP.339.128)

Según [23] El análisis granulométrico por tamizado implica agitar la muestra de suelo a través de una serie de tamices con aberturas de tamaño decreciente, siendo el tamiz más pequeño el N° 200. Después de calcular el porcentaje de material retenido en cada tamiz, estos datos se representan en una gráfica.

Equipos:

- Balanza, con sensibilidades de 0.01 g.
- Martillo de caucho
- Horno con temperatura de 110 +- 5°C.

Materiales:

- Taras herméticas
- Tamices que cumplan con la NTP 350.001.
- Cepillo o brocha.
- Cuarteador

Procedimiento:

- Lavar la muestra a través del tamiz número #200.
- Secar en un horno durante 24 horas.
- Pesar la muestra total seca y proceder con el tamizado.

- Registrar los pesos obtenidos en cada tamiz, depositándolos en un recipiente correspondiente.

DETERMINACIÓN DEL L.L Y L.P DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110) (MTC E 111).

Según [22] este procedimiento de evaluación se emplea como un componente fundamental en diversos sistemas de categorización en el ámbito de la ingeniería para describir las partículas de tamaño pequeño presentes en los suelos. Los resultados del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos son ampliamente utilizados con otras propiedades del suelo, para correlacionar su comportamiento, incluyendo la permeabilidad, contracción, compactibilidad, compresibilidad, expansión y resistencia al corte.

LÍMITE LÍQUIDO (LL):

Equipos:

- Copa de Casagrande calibrada.
- Acanalador.
- Balanza, con sensibilidades de 0.01 g.
- Horno con temperatura de 110 +/- 5°C.

Materiales:

- Espátula.
- Tamiz N°40
- Recipiente

Insumos:

- Agua destilada

LÍMITE PLÁSTICO (LP)

Según [23] El límite plástico (L.P.) es la relación de humedad más bajo con el cual se puede formar cilindros de aproximadamente 3,2 mm (1/8 de pulgada) de diámetro. Los cilindros se crean al hacer rodar el suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, como el vidrio esmerilado, manteniéndolos intactos sin que se deshagan.

ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP):

Cálculos:

$$\text{Limite Plastico} = \frac{\text{Peso de Agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} * 100$$

$$I.P = L.L - L.P.$$

*Cuando el Límite líquido o Límite plástico no se pueden determinar se registrará como no plástico (NP).

*Cuando el Límite plástico sea igual o mayor que el Límite líquido, el Índice Plástico se registra como N.P.

ENSAYO ESTNDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS DE SUELO. (MTC E 113).

[22] Esta propiedad se utiliza para calcular las proporciones entre las diferentes fases del suelo, como la relación de vacíos y el grado de saturación. Asimismo, se emplea para determinar la densidad de los sólidos del suelo. Esto se logra multiplicando la gravedad específica de los sólidos del suelo por la densidad del agua a una temperatura determinada. 6].

Equipos:

- Balanza, con sensibilidades de 0.01 g.
- Horno con temperatura de 110 +- 5°C.
- Picnómetro
- Tamiz #10
- Agua destilada

PROCEDIMIENTO:

Primero, se asegura de que el picnómetro esté seco y luego se tritura la muestra y se tamiza a través del tamiz de tamaño N #10. Se toman 50 g del material sobrante por el tamiz y se pesa el picnómetro para obtener su peso inicial. Luego, se pesa el picnómetro junto con el agua hasta cierta altura, obteniendo así el peso combinado del agua y el picnómetro. Para colocar la muestra en el picnómetro, se retira aproximadamente el 75% del agua del picnómetro utilizando un embudo, luego se adiciona la muestra y se vuelve a colocar el agua extraída. El picnómetro con la muestra se hierve a una temperatura baja

durante unos 10 minutos, girándolo ocasionalmente. Después de este proceso, se deja reposar durante 24 horas y se pesa nuevamente para obtener el peso total de la muestra, el picnómetro y el agua.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115)

[22] Este método se emplea para establecer la relación entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos compactados en moldes con diámetros de 4 o 6 pulg, utilizando un pisón de 10 lbf que cae desde una altura de 18 pulg, generando una energía de compactación de 56000 pie - lbf/pie³. Dentro de este ensayo, se presentan tres métodos que se basan en la distribución del material. Los ensayos se realizaron siguiendo las normas establecidas. MTC E 115 Compactación de suelos en Laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado).

TABLA VI
MÉTODOS A, B Y C DEL PROCTOR MODIFICADO

| Proctor Modificado | | | |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Método A | Método B | Método C |
| Molde | 4"(101.6 mm) | 4"(101.6 mm) | 6"(125.4 mm) |
| Peso del Martillo | 10 lb | 10 lb | 10 lb |
| Altura de caída | 18" | 18" | 18" |
| Volumen del molde | 0.000944 m ³ | 0.000944 m ³ | 0.002124 m ³ |
| Material | Pasante N°4 (4.75mm) | Pasante N°3/8 (4.75mm) | Pasante N°3/4 (19.00mm) |
| Capas | 5 | 5 | 5 |
| Golpes por capa | 25 | 25 | 56 |

Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO DE CAMPO – LEFRANC (IRAM 10 531)

Según [24] el método puntual a carga variable se empleó para calcular el coeficiente de permeabilidad en el lugar donde se encuentra el suelo. Este enfoque se utiliza específicamente para suelos finos como limos, arcillas y arenas finas. En este procedimiento, se llena y extrae de manera súbita un volumen de agua en un sondeo de diámetro reducido, lo que provoca un cambio instantáneo en el nivel del agua dentro de la exploración. La pérdida en el nivel de agua se registra en función del tiempo mientras el nivel inicial se restablece gradualmente. Estos datos se analizan utilizando la fórmula propuesta por Lefranc para el ensayo puntual a carga variable.

$$k = \frac{2\pi R}{11(T_1 - T_2)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

K: Coeficiente de Permeabilidad.

R: Radio de la exploración.

h 1: Altura inicial.

h 2: Altura inicial menos el promedio del resultado de la altura drenada.

Ln: Logaritmo Natural.

t2-t1: Diferencia de tiempo de prueba.

Principio del ensayo:

En [25] los suelos se componen de partículas sólidas que cubren los espacios vacíos entre sí, los cuales están entrelazados y permiten el paso del flujo agua a través de estos. Esta característica confiere a los suelos su permeabilidad al agua. La medida de esta permeabilidad se obtiene al aplicar una diferencia de presión hidráulica a una muestra de suelo saturada. El coeficiente de permeabilidad se expresa en términos de velocidad de flujo. Aunque la permeabilidad de los suelos está regida por los principios en todos los suelos, la diferencia entre los coeficientes de permeabilidad de los diferentes tipos de suelos son principalmente una cuestión de magnitud.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE (ASTM D2434-68) (AASHTO T 215)

Este método de ensayo nos permite cuantificar y registrar la pérdida de carga a través de la muestra, manteniendo esta pérdida de carga constante dentro de un rango de variación de $\pm 5\%$. Se registra periódicamente tanto el flujo de entrada como el de salida, y se considera que el ensayo se realiza correctamente cuando la relación entre el flujo de salida y el de entrada se sitúa entre 0.75 y 1.25, o cuando la conductividad hidráulica permanece constante en al menos cuatro determinaciones, dentro de un margen de $\pm 25\%$ del valor promedio para valores de K iguales o superiores a 1×10^{-10} m/s. Esto indica que el ensayo ha sido llevado a cabo de manera adecuada y puede concluirse satisfactoriamente.

$$k = \frac{Q \times L}{A \times t \times h}$$

En donde:

- K= Conductividad Hidráulica c/seg
- Q= Cantidad de Flujo, tomado como el promedio de flujo de entrada y salida, cm³
- L= Longitud de muestra a lo largo de la trayectoria del flujo
- t= Intervalo de tiempo, sobre el que ocurre el flujo Q, seg.
- A= Área de la muestra, cm².
- h= Diferencia en la carga hidráulica a través de la muestra, cm

ENSAYO DE PERMEABILIDAD PARA SUELOS FINOS DE CARGA VARIABLE (AASHTO T125-66)

Este ensayo se basa en la ley de Darcy, formulada en 1865, que examinó cómo fluye el agua a través de filtros o poros, brindando una comprensión fundamental en el campo de la mecánica de suelos.

- Esta ley se aplica específicamente a suelos con contenido de arcilla o limo arcilloso, donde el flujo de agua a través de los poros es notablemente lento, lo que garantiza una duración considerable.
- Se hace necesario calcular el factor de corrección de temperatura (fc) para ajustar la viscosidad del agua a una temperatura estándar de 20°C.
- Durante los ensayos de carga variable, es fundamental asegurarse de que en ningún momento la pérdida de carga aplicada a través de la muestra sea inferior al 65% de la pérdida de carga inicial durante cada determinación de la conductividad hidráulica individual.

$$k = \frac{a \times L \times \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)}{A \times t}$$

Donde:

- a: Área de sección transversal de bureta(cm²).
- A: Área de la muestra(cm²).
- L: Altura de la muestra de suelo(cm).
- H1: Altura al comienzo del ensayo de agua(cm).
- H2: Altura al finalizar el ensayo de agua(cm).

ENSAYO DE ABSORCION, EXPANSION Y ASCENSION CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS (AS 1141.53)

En [8] Este estudio ofrece pruebas visuales que demuestran la compatibilidad de las muestras compactadas. Además, evalúa la capacidad de absorción de agua de los materiales utilizados en pavimentos provenientes de fuentes externas de agua, y también determina la expansión como un dato adicional. Según [26] esta normativa, se recomienda un estándar absoluto de aceptación para la altura de ascenso capilar en materiales compactados., que equivale al 25% de la altura total de la probeta en un período de 24 horas. Además, se establece que la expansión libre no debe exceder el 0.5%.

Equipos y Herramientas:

- Molde cilíndrico de acero con un diámetro de 79.5 mm y una altura de 159 mm.
- Martillo utilizado en el ensayo de Proctor Modificado, con una fuerza de 10 lb-f y una altura de caída de 18 pulg.
- Balanzas de precisión de aproximadamente 1 g y 0.1 g.
- Horno.
- Regla con una longitud de 30 cm
- Vernier calibrado con una precisión de 0.5 mm.

CALCULOS:

La ascensión capilar se determina como un porcentaje de la altura total de la probeta.

En donde:

$$CR = \frac{h}{H} \times 100$$

CR: Ascenso Capilar de la probeta (%).

h: Altura del ascenso capilar(mm).

H: Altura inicial de la probeta (mm).

La absorción de agua se expresa como un porcentaje de la masa total de la probeta.

$$A = \frac{m1 - m2}{m3} \times 100$$

En donde:

A: Absorción de agua(%).

m1: Masa de la probeta después de ser inmerso en agua(gr).

m2: Masa de la probeta secado en horno de 45°C a 60°C(gr).

m3: Masa del espécimen seco(gr).

La expansión se expresa como un porcentaje del área inicial después de la absorción.

$$S = \left(\frac{D2^2}{D1^2} - 1 \right) \times 100$$

En donde:

S: Expansión después de la absorción (%)

D1: Diámetro de la base antes de ser inmerso en agua(mm).

D2: Diámetro de la base después de ser inmerso en agua(mm).

TRAMPA DE SEDIMENTOS

Según [17] La evaluación cuantitativa de la erosión del suelo causada por la escorrentía permite una evaluación objetiva de la eficacia de diversos usos y prácticas de manejo del suelo. El método de las trampas de sedimentos es una adaptación de las parcelas de escorrentía, diseñado para medir la erosión hídrica en un área específica y en condiciones concretas. El propósito de este método es recolectar los sedimentos transportados por la escorrentía. Para lograrlo, se delimitan parcelas con bordes que controlen el flujo de agua y se instalan estructuras en los puntos de salida del agua de la parcela.

- **Procedimiento:**

Se lleva a cabo un seguimiento de los sedimentos interceptados y recogidos en los tanques. Los sedimentos se pesan en el campo, lo que se conoce como peso húmedo de campo. Después, se toman muestras por tratamiento para ser transportadas al laboratorio, donde se determinan los pesos de suelo seco y húmedo por cada muestra.

- **Limitaciones:**

La construcción de estas estructuras conlleva costos asociados tanto en materiales como en su instalación. La supervisión directa de esta actividad es crucial para asegurar la obtención de resultados precisos y confiables. Se requiere acceso a un laboratorio equipado para llevar a cabo el análisis de las muestras obtenidas.

Materiales y Métodos

Tipo de Investigación

Según [27] considera una investigación **aplicada** cuando se caracteriza por tener objetivos prácticos inmediatos claramente definidos. Es decir, se lleva a cabo con el propósito de tomar acciones, generar transformaciones, realizar modificaciones o efectuar cambios en un área específica de la realidad.

Nivel de Investigación

Según [28] podemos comprender el comportamiento de un concepto o variable al examinar cómo se relaciona con otras variables, la investigación llevada a cabo es de naturaleza **correlacional** implicando la realización de varios ensayos en el laboratorio y así poder determinar si el uso del estabilizante Sistema Consolid, mejora las propiedades del suelo para evaluar su uso en obras de drenaje.

Diseño de Investigación

Según [28] el tipo de investigación que se está llevando a cabo tiene como objetivo modificar intencionalmente las variables para poder evaluar la hipótesis propuesta por el investigador. Por esta razón, se trata de un diseño **experimental**, ya que implica la manipulación de los variables utilizando el Sistema Consolid, con el propósito de determinar si hay una mejora en las propiedades mecánicas y físicas en los suelos sin revestir de las obras de drenaje en comparación con los convencionales que no tienen estas adiciones.

Criterios de Selección

Para esta tesis, se llevarán a cabo dos estudios de carreteras no pavimentadas y un material de tipo Afirmado, seleccionadas según criterios específicos, con el fin de abarcar una variedad tipos de suelo. Posteriormente, se aplicarán los estabilizadores en cada una de estas exploraciones para su análisis.

Población, Muestra.

- **Población de estudio:** Muestras de suelo que subyacen a una obra de drenaje superficial.
- **Muestra de Estudio:** Muestras representativas de los tipos de suelos de estudio. Por razones de practicidad se ha elegido dos tipos de suelos naturales que subyacen a una obra de drenaje y un material de cantera de tipo afirmado de la zona; la razón de la elección de las muestras ha sido por la observación de las deficiencias de proceso constructivo y la del afirmado con fines investigativos. En la tabla N°07 se detalla la ubicación de los puntos de extracción.

TABLA VII

COORDENADAS DE EXTRACCION DE LAS MUESTRA Fuente: *Elaboración Propia.*

| Tipo de Suelo | Ubicación | | Zona |
|---------------|-------------|--------------|------|
| | C. Este | C. Norte | |
| M-1 | 742975.00 m | 9370081.00 m | 17M |
| M-2 | 742748.00 m | 9371644.00 m | 17M |
| M-3 | 744577.00 m | 9364812.00 m | 17M |

Fuente: *Elaboración Propia*

Definición de Variables

- **Variable independiente:**
La incorporación del Sistema Consolid, que incluye cantidades del aditivo Consolid 444 en mililitros, la cantidad del aditivo Solidry en gramos.
- **Variable dependiente**
Propiedades mecánicas y físicas de los suelos estabilizados con Sistema Consolid, que está compuesta por la permeabilidad, capilaridad, absorción de humedad, erosionabilidad.
- **Variable interviniente**
Condiciones geológicas, hidrológicas y topográficas.

Operacionalización de Variables

TABLA VIII

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES

| VARIABLE INDEPENDIENTE | INDICADOR | RANGO DE APLICACIÓN | UND. DE MEDIDA O INDICE | METODOS DE MEDICION O INSTRUMENTNO |
|------------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Incorporación del Sistema Consolid | Cantidad de C444 | 0.045% peso del suelo | gr | Balanza |
| | Cantidad de Solidry | 1%, 1.5%, 2% peso del suelo | ml | Vaso de precipitado |

Fuente: Elaboración Propia

TABLA IX

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES DEPENDIENTES

| VARIABLE DEPENDIENTE | INDICADOR | UND. DE MEDIDA O INDICE | METODOS DE MEDICION O INSTRUMENTO |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| Impermeabilidad y Erosión | Coefficiente de Permeabilidad | k | Ensayo de Permeabilidad de Carga Variable y Constante |
| | Coefficiente de Permeabilidad | k | Ensayos In-situ (Lefranc) |
| | Ensayo de Ascenso Capilar | Falla | Observación |
| | Perdida de suelo | gr | Trampas de Sedimentos |
| | Absorción de Humedad | cm | Ensayo de Absorción, Expansión y Ascensión capilar de materiales compactados |

Fuente: Elaboración Propia

TABLA X

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES INTERVINIENTES

| VARIABLE INTERVINIENTE | INDICADOR | UND. DE MEDIDA O INDICE | METODOS DE MEDICION O INSTRUMENTN O |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| Condiciones geológicas | Tipo de Suelo | SUCS-ASHTTO | NTP 339.134:1999 |
| Condiciones Hidrológicas | Velocidad de Flujo | m/s | Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje |
| Condiciones Topográficas | Pendiente de Análisis | 5% | Medición |

Fuente: Elaboración Propia

Estrategia Metodológica para demostrar la Hipótesis.

El proyecto se desarrolló en 6 fases.

La primera fase, contempla la **extracción de 2 muestras representativas** de obras de drenaje de carreteras no pavimentadas que se encuentren en condiciones vulnerables, las cuales llamaremos, muestras de suelo representativas. **Por otro lado, se consideró con fines de investigación material de cantera tipo Afirmado.** Se elaboraron ensayos In-situ (permeabilidad), Análisis Granulométrico, Límites de Plasticidad, Gravedad Específica, para poder conocer sus propiedades.

La segunda fase, es la **aplicación del Sistema Consolid** en diferentes dosificaciones a las muestras de suelo natural **para conocer la dosificación óptima**, las cuales tendrán un proceso de preparado y compactado, con el fin de conocer la dosis adecuada a través de ensayos indicativos y pruebas experimentales (ver anexo n°08). Se obtendrán muestras cilíndricas para el ensayo de ascenso capilar. Por otro lado, se fabricó moldes de prueba para medir la permeabilidad del suelo compactado. Esta fase busca analizar la mejora de propiedades del suelo estabilizado y conocer su dosificación óptima.

La tercera fase, se trata de la incorporación del estabilizante sistema consolid con la dosificación óptima para realizar la comparación de los ensayos de las muestras de suelo

natural y de los suelos estabilizados. Se realizaron ensayos de permeabilidad de carga constante, permeabilidad de carga variable, proctor modificado, ascensión y absorción capilar de suelos compactados.

La cuarta fase es la construcción y experimentación del modelo físico de cuneta. Se optó por simular una obra de drenaje de tipo cuneta de sección triangular asimétrica, teniendo en cuenta las dimensiones mínimas para una región lluviosa establecidas en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. El espacio de construcción del modelo tiene unas dimensiones de 64 cm de alto y 100 cm de ancho, con una longitud de 3 metros de largo. Para su construcción necesitaremos de ladrillos y mortero que servirán como base perimetral. Se tendrá por la parte interna un recubrimiento de 2 cm, se proyectó entrada y salida de flujo de agua a través de un sistema de tuberías. En la parte inferior se colocará una tubería de 1" de desagüe para controlar la cantidad de suelos desprendido a través de una trampa de sedimentos.

Para la experimentación del modelo físico cuneta se tuvo consideraciones de control de velocidad de flujo en un determinado tiempo. El flujo de agua ocasionará desprendimiento de las partículas superficiales más expuestas a la erosión. Las cuáles serán medidas en el tipo de suelo natural y las estabilizadas con el Sistema Consolid. Se realizarán un total de seis registros, tres del suelo natural de las muestras representativas y tres de las dosificaciones óptimas de cada tipo de suelo.

La quinta fase, Análisis de Resultados. Se realizará una exhaustiva recopilación y evaluación de los datos obtenidos de todos los ensayos realizados tanto en campo como en laboratorio. Este análisis nos proporcionará información crucial sobre el coeficiente de permeabilidad del suelo y el grado de erosión de los suelos tanto naturales como aquellos tratados con estabilizantes. Asimismo, se examinará detenidamente si la aplicación del Sistema Consolid mejora las propiedades del suelo.

De la misma forma, se llevará a cabo un **análisis económico** del uso del estabilizante. Para complementar estos análisis, se **propondrá un procedimiento constructivo** práctico basado en los hallazgos obtenidos.

Como **sexta fase y última: Discusión, Conclusiones y Recomendaciones.**

Procedimiento para demostrar la hipótesis.

Este capítulo aborda la parte de la experimentación del estudio, el cual tiene una gran relevancia crucial para alcanzar los objetivos planteados. Se llevaron a cabo pruebas para la evaluación de las propiedades del comportamiento del suelo con la adición del sistema consolid en laboratorio, siguiendo los lineamientos establecidos por el MTC. Estas pruebas se ejecutaron conforme a las normativas vigentes AASHTO, ASTM, y Australian Standard, así como al Manual de Ensayo de Materiales. Además, para las adiciones con el estabilizante se consultó el Manual del Sistema Consolid.

Identificación de Puntos de Estudios para Muestras Representativas

Suelo Tipo SP-SM

Mediante la observación directa se evidenció el tramo de la carretera no pavimentada en malas condiciones por las fuerzas erosivas de las precipitaciones. Después, se procedió a extraer la muestra de la superficie a tratar. Esta muestra se obtendrá a una profundidad de 0.50 – 0.70 metros.



Fig. 3. Tramo en mal estado. Fuente: Propia.

Se observa que el estado de la vía está afectado, y uno de los factores en consideración es la presencia de erosión, ya que no se observan obras de drenaje que ayuden a reducir el deterioro causado por la escorrentía superficial que fluye por ella.

La muestra de suelo será utilizada para los ensayos de laboratorio y pruebas experimentales con los estabilizadores del sistema Consolid, fue obtenida en la intersección de la calle Río Amojú y calle Río Amazonas, Dist. de Jaén, Prov. De Jaén, Dep. de Cajamarca.

TABLA XI
COORDENADAS GEOGRAFICAS DE LA MUESTRA N°01

| | |
|------------------|--------------|
| Zona | 17 M |
| Coordenada Este | 742975.00 m |
| Coordenada Norte | 9370081.00 m |

Fuente: Elaboración Propia



Fig. 4. Punto de Extracción de la Muestra. Fuente: Propia.

Suelo Tipo SC

Mediante la observación directa se evidenció el tramo de la carretera no pavimentada en malas condiciones por las fuerzas erosivas de las precipitaciones. Después, se procedió a extraer la muestra de la superficie a tratar. Esta muestra se obtendrá a una profundidad de 50 centímetros. Se observa que el estado de la vía está afectado, y uno de los factores en consideración es la presencia de erosión, ya que no se observan obras de drenaje que ayuden a reducir el deterioro causado por la escorrentía superficial que fluye por ella.

La muestra de suelo será utilizada para los ensayos de laboratorio y pruebas experimentales con los estabilizadores del sistema Consolid fue obtenida en el tramo de la Carretera Jaén – Las Pirias, Sector el Arenal. ubicada en el km 2+400, lado izquierdo que tiene una longitud de 16 kilómetros.



Fig. 5. Tramo con cunetas improvisadas. Fuente: Propia.



Fig. 6. Punto de extracción de la muestra. Fuente: Propia

TABLA XII

COORDENADAS GEOGRAFICAS DE LA MUESTRA N°02

| | |
|------------------|--------------|
| Zona | 17 M |
| Coordenada Este | 742748.00 m |
| Coordenada Norte | 9371644.00 m |

Fuente: Elaboración Propia



Fig. 7. Extracción de Muestra N°02. Fuente: Propia.

Suelo Tipo GP-GM

Con fines de investigación y disposición de material de la zona se optó por considerar como material de estudio, agregado de tipo Afirmado.

En [28] El concepto de afirmado implica una capa de material granular, ya sea natural o tratado, con una distribución específica de tamaños que puede resistir directamente las fuerzas y presiones generadas por el tráfico. Debe contener la proporción adecuada de material fino con cohesión suficiente para mantener unida la estructura. Esta capa sirve como la superficie de rodadura en vías no pavimentadas, como caminos y carreteras.

Para el estudio se utilizó Material de Cantera “Josecito”, ubicada a 4 kilómetros antes del Centro de Poblado de Chamaya, Prov. De Jaén, Dep. de Cajamarca.

TABLA XIII

COORDENADAS DE EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA N°03

| | |
|------------------|--------------|
| Zona | 17 M |
| Coordenada Este | 744577.00 m |
| Coordenada Norte | 9364812.00 m |

Fuente: Elaboración Propia



Fig. 8. Punto de extracción de la Muestra N°03. Fuente: Google Earth.



Fig. 9. Material de Cantera "Josecito". Fuente: Propia

Ensayos de Caracterización de Suelos

Contenido de Humedad

- Realizada la calicata a la profundidad de 0.50 a 0.70 m, esta será recogida y transportada en bolsas herméticas al laboratorio de suelos de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
- De dichas muestras se obtendrá una muestra representativa, la cuales sirvió para determinar la cantidad de humedad del suelo estudiado.
- Dicha muestra representativa estará en horno del laboratorio a $120^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por un periodo de tiempo de ± 24 horas. Tener en consideración el peso de la tara.
- Una vez retirada del horno, se registrará el peso, este sería el resultado de la muestra totalmente seca.
- Después de lo mencionado, se llevará a cabo el cálculo matemático según lo establecido por la normativa para determinar el porcentaje de contenido de humedad de la muestra.

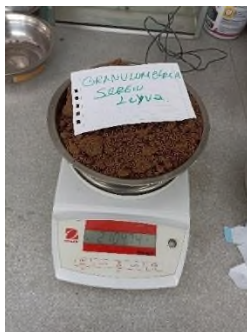


Fig. 10. Peso de Tara + Muestra Húmeda Suelo Tipo SP-SM. Fuente: Propia.



Fig. 11. Peso de Tara + Muestra Húmeda Suelo Tipo SC. Fuente: Propia.



Fig. 12. Peso de Tara + Muestra Húmeda Suelo Tipo GP-GM. Fuente: Propia.

Ensayo Granulométrico por Tamizado

Se llevó a cabo un proceso de cuarteo de las muestras obtenidas en las calicatas, eligiendo diagonalmente la muestra más representativa. Una vez seleccionada, se procedió a lavarla a través de la malla N°200 y luego se colocó en un horno durante 24 horas. Posteriormente, se pesó la muestra una vez retirada del horno. Se prepararon los tamices según lo establecido en la normativa, se inició el proceso de tamizado de la muestra. Este procedimiento se repitió para los tres tipos de suelos.



Fig. 13. Cuarteo de la Muestra Representativo. Fuente: Propia.



Fig. 14. Tamices para utilizar para en Granulometría. Fuente: Propia.



Fig. 15. Muestras retenidas por los Tamices. Fuente: Propia.

Ensayo de Límites de Atterberg

- Inicialmente, las muestras se presentan completamente secas.
- Luego, se realizó una trituración superficial de las muestras sin aplicar demasiada fuerza.
- Se tamizó a través de la malla N°40, utilizando una balanza para pesar un total de 200 g.
- Se colocó la muestra de 200 g en un recipiente y se saturó con agua.

- Se mezcló de manera homogénea la muestra con el agua, y luego se dejó reposar durante 24 horas.
- Se utilizó la copa de Casagrande para determinar el número de golpes necesarios que la muestra debería soportar para determinar su límite de plasticidad, que se identificaría cuando se le practicara una abertura utilizando el "ranurador".
- Se pesó la muestra antes de colocarla en el horno (donde permanecería durante 24 horas), y se registró el valor de su masa al salir del horno.
- Una vez que la muestra estuvo saturada, se prepararon unos palitos con ella para determinar el índice plástico, para lo cual se necesitarían los pesos de la muestra en estado húmedo y seco.
- Finalmente, se realizaron los cálculos correspondientes a este ensayo.



Fig. 16. Saturación de la Muestra. Fuente: Propia



Fig. 17. Índice de Plasticidad. Fuente: Propia.



Fig. 18. Proceso de Mezclado con Consolid. Fuente: Propia.



Fig. 19. Secado en el Horno límites con consolid. Fuente: Propia.

Gravedad Especifica

- La muestra debe estar seca y se someterá a un proceso de trituración superficial.
- Luego, se tamizará a través de la malla N°10.
- A continuación, se determinará el valor de la masa de la fiola que se utilizará y se medirá el peso de la fiola junto con el agua.
- Se pesará la muestra que haya pasado a través de la malla N°10, seleccionando aproximadamente 50 gramos, los cuales se introducirán en la fiola mediante un embudo.
- Se calentará agua en una estufa para colocar la fiola con la muestra y así permitir la liberación de los vacíos.
- La muestra se dejará reposar durante 24 horas y luego se procederá a pesarla para obtener el valor de su masa.

- Ahora se realizarán los cálculos matemáticos para determinar la gravedad específica de las muestras.



Fig. 20. G. Especifica – Suelo Tipo SP-SM. Fuente: Propia.



Fig. 21. G. Especifica – Suelo Tipo SC. . Fuente: Propia.



Fig. 22. G. Especifica – Suelo Tipo GP-GM. . Fuente: Propia

Ensayo de Proctor Modificado

Este ensayo determina la Curva de Compactación que es la relación del óptimo contenido de humedad entre la máxima densidad seca del suelo.

Muestra: Recolectamos una muestra de 20 kg de suelo seco para este ensayo.

Procedimiento: Este procedimiento se repitió para los tres tipos de suelo.

- Se homogeneizó el suelo y se separó en fracciones de 3 kg en bolsas herméticas para evitar la pérdida de humedad.
- Se tomó una muestra de 3 kg y se colocó sobre una bandeja, agregándole agua y mezclando completamente. Una vez húmedo y homogeneizado, se añadió una porción al molde de 4 pulgadas.
- Se compactó la muestra con 25 golpes a una altura de 18 pulgadas, utilizando un pisón de 44.5N. Este proceso se repitió en 5 capas.
- Después de completar la quinta capa, se retiró el collar del molde. Se utilizó una regla para nivelar y formar una superficie plana en la parte superior del molde. Posteriormente, se pesó el molde junto con el suelo compactado y se registraron los datos obtenidos.
- Además, se recogió muestra de la parte superior del suelo compactado para determinar el contenido de humedad.

Ensayo Ascenso Capilar

Este ensayo es necesario para conocer la cantidad de dosificación óptima necesaria para cada tipo de suelo. El procedimiento de este ensayo está explicado según el Manual del Sistema Consolid (Ver Anexo n°08)

Los siguientes porcentajes de C444 y Solidry fueron planteadas con las dosificaciones estándar determinadas por el fabricante en el Manual del Sistema Consolid.

TABLA XIV

CANTIDADES DE C444 A UTILIZAR PARA ENSAYO DE ASCENSO CAPILAR

| | Producto | Espesor | Dosificación (%) | Cantidad (l/m ²) | Área de probeta (m ²) | Litros | ml |
|------------------|----------|---------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------|------|
| Suelo Tipo SP-SM | C444 | 10 cm | 0.045 | 0.09 | 0.002 | 0.00018 | 0.18 |
| | C444 | 10 cm | 0.045 | 0.09 | 0.002 | 0.00018 | 0.18 |

| | | | | | | | |
|------------------|------|-------|-------|------|-------|---------|------|
| | C444 | 10 cm | 0.045 | 0.09 | 0.002 | 0.00018 | 0.18 |
| Suelo Tipo SC | C444 | 10 cm | 0.045 | 0.09 | 0.002 | 0.00018 | 0.18 |
| | C444 | 10 cm | 0.045 | 0.09 | 0.002 | 0.00018 | 0.18 |
| | C444 | 10 cm | 0.045 | 0.09 | 0.002 | 0.00018 | 0.18 |
| Suelo Tipo GP-GM | C444 | 10 cm | 0.045 | 0.09 | 0.002 | 0.00018 | 0.18 |
| | C444 | 10 cm | 0.045 | 0.09 | 0.002 | 0.00018 | 0.18 |
| | C444 | 10 cm | 0.045 | 0.09 | 0.002 | 0.00018 | 0.18 |
| TOTAL | | | | | | 0.00162 | 1.62 |

Fuente: Elaboración Propia

TABLA XV

CANTIDADES DE SOLIDRY A UTILIZAR PARA ENSAYO DE ASCENSO CAPILAR

| | Producto | Espesor | Dosificación (%) | Cantidad (kg/m ²) | Área de probeta (m ²) | Kilogramos | Gramos |
|------------------|----------|---------|------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------|--------|
| Suelo Tipo SP-SM | Solidry | 10 cm | 2 | 4 | 0.002 | 0.008 | 8.000 |
| | Solidry | 10 cm | 1.5 | 3 | 0.002 | 0.006 | 6.000 |
| | Solidry | 10 cm | 1 | 2 | 0.002 | 0.004 | 4.000 |
| Suelo Tipo SC | Solidry | 10 cm | 2 | 4 | 0.002 | 0.008 | 8.000 |
| | Solidry | 10 cm | 1.5 | 3 | 0.002 | 0.006 | 6.000 |
| | Solidry | 10 cm | 1 | 2 | 0.002 | 0.004 | 4.000 |
| Suelo Tipo GP-GM | Solidry | 10 cm | 2 | 4 | 0.002 | 0.008 | 8.000 |
| | Solidry | 10 cm | 1.5 | 3 | 0.002 | 0.006 | 6.000 |
| | Solidry | 10 cm | 1 | 2 | 0.002 | 0.004 | 4.000 |
| TOTAL | | | | | | 0.054 | 54 |

Fuente: Elaboración Propia

La muestra de suelo extraído debe ser desmenuzado con cuidado y luego secado por completo. Posteriormente, se tamiza para garantizar que no queden partículas de tamaño superior a 5 mm en la muestra a ensayar. Después de tamizar y secar, se toman porciones de 500 gramos cada una del suelo, que se utilizarán para preparar las muestras de ensayo. Cada porción de suelo se mezcla con las cantidades específicas de los productos

determinadas. Esto se realiza utilizando una jeringa de 10 ml y una balanza para medir con precisión las cantidades. Los productos añadidos a cada porción de suelo se mezclan completamente con una espátula. Una vez que los componentes estén adecuadamente mezclados, se procede a añadir agua gradualmente, luego se llena el molde con la porción de medida y se compacta en 5 capas, cada capa recibe 25 golpes.



Fig. 23. Mezcla de Estabilizadores. Fuente: Propia



Fig. 24. Adición de Solidry Fuente: Propia.

Una vez desmontadas, se las debe dejar secar a temperatura ambiente, hasta que visualmente se determine que están completamente secas, lo cual puede determinarse por el cambio de color del suelo.



Fig. 25. Proceso de Secado. Fuente: Propia.

Una vez que las probetas estén bien secas, se adiciona una cantidad de agua que oscila entre 1 y 2 centímetros en el recipiente. de humedecimiento y se colocan las probetas sobre este recipiente.



Fig. 26. Muestras con diferentes dosificaciones. Fuente: Propia



Fig. 27. Muestras después de 240 horas. Fuente: Propia

Prueba Experimental de Permeabilidad.

Con fin de corroborar cuál es porcentaje óptimo de aditivo a utilizar, realizaremos una prueba experimental de la cantidad de filtración de agua sobre una superficie de suelo. Para esto se construyó un molde rectangular de madera con dimensiones de 15 cm de ancho, 10 cm de profundidad y 50 cm de largo. En la parte posterior se consideró una

abertura de 6 cm por donde discurrirán los sedimentos desprendidos. La preparación de las muestras y las dosificaciones estándar por utilizar son las indicadas en el Manual del Sistema Consolid, son de 0.045% de C444 y de 1%, 1.5% y 2% de Solidry. Esto con la finalidad de conocer el comportamiento de cada tipo de suelo y su interacción con un flujo de agua con las diferentes dosificaciones.

Los materiales por utilizar:

- 1 Zaranda de 5 x 5 mm.
- Balanza con precisión de 0.01g.
- 1 Recipiente de Humedecimiento
- 1 Probeta graduada de 100 cm³
- 1 Jeringa de 10 ml
- 1 Espátula
- 1 Compactadora Manual



Fig. 28. Molde de Experimentación. Fuente: Propia

Determinación de la cantidad de materiales a utilizar.

Los siguientes porcentajes de C444 y Solidry fueron planteadas con las dosificaciones estándar determinadas por el fabricante en el Manual del Sistema Consolid.

TABLA XVI

DOSIFICACIONES DE C444 PARA EXPERIMENTACIÓN EN MOLDE DE PRUEBA

| | Producto | Espesor | Dosificación (%) | Cantidad (l/m ²) | Área de estudio (m ²) | Litros | ml |
|-------------------|----------|---------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------|------|
| Suelo Tipo SP-SM. | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 0.062 | 0.00434 | 4.34 |
| | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 0.062 | 0.00434 | 4.34 |

| | | | | | | | |
|------------------|------|--------|-------|------|-------|---------|-------|
| | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 0.062 | 0.00434 | 4.34 |
| Suelo Tipo SC | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 0.062 | 0.00434 | 4.34 |
| | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 0.062 | 0.00434 | 4.34 |
| | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 0.062 | 0.00434 | 4.34 |
| Suelo Tipo GP-GM | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 0.062 | 0.00434 | 4.34 |
| | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 0.062 | 0.00434 | 4.34 |
| | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 0.062 | 0.00434 | 4.34 |
| TOTAL | | | | | | 0.03906 | 39.06 |

Fuente: Elaboración Propia

TABLA XVII

DOSIFICACIONES DE SOLIDRY PARA EXPERIMENTACIÓN EN MOLDE DE PRUEBA

| | Producto | Espesor | Dosificación (%) | Cantidad (kg/m ²) | Área de estudio (m ²) | Kilogramos | Gramos |
|------------------|----------|---------|------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------|--------|
| Suelo Tipo SP-SM | Solidry | 7.5 cm | 2 | 3 | 0.062 | 0.186 | 186 |
| | Solidry | 7.5 cm | 1.5 | 2.25 | 0.062 | 0.1395 | 139.5 |
| | Solidry | 7.5 cm | 1 | 1.5 | 0.062 | 0.093 | 93 |
| Suelo Tipo SC | Solidry | 7.5 cm | 2 | 3 | 0.062 | 0.186 | 186 |
| | Solidry | 7.5 cm | 1.5 | 2.25 | 0.062 | 0.1395 | 139.5 |
| | Solidry | 7.5 cm | 1 | 1.5 | 0.062 | 0.093 | 93 |
| Suelo Tipo GP-GM | Solidry | 7.5 cm | 2 | 3 | 0.062 | 0.186 | 186 |
| | Solidry | 7.5 cm | 1.5 | 2.25 | 0.062 | 0.1395 | 139.5 |
| | Solidry | 7.5 cm | 1 | 1.5 | 0.062 | 0.093 | 93 |
| TOTAL | | | | | | 1.2555 | 1255.5 |

Fuente: Elaboración Propia



Fig. 29. Colocación de C444 en 1:4. Fuente: Propia



Fig. 30. Suelo después del compactado. Fuente: Propia



Fig. 31. Proceso de Discurrimiento de 1000 ml de Agua. Fuente: Propia

Ensayos de Permeabilidad

Ensayo de Permeabilidad de Campo – Lefranc.

Primero se limpia la capa superficial y luego se realiza una calicata de 60 cm de largo y ancho, y 50 centímetros de profundidad. Se satura la calicata de agua hasta el nivel del suelo y se mide la humedad del suelo durante 10 minutos hasta que se drena el agua. Se vuelve a saturar la perforación y se repite el proceso hasta que las diferencias entre dos mediciones consecutivas sean mínimas



Fig. 32. Ensayo de Permeabilidad en Campo – Suelo Tipo SC. Fuente: Propia



Fig. 33. Saturación de la Calicata – Suelo Tipo SC. Fuente: Propia



Fig. 34. Saturación del sondeo – Suelo Tipo SP. Fuente: Propia



Fig. 35. Medición de pérdida de carga hidráulica. Fuente: Propia

Ensayo de Permeabilidad de Carga Constante.

TABLA XVIII

DOSIFICACIONES ÓPTIMAS PARA ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE

| Dosificación óptima del Estabilizador | | |
|---------------------------------------|-------|------------------|
| C444: | 0.045 | l/m ³ |
| Solidry: | 2 | % peso |

Fuente: Elaboración Propia

La preparación de la muestra varía dependiendo de si está en su estado original o si ha sido compactada. Aquí está el resumen de los pasos necesarios:

- Obtener datos de densidad seca y contenido de humedad mediante un ensayo de compactación (Proctor) en el laboratorio.
- Utilizar una muestra que haya sido secada al horno y cuyo tamaño de partícula sea inferior a 3/8 de pulgada (tamizar la muestra a través de la malla N.º 3/8").
- Calcular el peso de la muestra en gramos, utilizando la Máxima Densidad Seca (M.D.S.) obtenida del Ensayo de Compactación y el volumen del molde (con un diámetro de 7.5 cm y una altura de 10.0 cm).
- Calcular la cantidad de agua necesaria en gramos, utilizando el Óptimo Contenido de Humedad (O.C.H.) determinado en el Ensayo de Compactación.
- Mezclar la muestra con el agua de manera uniforme hasta formar una masa homogénea.
- Remodelar el espécimen en cinco capas, compactando cada una hasta alcanzar la altura determinada (h/5).
- Después de medir las dimensiones del material, la muestra estará lista para ser colocada en el permeámetro.



Fig. 36. Instalación del Permeámetro. Fuente: Propia



Fig. 37. Toma de Datos – Suelo Tipo GP-GM Natural. Fuente: Propia



Fig. 38. Mezclado de Suelo con Consolid. Fuente: Propia



Fig. 39. Toma de Datos GP-GM- con Consolid. Fuente: Propia

Ensayo de Permeabilidad de Carga Variable

TABLA XIX

DOSIFICACIONES ÓPTIMAS PARA ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE

| Dosificación óptima del Estabilizador | | |
|---------------------------------------|-------|------------------|
| C444: | 0.045 | l/m ³ |
| Solidry: | 2 | % peso |

Fuente: Elaboración Propia

La preparación inicial de la muestra se lleva a cabo fuera del permeámetro, siguiendo estos pasos:

- Se colocan cinco capas de muestra y se compacta cada una con 25 golpes, utilizando el contenido de humedad óptimo.
- Luego, se conecta el tubo de agua a la bureta, se llena con agua y se toma una medida inicial del nivel de agua.
- Se abre la válvula para permitir que el agua comience a escurrir a través del permeámetro.
- Una vez que se ha permitido que el agua fluya durante un tiempo determinado, se cierra la válvula y se detiene el cronómetro. Se registra la medida final del nivel de agua.
- Este proceso se repite tres veces más, manteniendo constante la temperatura del agua en cada medición.



Fig. 40. Instalación del Equipo. Fuente: Propia



Fig. 41. Colocación de Piedra Porosa. Fuente: Propia



Fig. 42. Toma de Datos – Suelo Tipo SC Natural. Fuente: Propia



Fig. 43. Mezclado de Estabilizadores con Suelo Natural. Fuente: Propia



Fig. 44. Toma de Datos – Suelo Tipo SC con Consolid. Fuente: Propia

Ensayos de Compactación

Ensayo de Proctor Modificado con Estabilizadores

Según el Manual del Sistema Consolid se realiza con las siguientes ecuaciones.

CONSOLID C444

$$NLF = \frac{[(\text{Peso Suelo}) \times (\text{Corrección por grava}) \times (\text{Dosificación NLF}) \times (200)] \times 1000}{\text{Maxima Densidad Seca (Proctor sin Estabilizar)}}$$

SOLIDRY

$$NPF = [(\text{Peso Suelo}) \times (\text{Corrección por grava}) \times (\text{Dosificación NPF})] \times 1000$$

Después de determinar la cantidad de aditivo necesaria, el proceso continúa mezclando primero el suelo natural con el aditivo C444 y la cantidad de agua requerida, como se especifica en el Manual del Sistema Consolid. Una vez que esta mezcla alcanza una uniformidad adecuada, se agrega el aditivo Solidry hasta que la mezcla vuelva a ser homogénea. Luego, se procede a compactar la muestra siguiendo las pautas de Proctor Modificado.

Este proceso se repite empleando distintos porcentajes de agua con el fin de trazar la curva de Densidad Seca vs. Humedad. De esta manera, se pueden establecer los valores de máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad.

TABLA XX

DOSIFICACIONES ÓPTIMAS PARA ENSAYOS DE PROCTOR

| Dosificación óptima del Estabilizador | | |
|---------------------------------------|-------|------------------|
| C444: | 0.045 | l/m ³ |
| Solidry: | 2 | % peso |

Fuente: Elaboración Propia

Pesos para el ensayo de Proctor con Estabilizadores:

- Suelo Tipo SP-SM

TABLA XXI

CORRECCIÓN DE MEDIDAS PARA PROCTOR CON ESTABILIZANTE SUELO TIPO SP-SM. Fuente: Elaboración Propia.

| Suelo Tipo SP-SM | |
|------------------------------|-------------------------|
| Peso Suelo: | 3000 gr |
| Corrección por Grava: | 0.739 |
| M.D.S: | 1.977 g/cm ³ |
| O.C.H: | 6.1 % |

| Medida de Estabilizadores | |
|---------------------------|----------|
| C444: | 10.2 ml |
| Solidry: | 44.34 gr |
| C444 (1:4): | 40.4 ml |

| Proctor con Estabilizadores | | | | |
|-----------------------------|----|-----|-----|-----|
| Humedad Inicial | 3% | 6% | 9% | 11% |
| Cant. Agua Inicial: | 90 | 180 | 270 | 330 |
| C444: | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Solidry: | 44 | 44 | 44 | 44 |
| Cant. Agua Reemp. | 50 | 140 | 230 | 290 |

Fuente: Elaboración Propia

- **Suelo Tipo SC**

TABLA XXII

CORRECCIÓN DE MEDIDAS PARA PROCTOR CON ESTABILIZANTE. Fuente: Elaboración Propia.

| Suelo Tipo SC | | | | |
|------------------------------|-------|-------------------|-----|-----|
| Peso Suelo: | 3000 | gr | | |
| Corrección por Grava: | 0.986 | | | |
| M.D.S: | 2.03 | g/cm ³ | | |
| O.C.H: | 9 | % | | |
| Medida de Estabilizadores | | | | |
| C444: | 13.1 | ml | | |
| Solidry: | 59.16 | gr | | |
| C444 (1:4): | 52 | ml | | |
| Proctor con Estabilizadores | | | | |
| Humedad Inicial | 6% | 9% | 12% | 14% |
| Cant. Agua Inicial: | 180 | 270 | 360 | 420 |
| C444: | 52 | 52 | 52 | 52 |
| Solidry: | 59 | 59 | 59 | 59 |
| Cant. Agua Reemp. | 128 | 218 | 308 | 368 |

Fuente: Elaboración Propia

- **Suelo Tipo GP-GM**

TABLA XXIII

CORRECCIÓN DE MEDIDAS PARA PROCTOR CON ESTABILIZANTE. Fuente: Elaboración Propia.

| Suelo Tipo GP-GM | | | | |
|------------------------------|-------|-------------------|--|--|
| Peso Suelo: | 3000 | gr | | |
| Corrección por Grava: | 0.563 | | | |
| M.D.S: | 2.12 | g/cm ³ | | |
| O.C.H: | 10.1 | % | | |
| Medida de Estabilizadores | | | | |
| C444: | 7.2 | ml | | |
| Solidry: | 33.78 | gr | | |

C444 (1:4): 29 ml

| Proctor con Estabilizadores | | | | |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Humedad Inicial | 6% | 9% | 11% | 14% |
| Cant. Agua Inicial: | 180 | 270 | 330 | 420 |
| C444: | 29 | 29 | 29 | 29 |
| Solidry: | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Cant. Agua Reemp. | 151 | 241 | 301 | 391 |

Fuente: Elaboración Propia

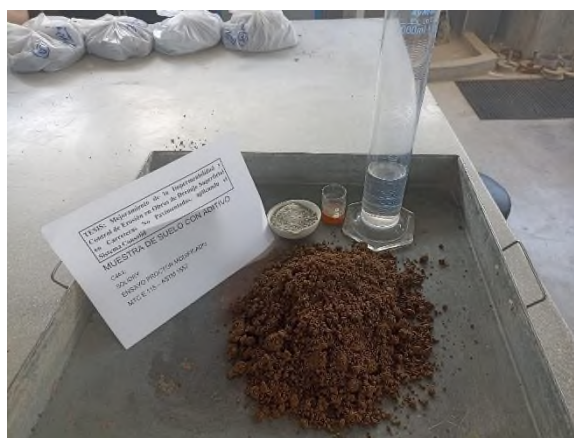


Fig. 45. Ensayo de Proctor con Adiciones – Suelo Tipo SP-SM. Fuente: Propia



Fig. 46. Ensayo de Proctor con Adiciones – Suelo Tipo SC. Fuente: Propia



Fig. 47. Ensayo de Proctor con Adiciones – Suelo Tipo GP-GM. Fuente: Propia

Ensayo de Absorción, Expansión, y Ascensión Capilar de Materiales Compactados

TABLA XXIV

DOSIFICACIONES ÓPTIMAS PARA ENSAYOS DE PROCTOR

Dosificación óptima del Estabilizador

| | | |
|-----------------|-------|------------------|
| C444: | 0.045 | l/m ³ |
| Solidry: | 2 | % peso |

Fuente: Elaboración Propia

Procedimiento de Ensayo:

- La preparación de la muestra se realiza de la manera explicada en el Manual del Sistema Consolid
- Dejar secar el espécimen en un horno a una temperatura de entre 45 °C a 60 °C hasta que alcance un peso constante. Registrar el peso del espécimen después del secado (m₂).
- Utilizar un calibrador vernier para medir el diámetro del espécimen en su base (D₁).
- Sumergir el espécimen en un recipiente con 10 ± 2 mm de agua durante 72 horas, manteniendo esta altura constante durante todo el período.
- Utilizando una regla, determinar la altura de la ascensión capilar (h) a intervalos de tiempo específicos: 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 3, 16, 24, 48 y 72 horas.
- Retirar el espécimen del agua, secar su superficie y registrar la masa del espécimen húmedo (m₁).

- Medir nuevamente el diámetro del espécimen en su base (D2) con el calibrador vernier.
- Medir la altura del espécimen húmedo utilizando una regla metálica.

TABLA XXV

CANTIDAD DE MEDIDAS PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN. SUELO SP-SM, SC Y GP-GM

Ensayo de Absorción de Materiales Compactados - Suelo Tipo SP-SM

| | | |
|----------------------------|-------|-------------------|
| M.D.S: | 1.977 | g/cm ³ |
| Humedad Inicial | 6.1% | |
| Cant. Agua Inicial: | 274.5 | ml |
| C444: | 61 | ml |
| Solidry: | 67 | gr |
| Cant. Agua Reemp. | 213 | ml |

Ensayo de Absorción de Materiales Compactados - Suelo Tipo SC

| | | |
|----------------------------|-------|-------------------|
| M.D.S: | 2.003 | g/cm ³ |
| Humedad Inicial | 11% | |
| Cant. Agua Inicial: | 495 | ml |
| C444: | 79 | ml |
| Solidry: | 88.74 | gr |
| Cant. Agua Reemp. | 416 | ml |

Ensayo de Absorción de Materiales Compactados - Suelo Tipo GP-GM

| | | |
|----------------------------|-------|-------------------|
| M.D.S: | 2.12 | g/cm ³ |
| Humedad Inicial | 9.98% | |
| Cant. Agua Inicial: | 449.1 | ml |
| C444: | 43 | ml |
| Solidry: | 51 | gr |
| Cant. Agua Reemp. | 406 | ml |

Fuente: Elaboración Propia



Fig. 48. Proceso de Mezclado con Solidry. Fuente: Propia



Fig. 49. Proceso de colación de C444 en 1:4. Fuente: Propia



Fig. 50. Espécimen después del Compactado. Fuente: Propia



Fig. 51. Colocación en una capa de agua de 2cm. Fuente: Propia



Fig. 52. Medida después de 72 horas- Suelo Tipo GP-GM Consolid. Fuente: Propia

Diseño y Construcción del Modelo físico

Modelo físico de cunetas.

La construcción de modelos físicos ayuda a predecir comportamientos de ciertos fenómenos. De acuerdo [29] con los antecedentes teóricos investigados es complicado cuantificar la erosión de manera precisa producto de las precipitaciones; por tal causa es conveniente llevar a cabo el diseño y construcción de un modelo físico a escala real, de tipo experimental e investigativo.

Proceso Constructivo del modelo físico de cuneta sin revestimiento.

Se optó por construir como modelo físico de una obra de drenaje, una cuneta de sección triangular atípica de 0.75 cm de ancho y 0.30 cm de profundidad, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje para regiones lluviosas. Considerando un revestimiento de 7.5 centímetros aplicando un estabilizador

denominado “Sistema Consolid”. Se tuvo en cuenta todos los factores que podrían alterar los resultados de la modelación. Para el control de caudal y velocidad del agua se proyectó una válvula de control que permita una velocidad máxima de 0.20 m/s y se consideró una pendiente del 5% con fines de estudio. El sistema de Tubería consta de una salida de agua regulada con una llave de control y un sistema de riego que simula proceso de bombeo y esorrentía para buscar representar los escenarios y funcionalidad de las cunetas, para obtener mejores resultados.

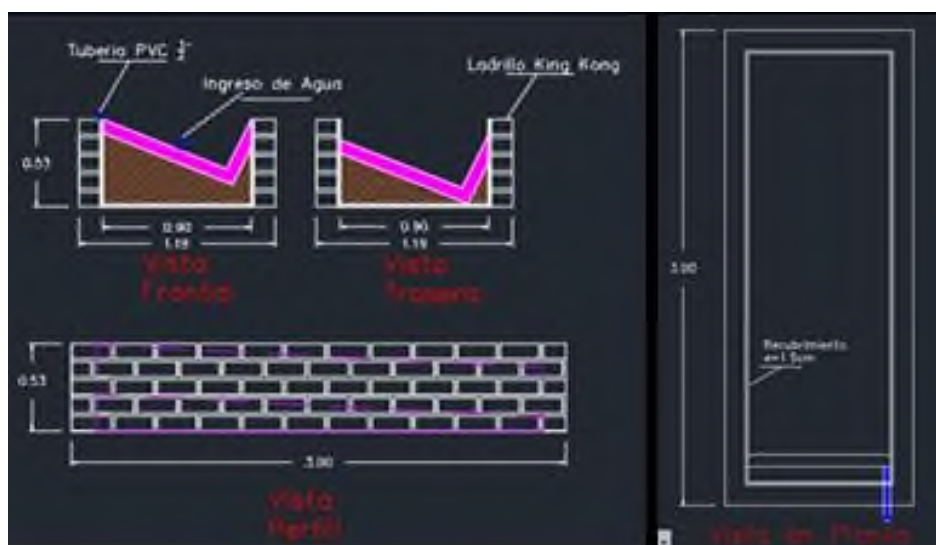


Fig. 53. Plano de Diseño de Cuneta modelo a escala. Fuente: Propia

En la construcción del modelo físico se utilizaron los siguientes materiales:

- Cemento Portland tipo V.
- Ladrillos King Kong 18H.
- Arena gruesa.
- Arena Fina.
- Tubería PVC de 1”.
- Codo de 90° PVC de 1”.
- Llave de paso.
- Madera para encofrado.



Fig. 54. Proceso de Construcción de Cuneta. Fuente: Propia



Fig. 55. Sistema de Desagüe. Fuente: Propia



Fig. 56. Sistema de Tuberías. Fuente: Propia

Estimación del Caudal – Método Racional

[7] Se decidió utilizar el valor de 1 hectárea, tomado del Manual de Drenaje de Carreteras, para representar el área máxima permisible en una cuneta de vías terciarias. Este valor se aplicará al área aferente de la cuneta que se va a modelar.

$$Q = C * Ic * A / 3.6$$

Donde:

Q= Caudal de Diseño

C= Coeficiente de Escorrentía

Ic= Intensidad de Precipitación (mm/h)

A= Área de la cuenca (km²)

El valor de coeficiente de escorrentía se obtiene de lo establecido por el Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. En la cual se relacionan los valores de escorrentía para estas características.

Dado que el estudio se enfoca en carretera no pavimentadas, y la investigación pretende representar una amplia variedad de estructuras en la nación, se consideró un material permeable con una topografía ondulada. Esta selección se basa en valores de pendiente que oscilan entre el 5% y el 10%, lo cual se alinea con el objetivo del estudio. Por lo tanto, el valor del coeficiente de escorrentía se determina de acuerdo con la tabla N°25.

TABLA XXVI

VALORES PARA DETERMINAR "C" (COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO.

| Condición | Valores | | | |
|----------------------------|--|--|---|--|
| | K ₁ = 40 | K ₁ = 30 | K ₁ = 20 | K ₁ = 10 |
| 1. Relieve del terreno | Muy accidentado pendiente superior al 30% | Accidentado pendiente entre 10% y 30% | Ondulado pendiente entre 5% y 10% | Llano pendiente inferior al 5% |
| 2. Permeabilidad del suelo | Muy impermeable rica arena | Bastante impermeable arcilla | Permeable | Muy permeable |
| 3. Vegetación | Sin vegetación | Poca Menos del 10% de la superficie | Bastante Hasta el 50% de la superficie | Mucha Hasta el 90% de la superficie |
| 4. Capacidad de retención | Ninguna | Poca | Bastante | Mucha |

Fuente: Elaboración Propia

$$K = K1+K2+K3+K4$$

$$K=65$$

TABLA XXVII

VALOR DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

| $K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4$ | C |
|-----------------------------|------|
| 100 | 0.80 |
| 75 | 0.65 |
| 50 | 0.50 |
| 30 | 0.35 |
| 25 | 0.20 |

Fuente: Elaboración Propia

TABLA XXVIII

TABLA DE INTERPOLACIÓN

| Interpolación | |
|---------------|------|
| 75 | 0.65 |
| 65 | x |
| 50 | 0.5 |

Fuente: Elaboración Propia

Según cálculo de interpolación el valor de Coeficiente de Escorrentía Ponderado es de:

$$C = 0.59$$

Por último, para obtener el dato de la intensidad de precipitación máxima diaria, el cual se derivó de las curvas de IDF (Intensidad, Duración, Frecuencia) suministradas por el Senahmi en su “Módulo para la estimación de curvas IDF para cualquier ubicación en el ámbito Peruano” Esta herramienta está diseñada como un sistema de apoyo a la toma de decisiones y permite la creación de visualizaciones numéricas y gráficas de las curvas IDF para cualquier ubicación espacial en Perú. La interfaz proporciona intensidades de precipitación para una variedad de periodos de retorno (1 a 24 horas) y duraciones de 1 hasta 1000 años, también permite a los usuarios adquirir información de curvas IDF basadas en datos históricos y condiciones climáticas futuras, lo que permite aportar indicadores efectivos y eficientes para el diseño hidrológico. De acuerdo con lo anterior se toma los datos de la región A2 con coordenadas de Longitud: -78.810 y Latitud: -5.692. (Ver anexo N°04)



Fig. 57. Estimación de curvas IDF bajo escenarios futuros. Fuente: Senahmi. <https://idesep.senamhi.gob.pe/dhi-idf/>

De acuerdo con las recomendaciones el Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, se sugiere adoptar períodos de retorno no inferiores a 10 años para las cunetas. Además, se consideró un período de duración de precipitación de 60 minutos. De acuerdo con lo anterior, el dato de Intensidad es:

$$\text{Duración} = 60 \text{ min}$$

$$Tr = 10 \text{ años}$$

$$ic = 47 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

Por tanto, el cálculo del caudal de diseño o caudal de aporte da como resultado

$$Q = (0.59 * 47 \frac{\text{mm}}{\text{hr}} * 0.01\text{km}^2) / 3.6$$

$$Q = 0.077 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 77.0 \text{ l/s}$$

Cálculo del Funcionamiento Hidráulico de la Sección Triangular

Para comprobar la eficiencia de la sección triangular típica establecida para regiones lluviosas en el Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito se utilizará la siguiente fórmula de Manning:

$$Q = A \times V = \frac{(A \times R_h^{2/3} \times S^{1/2})}{n}$$

En donde:

A=Área hidráulica

P=Perímetro mojado

R=Radio hidráulico

S=Pendiente

n=Coefficiente de rugosidad. (ver valores del coeficiente de Manning)

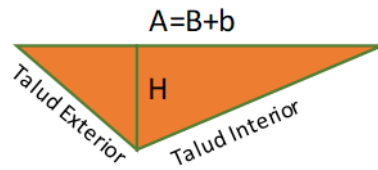
TABLA XXIX

VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DEL COEFICIENTE DE MANNING

| Tipo de canal | Mínimo | Normal | Máximo |
|---|--------|--------|--------|
| Tubo metálico corrugado | 0.021 | 0.024 | 0.030 |
| Tubo de concreto | 0.010 | 0.015 | 0.020 |
| Canal revestido en concreto alisado | 0.011 | 0.015 | 0.017 |
| Canal revestido en concreto sin alisar | 0.014 | 0.017 | 0.020 |
| Canal revestido albañilería de piedra | 0.017 | 0.025 | 0.030 |
| Canal sin revestir en tierra o grava | 0.018 | 0.027 | 0.030 |
| Canal sin revestir en roca uniforme | 0.025 | 0.035 | 0.040 |
| Canal sin revestir en roca irregular | 0.035 | 0.040 | 0.050 |
| Canal sin revestir con maleza tupida | 0.050 | 0.080 | 0.120 |
| Río en planicies de cauce recto sin zonas con piedras y malezas | 0.025 | 0.030 | 0.035 |
| Ríos sinuosos o torrentosos con piedras | 0.035 | 0.040 | 0.600 |

Fuente: Elaboración Propia

Del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, se tiene que la sección mínima para la cuneta de altura $H=0.30\text{m}$ y ancho $A=0.75\text{m}$. Sin embargo, el Manual de Diseño Geométrico DG2001, recomienda que la sección mínima entre H y B debe ser de 1:3 por tanto, la cuneta proyectada debe tener la siguiente dimensión mínima $H=0.30\text{m}$ y $A=0.90\text{m}$.



| | |
|-----------|----------------------|
| B= | 0.75 m |
| b= | 0.15 m |
| h= | 0.3 m |
| L1= | 0.8078 m |
| L2= | 0.3905 m |
| A= | 0.135 m ² |
| P= | 1.1432 m |
| n= | 0.018 |
| R (A/P) = | 0.1181 |
| S= | 5 % |

Reemplazando los valores de la formula anterior. El caudal hidráulico nos da un resultado de:

$$Q_{hidráulico} = \frac{1}{0.018} * 0.1181^{\frac{2}{3}} * 0.05^{\frac{1}{2}} * 0.135$$

$$Q_{hidráulico} = 0.403 \frac{m^3}{s} = 403 \text{ l/s}$$

El caudal hidráulico es mayor que el caudal de diseño, por tanto, la sección establecida cumple los parámetros de diseño para esta zona.

TABLA XXX
CAUDAL DE DISEÑO

| | | | |
|----------|---|--------------|-----------|
| QAporte= | ≤ | Qhidraulico= | |
| 77.0 | ≤ | 403.0 | SI CUMPLE |

Fuente: Elaboración Propia

Dosificación del Material para la modelación de la Cuneta.

Según el Manual del Sistema Consolid. Trabajaremos con las dosificaciones establecidas en función a su espesor. De esta manera, por cada dosificación para cada diferente tipo

de suelo se utilizarán 0.189 ml de C444. El componente C444 debe mezclarse en agua en una proporción de 1:4

El componente Solidry será dosificado al 2%, dado que esta cantidad ha demostrado ser la más efectiva según los ensayos experimentales realizados.

TABLA XXXI

CANTIDADES DE ESTABILIZADORES A UTILIZAR PARA PRUEBA MODELACIÓN FÍSICA SUELO TIPO SP-SM

| Suelo Tipo SP-SM | Producto | Espesor | Dosificación (%) | Cantidad (l/m ²) | Área de cuneta (m ²) | Litros | ml |
|------------------|----------|---------|------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------|--------|
| | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 2.7 | 0.189 | 189 |
| | Producto | Espesor | Dosificación (%) | Cantidad (kg/m ²) | Área de cuneta | kg | Gramos |
| Solidry | 7.5 cm | 2 | 3 | 2.7 | 8.100 | 8100.000 | |

Fuente: Elaboración Propia

TABLA XXXII

CANTIDADES DE ESTABILIZADORES A UTILIZAR PARA PRUEBA MODELACIÓN FÍSICA SUELO TIPO SC

| Suelo Tipo SC | Producto | Espesor | Dosificación (%) | Cantidad (l/m ²) | Área de cuneta (m ²) | Litros | ml |
|---------------|----------|---------|------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------|--------|
| | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 2.7 | 0.189 | 189 |
| | Producto | Espesor | Dosificación (%) | Cantidad (kg/m ²) | Área de cuneta | kg | Gramos |
| Solidry | 7.5 cm | 2 | 3 | 2.7 | 8.100 | 8100.000 | |

Fuente: Elaboración Propia

TABLA XXXIII

CANTIDADES DE ESTABILIZADORES A UTILIZAR PARA PRUEBA MODELACIÓN FÍSICA SUELO TIPO GP-GM

| Suelo Tipo GP-GM | Producto | Espesor | Dosificación (%) | Cantidad (l/m ²) | Área de cuneta (m ²) | Litros | ml |
|------------------|----------|---------|------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------|--------|
| | C444 | 7.5 cm | 0.045 | 0.07 | 2.7 | 0.189 | 189 |
| | Producto | Espesor | Dosificación (%) | Cantidad (kg/m ²) | Área de cuneta | kg | Gramos |

| | | | | | | | |
|--|---------|--------|---|---|-----|-------|----------|
| | Solidry | 7.5 cm | 2 | 3 | 2.7 | 8.100 | 8100.000 |
|--|---------|--------|---|---|-----|-------|----------|

Fuente: Elaboración Propia

Procedimiento de Toma de Datos

Para la toma de datos del modelo físico es necesario regularizar el caudal y la velocidad, con una llave de paso a la entrada del sistema de tuberías de 1 pulg. y con una llave de paso paralela a la tubería del bombeo con el propósito de reducir el caudal suministrado y así poder llegar al caudal requerido por el estudio de 0,02 l/s. Utilizando un recipiente, se llevaron a cabo mediciones del volumen de agua en un intervalo de tiempo específico, lo que se conoce como aforo de caudal. Para asegurar precisión, se recolectaron cinco conjuntos de datos distintos. Este enfoque permitió obtener un promedio que representara de manera más precisa la realidad del modelo.

TABLA XXXIV

AFORO DE CAUDAL DE MODELACIÓN DE CUNETAS.

| Sondeo | Tiempo (Seg) | |
|--------------|--------------|-------------|
| | Modelo 1 | Modelo 2 |
| 1 | 94.3 | 95.7 |
| 2 | 95.2 | 95.3 |
| 3 | 96.1 | 94.6 |
| 4 | 95.3 | 94.5 |
| 5 | 94.6 | 96.4 |
| Tiempo Prom. | 95.1 | 95.3 |

Fuente: Elaboración Propia

Se inicio el transporte del suelo de estudio a la ubicación donde se construyó el modelo físico de obra de drenaje y se dejó secar a temperatura ambiente por 48 horas. Para el proceso experimental de simulación, se consideró como pendiente 5% por donde discurrirá el agua proveniente del bombeo, el proceso de compactación se realizó en 3 capas siguiendo la sección triangular con un apisonador manual de 15 kg.



Fig. 58. Preparación de modelación de cuneta (SP-SM). Fuente: Propia



Fig. 59. Preparación de modelación de Cuneta (SC). Fuente: Propia



Fig. 60. Preparación de modelación de Cuneta (GP-GM). Fuente: Propia

Para la recolección y medición del material de arrastre, se proyectó un sistema de desagüe donde se colocó una trampa de sedimentos de 5 mm que ayude a retener la mayor parte de partículas en suspensión y una tubería de desfogüe.



Fig. 61. Proceso de escurrimiento superficial (SP-SM). Fuente: Propia



Fig. 62. Proceso de escurrimiento superficial (SC). Fuente: Propia



Fig. 63. Proceso de escurrimiento superficial (GP-GM). Fuente: Propia

Trampa de Sedimentos

El objetivo de este proceso consistió en recoger los sedimentos arrastrados del modelo físico de cuneta sin revestir en un periodo de 300 segundos a una velocidad que no supere los 0.10 m/s, el ensayo comenzó con la superficie del suelo estabilizada con la dosificación óptima y su contenido óptimo de humedad. Se llevó a cabo una revisión de los resultados obtenidos, donde se analizó la efectividad del modelo propuesto, sus limitaciones y posibles usos.

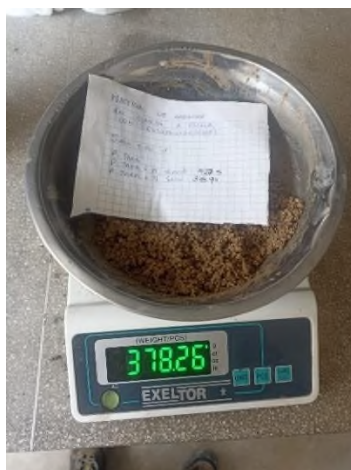


Fig. 64. Material de Arrastre sin estabilizadores Suelo tipo SP-SM. Fuente: Propia



Fig. 65. Material de Arrastre sin Estabilizadores Suelo Tipo SC. Fuente: Propia



Fig. 66. Material de Arrastre sin Estabilizadores Suelo Tipo GP-GM. Fuente: Propia

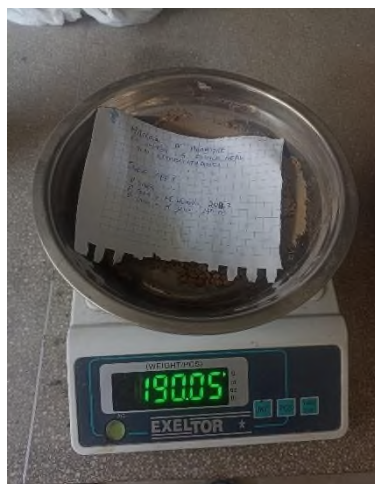


Fig. 67. Material de Arrastre con Estabilizadores Suelo Tipo SP-SM. Fuente: Propia



Fig. 68. Material de Arrastre con Estabilizadores Suelo Tipo SC. Fuente: Propia



Fig. 69. Material de Arrastre con Estabilizadores Suelo Tipo GP-GM. Fuente: Propia

Resultados

CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE TERRENO NATURAL

Se obtuvieron del total de las 3 muestras representativas que fueron extraídas para realizar los ensayos de laboratorio. Dos de ellas se han obtenido en campo a una profundidad de 0.50-0.70 cm del nivel de la carretera, sin alguna alteración o adición de las muestras.

Muestra Representativa N°01

Para la caracterización de la primera calicata se determinaron los ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg, Índice de Plasticidad, Gravedad Específica y Contenido de Humedad.

TABLA XXXV

PROPIEDADES DEL SUELO SP-SM

| PROPIEDADES | RESULTADOS |
|----------------------------------|---|
| AASHTO: | A-1-B (0) BUENO |
| SUCS: | SP- SM (Arena pobremente graduada con limo y grava) |
| % Finos que pasa el tamiz N°200: | 0.50% |
| % de Humedad: | 17.93% |
| Límite Líquido: | N.P |
| Límite Plástico: | N.P |
| Índice de Plasticidad: | N.P |

Fuente: Elaboración Propia

Muestra Representativa N°02

Para la caracterización de la segunda calicata se determinaron los ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg, Índice de Plasticidad, Gravedad Específica y Contenido de Humedad.

TABLA XXXVI

PROPIEDADES DEL SUELO SC

| PROPIEDADES | RESULTADOS |
|-------------|-------------------|
| AASHTO: | A-2-6 (1) REGULAR |

| | |
|----------------------------------|----------------------|
| SUCS: | SC (Arena Arcillosa) |
| % Finos que pasa el tamiz N°200: | 21.90% |
| % de Humedad: | 15.70% |
| Limite Liquido: | 28.32% |
| Limite Plástico: | 19.54% |
| Indice de Plasticidad: | 8.78% |

Fuente: Elaboración Propia

Muestra Representativa N°03

Para la caracterización del agregado de tipo “Afirmado” se determinaron los ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg, Índice de Plasticidad, Gravedad Específica y Contenido de Humedad.

TABLA XXXVII

PROPIEDADES DEL SUELO GP-GM

| PROPIEDADES | RESULTADOS |
|----------------------------------|--|
| AASHTO: | A-1-a (0) BUENO |
| SUCS: | GP-GM (Grava pobremente graduada con limo y arena) |
| % Finos que pasa el tamiz N°200: | 17.10% |
| % de Humedad: | 4.42% |
| Limite Liquido: | 34.09% |
| Limite Plástico: | 25.70% |
| Índice de Plasticidad: | 8.39% |

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de los ensayos de laboratorio de las 3 muestras representativas están adjuntados en los anexos de curvas granulométricas y curva de fluidez.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

La compactación se refiere al proceso de aplicar cargas temporales de corta duración sobre una masa de suelo específica, lo que resulta en un aumento de la densidad y una reducción del volumen. Debido a que este proceso incrementa la resistencia del suelo, como consecuencia de la reducción de volumen de vacíos logra disminuir su permeabilidad, su susceptibilidad a la erosión y su capacidad de deformación

Muestra Representativa N°01

Se han preparado cuatro muestras para llevar a cabo el ensayo del Proctor Modificado con el fin de determinar los valores de densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo. Este proceso se ha realizado mediante el método "A", que implica la compactación en cinco capas con 25 golpes por capa.

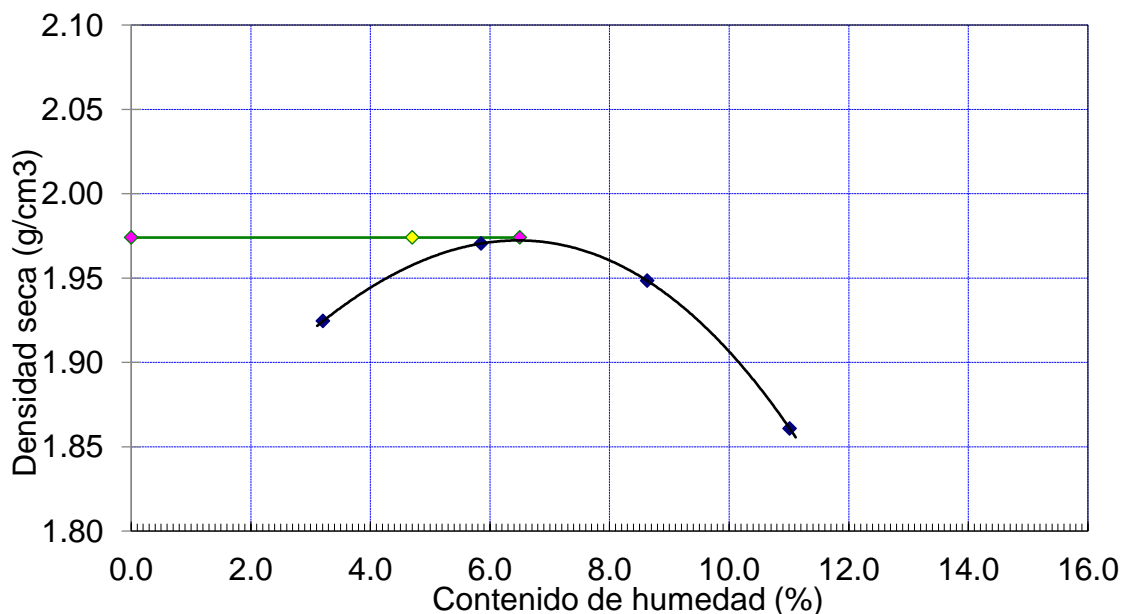
TABLA XXXVIII

PROPIEDADES DEL SUELO SC

| PROPIEDAD | MUESTRA REPRESENTATIVA: M-1 |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| METODO DE COMPACTACION | Método "A" |
| METODO DE PREPARACION | Húmedo |
| MAXIMA DENSIDAD SECA (M.D.S) | 1.974 g/cm ³ |
| OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (O.C.H) | 6.5% |

Fuente: Elaboración Propia

De la Muestra Representativa M-1 se obtuvo 1.974 g/Cm³ de Máxima Densidad Seca y un Óptimo Contenido de Humedad de 6.5%, tal como se muestra en la gráfica:



Gráfica N° 1. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad Natural (SP-SM). Fuente: Elaboración Propia

Muestra Representativa N°02

Se han preparado cuatro muestras para llevar a cabo el ensayo del Proctor Modificado con el fin de determinar los valores de densidad máxima seca y contenido de humedad

óptimo. Este proceso se ha realizado mediante el método "A", que implica la compactación en cinco capas con 25 golpes por capa.

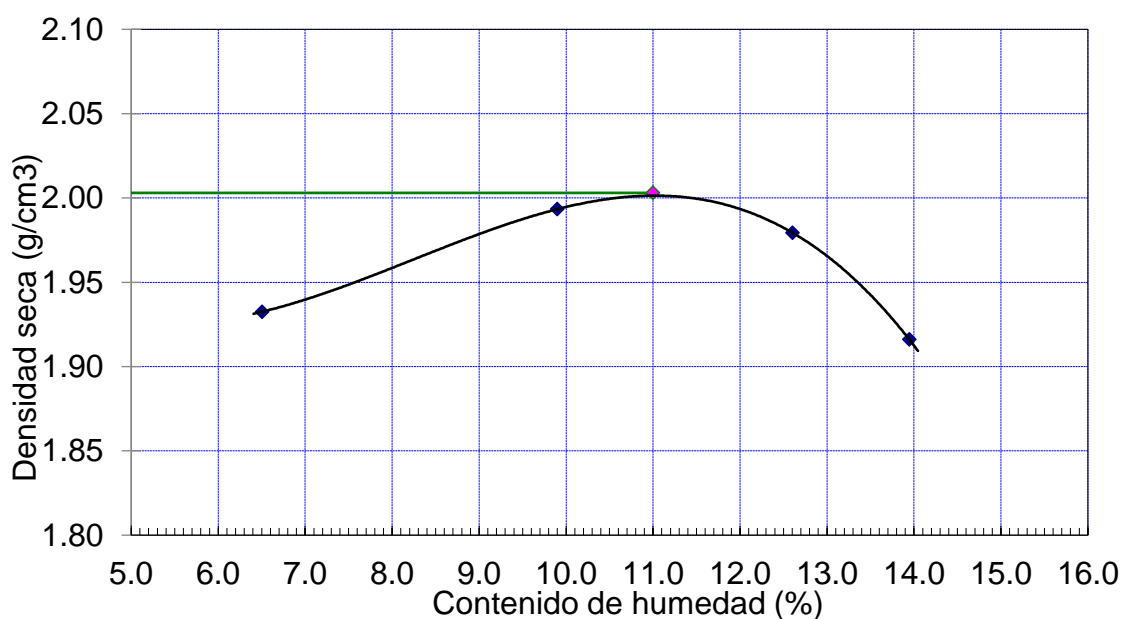
TABLA XXXIX

RESUMEN DE PROCTOR MODIFICADO SC

| PROPIEDAD | MUESTRA REPRESENTATIVA: M-2 |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| METODO DE COMPACTACION | Método "A" |
| METODO DE PREPARACION | Húmedo |
| MAXIMA DENSIDAD SECA (M.D.S) | 2.003 g/cm ³ |
| OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (O.C.H) | 11% |

Fuente: Elaboración Propia

De la Muestra Representativa M-2 se obtuvo 2.04 g/Cm³ de Máxima Densidad Seca y un Óptimo Contenido de Humedad de 11%, tal como se muestra en la gráfica:



Gráfica N° 2. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad SC. Fuente: Elaboración Propia.

Muestra Representativa N°03

Se han preparado cuatro muestras para llevar a cabo el ensayo del Proctor Modificado con el fin de determinar los valores de densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo. Este proceso se ha realizado mediante el método "A", que implica la compactación en cinco capas con 25 golpes por capa.

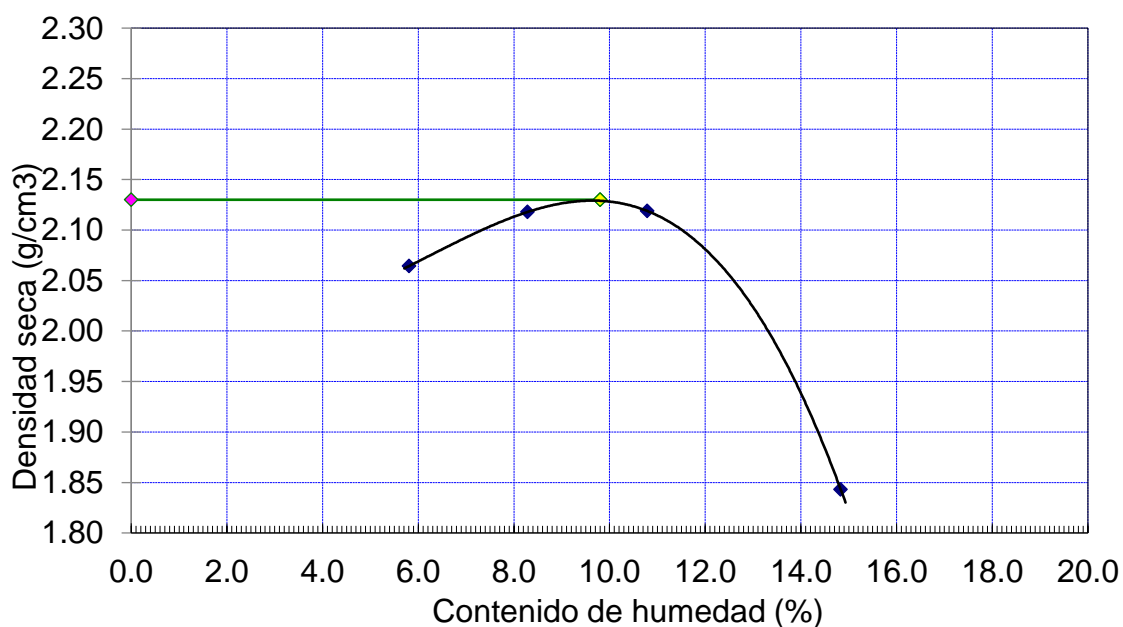
TABLA XL

RESUMEN DE PROCTOR MODIFICADO GP-GM.

| PROPIEDAD | MUESTRA REPRESENTATIVA: M-3 |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| METODO DE COMPACTACION | Método "A " |
| METODO DE PREPARACION | Húmedo |
| MAXIMA DENSIDAD SECA (M.D.S) | 2.13 g/cm ³ |
| OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (O.C.H) | 9.8% |

Fuente: Elaboración Propia

De la Muestra Representativa M-3 se obtuvo 2.13 g/Cm³ de Máxima Densidad Seca y un Óptimo Contenido de Humedad de 9.8%, tal como se muestra en la gráfica:



Gráfica N° 3. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad Natural (SC). Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO DE CAMPO – LEFRANC

Estos resultados se basan en los ensayos de permeabilidad Lefranc realizados en las calicatas de donde fueron extraídas las muestras de estudio. Este ensayo consiste en medir las pérdidas de agua en una columna dentro de un tiempo determinado, permitiendo así evaluar la capacidad de infiltración del suelo y su comportamiento ante la presencia de agua, lo que resulta fundamental para el análisis de la impermeabilidad y estabilidad del terreno.

Muestra Representativa N°01:

TABLA XLI

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC SP-SM

| Suelo Tipo SP-SM (Arena pobremente graduada con limo y grava) | | |
|--|---------------|----------------------------------|
| Radio de la calicata (cm): | 5.8 | |
| Altura de la Perforación (cm): | 50 | |
| Datos Adquiridos del Sondeo | | |
| Sondeo | Tiempo (s) | Perdida de Carga Hidráulica (cm) |
| 1 | 600 | 29 |
| 2 | 600 | 22 |
| 3 | 600 | 20 |
| 4 | 600 | 18 |
| 5 | 600 | 18 |
| Resultados: | | |
| Promedio de la altura Drenada: | 21.4 | |
| Tiempo de Prueba: | 3000 | |
| Coefficiente de Permeabilidad | | |
| k= | 1.48E-03 cm/S | |

Fuente: Elaboración Propia

Muestra Representativa N°02:

TABLA XLII

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC SC

| Suelo Tipo SC (Arena Arcillosa) | | |
|--|------------|----------------------------------|
| Radio de la calicata (cm): | 5.8 | |
| Altura de la Perforación (cm): | 50 | |
| Datos Adquiridos del Sondeo | | |
| Sondeo | Tiempo (s) | Perdida de Carga Hidráulica (cm) |
| 1 | 600 | 9.7 |
| 2 | 600 | 9.5 |
| 3 | 600 | 9.1 |
| 4 | 600 | 9.1 |

| Resultados: | |
|--------------------------------------|---------------|
| Promedio de la altura Drenada: | 9.35 |
| Tiempo de Prueba: | 2400 |
| Coefficiente de Permeabilidad | |
| k= | 5.07E-05 cm/S |

Fuente: Elaboración Propia

Muestra Representativa N°03

Al tratarse de un material de cantera no se le puede realizar esta exploración de la permeabilidad de campo.

ENSAYO DE ASCENSO CAPILAR

Muestra Representativa N°01

En el ensayo de Ascenso Capilar para conocer la dosificación óptima se realizan 4 probetas de 10 cm de altura, una con material natural y las otras tres con las dosificaciones de 0.045% de Consolid C444 y Solidry 1%, 1.5%, 2%. Se toman lecturas de ascenso capilar en centímetros desde los 5 minutos hasta las 240 horas

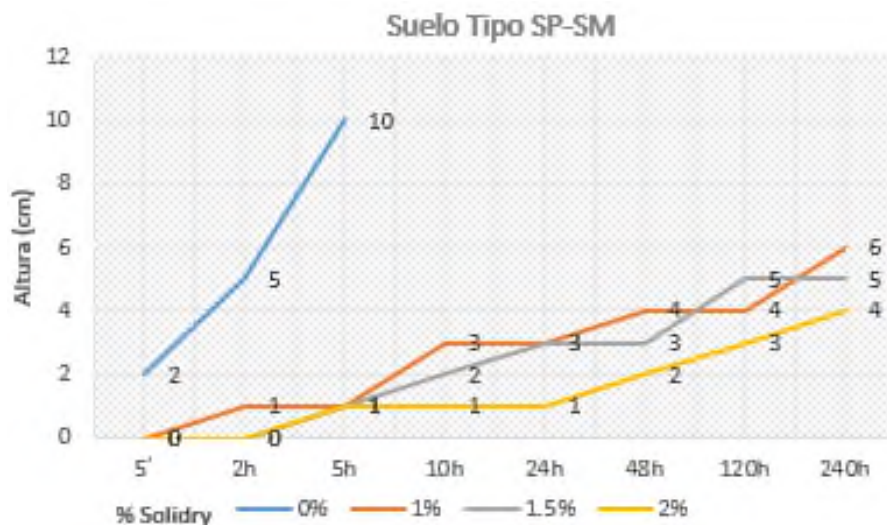
TABLA XLIII

RESULTADOS DE ASCENSO CAPILAR SP-SM

| | | Tiempo | | | | | | | |
|----------------|------|--------|----|----|-----|-----|-----|------|------|
| | | 5´ | 2h | 5h | 10h | 24h | 48h | 120h | 240h |
| Dosificaciones | 0% | 2 | 5 | 10 | | | | | |
| | 1% | 0 | 1 | 1 | 3 | 3 | 4 | 4 | 6 |
| | 1.5% | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| | 2% | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 |

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la probeta sin ningún estabilizador colapsó en menos de 5 horas, la probeta con 2% de Solidry y 0.045% de Consolid C444 se mantiene estable hasta después de las 240 horas.



Gráfica N° 4. Ascenso Capilar SP-SM. Fuente: Elaboración Propia.

Muestra Representativa N°02

En el ensayo de Ascenso Capilar para conocer la dosificación óptima se realizan 4 probetas de 10 cm de altura, una con material natural y las otras tres con las dosificaciones de 0.045% de Consolid C444 y Solidry 1%, 1.5%, 2%. Se toman lecturas de ascenso capilar en centímetros desde los 5 minutos hasta las 240 horas.

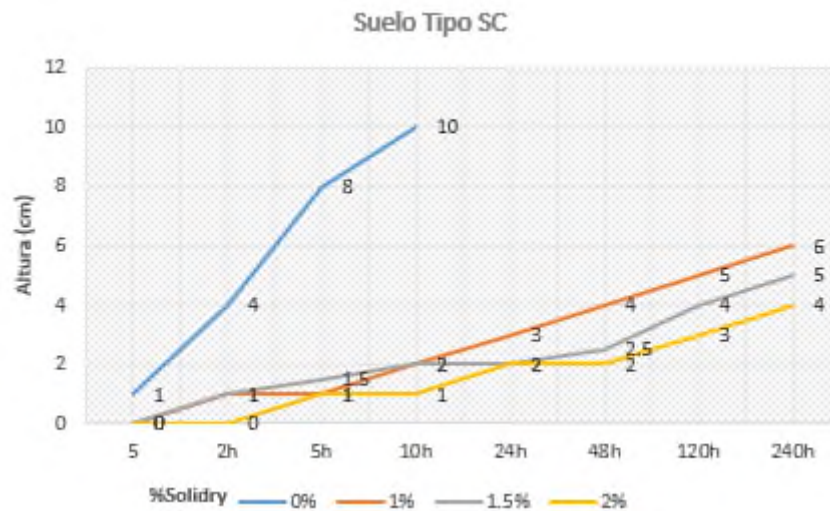
TABLA XLIV

RESULTADOS DE ASCENSO CAPILAR SC

| | | Tiempo | | | | | | | |
|----------------|------|--------|----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | | 5 | 2h | 5h | 10h | 24h | 48h | 120h | 240h |
| Dosificaciones | 0% | 1 | 4 | 8 | 10 | | | | |
| | 1% | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | 1.5% | 0 | 1 | 1.5 | 2 | 2 | 2.5 | 4 | 5 |
| | 2% | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 |

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la probeta sin ningún estabilizador colapsó en menos de 10 horas, la probeta con 2% de Solidry y 0.045% de Consolid C444 se mantiene estable hasta después de las 240 horas.



Gráfica N° 5. Ascenso Capilar SC. Fuente: Elaboración Propia.

Muestra Representativa N°03

En el ensayo de Ascenso Capilar para conocer la dosificación óptima se realizan 4 probetas de 10 cm de altura, una con material natural y las otras tres con las dosificaciones de 0.045% de Consolid C444 y Solidry 1%, 1.5%, 2%. Se toman lecturas de ascenso capilar en centímetros desde los 5 minutos hasta las 240 horas.

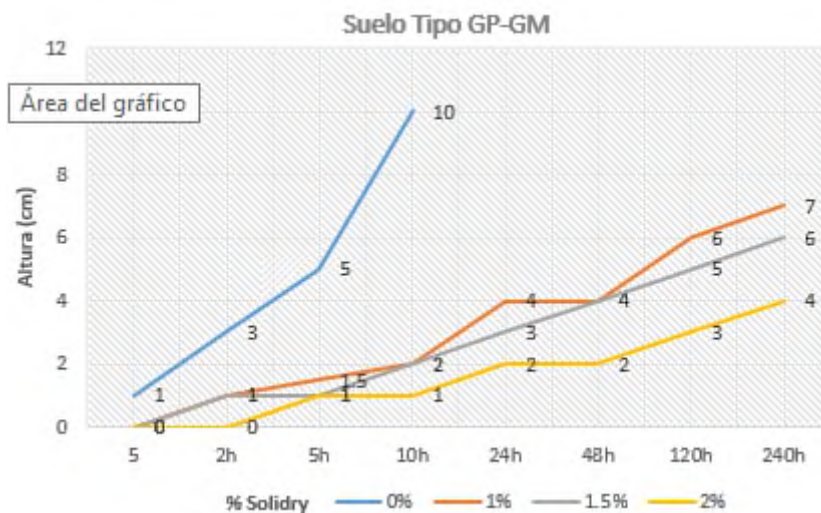
TABLA XLV

RESULTADOS DE ASCENSO CAPILAR GP-GM.

| | | Tiempo | | | | | | | |
|----------------|------|--------|----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | | 5 | 2h | 5h | 10h | 24h | 48h | 120h | 240h |
| Dosificaciones | 0% | 1 | 3 | 5 | 10 | | | | |
| | 1% | 0 | 1 | 1.5 | 2 | 4 | 4 | 6 | 7 |
| | 1.5% | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | 2% | 0 | 1 | 1 | 2 | 2.5 | 3 | 4 | 5 |

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la probeta sin ningún estabilizador colapsó en menos de 9 horas, la probeta con 2% de Solidry y 0.045% de Consolid C444 se mantiene estable hasta después de las 240 horas.



Gráfica N° 6. Ascenso Capilar GP-GM. Fuente: Elaboración Propia.

PRUEBA EXPERIMENTAL DE PERMEABILIDAD

Se utilizaron muestras con material natural y las otras tres muestras con las dosificaciones de 0.045% de Consolid C444 y Solidry en 1%, 1.5%, 2%. Se toma registro la cantidad de perdida de agua.

Muestra Representativa N°01

TABLA XLVI

RESULTADOS DE INFILTRACIÓN SP-SM.

| | | Cantidad de ingreso de agua (gr) | Peso del Recipiente (gr) | Cantidad de salida de agua (gr) | Peso neto (gr) | Perdida de agua (gr) |
|----------------------|--------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------|
| Sin aditivos | | 998 | 44 | 394 | 350 | 648 |
| CONSOLID C444 0.045% | Solidry 1% | 998 | 44 | 649 | 605 | 393 |
| | Solidry 1.5% | 998 | 44 | 698 | 654 | 344 |
| | Solidry 2% | 998 | 44 | 703 | 659 | 339 |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se puede observar que a mayor % de Solidry, es decir a mayor uso del estabilizante CONSOLID C444, menor es la cantidad de perdida de agua. Ya que, este material repele el agua y no permite el ingreso de este por el suelo.

Muestra Representativa N°02

TABLA XLVII

RESULTADOS DE FILTRACIÓN SC

| | | Cantidad de ingreso de agua (gr) | Peso del Recipiente (gr) | Cantidad de salida de agua (gr) | Peso neto (gr) | Perdida de agua (gr) |
|----------------|--------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------|
| Sin aditivos | | 998 | 44 | 723 | 629 | 369 |
| C444 0.045% | Solidry 1% | 998 | 44 | 710 | 666 | 332 |
| | Solidry 1.5% | 998 | 44 | 759 | 715 | 283 |
| | Solidry 2% | 998 | 44 | 925 | 881 | 117 |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se puede observar que a mayor % de Solidry, es decir a mayor uso del estabilizante CONSOLID C444, menor es la cantidad de perdida de agua. Ya que, este material repele el agua y no permite el ingreso de este por el suelo.

Muestra Representativa N°03

TABLA XLVIII

ASCENSO CAPILAR GP-GM

| | | Cantidad de ingreso de agua (gr) | Peso del Recipiente (gr) | Cantidad de salida de agua (gr) | Peso neto (gr) | Perdida de agua (gr) |
|-----------------|--------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------|
| Sin aditivos | | 998 | 44 | 808 | 764 | 234 |
| C444 4.34 ml | Solidry 1% | 998 | 44 | 836 | 792 | 206 |
| | Solidry 1.5% | 998 | 44 | 847 | 803 | 195 |
| | Solidry 2% | 998 | 44 | 861 | 817 | 181 |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se puede observar que a mayor % de Solidry, es decir a mayor uso del estabilizante CONSOLID C444, menor es la cantidad de perdida de agua. Ya que, este material repele el agua y no permite el ingreso de este por el suelo.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA VARIABLE

Se presenta un resumen del ensayo sobre la permeabilidad del suelo natural bajo carga variable, incluyendo la incorporación del estabilizante Consolid C444 y Solidry. Se observa que los coeficientes de permeabilidad (k) varían en los escenarios.

TABLA XLIX

RESULTADOS DE PERMEABILIDAD SC

| | | M-2 Suelo Tipo SC | |
|-------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------|
| | | Coefficiente de Permeabilidad | Descripción |
| Permeabilidad de suelos | Terreno Natural | 4.35E-06 | MUY POCO PERMEABLE |
| | Sistema Consolid | 2.11E-07 | IMPERMEABLE |

Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE

Se presenta un resumen del ensayo sobre la permeabilidad del suelo natural bajo carga constante, incluyendo la incorporación del estabilizante Consolid C444 y Solidry. Se observa que los coeficientes de permeabilidad (k) varían en los escenarios.

TABLA L

RESULTADOS DE PERMEABILIDAD SC

| | | M-1: Suelo Tipo SP-SM | |
|-------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | | Coefficiente de Permeabilidad | Descripción |
| Permeabilidad de suelos | Terreno Natural | 8.07E-03 | Moderadamente permeable |
| | Sistema Consolid | 4.96E-04 | Poco Permeable |

TABLA LI

RESULTADOS DE PERMEABILIDAD GP-GM

| M-3: Suelo Tipo GP-GM | |
|-------------------------------|-------------|
| Coefficiente de Permeabilidad | Descripción |
| | |

| | | | |
|-------------------------|------------------|----------|-------------------------|
| Permeabilidad de suelos | Terreno Natural | 1.05E-02 | Moderadamente permeable |
| | Sistema Consolid | 4.34E-04 | Poco Permeable |

Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS

Los elementos utilizados en el ensayo fueron compactados con su óptimo contenido de humedad correspondiente a cada proporción, tal como se determinó en el ensayo de Proctor modificado.

Muestra Representativa N°01

Este ensayo se llevó a cabo para determinar si aumenta o disminuye el ascenso capilar en los suelos con el estabilizante Sistema Consolid.

TABLA LII

RESULTADOS DE ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN SP-SM.

| Suelo Tipo SP-SM | |
|-----------------------------|-----------|
| Parámetro | Resultado |
| Ascensión Capilar a 24h (%) | 36.18 |
| Ascensión Capilar a 72h (%) | 55.28 |
| Expansión (%) | 0.97 |
| Absorción (%) | 1.01 |

Fuente: Elaboración Propia

Muestra Representativa N°02

Este ensayo se llevó a cabo para determinar si aumenta o disminuye el ascenso capilar en los suelos con el estabilizante Sistema Consolid.

TABLALIII

RESULTADOS DE ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN SC

| Suelo Tipo SC | |
|-----------------------------|-----------|
| Parámetro | Resultado |
| Ascensión Capilar a 24h (%) | 30 |
| Ascensión Capilar a 72h (%) | 50 |
| Expansión (%) | 2.24 |

| | |
|---------------|------|
| Absorción (%) | 2.46 |
|---------------|------|

Fuente: Elaboración Propia

Muestra Representativa N°03

Este ensayo se llevó a cabo para determinar si aumenta o disminuye el ascenso capilar en los suelos con el estabilizante Sistema Consolid.

TABLA LIV

RESULTADOS DE ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN GP-GM

| Suelo Tipo GP-GM | |
|-----------------------------|------------------|
| Parámetro | Resultado |
| Ascensión Capilar a 24h (%) | 40.20 |
| Ascensión Capilar a 72h (%) | 65.33 |
| Expansión (%) | 2.03 |
| Absorción (%) | 2.24 |

Fuente: Elaboración Propia

LÍMITES DE ATTERBERG CON 0.045 % DE CONSOLID C444 Y 2% DE SOLIDRY

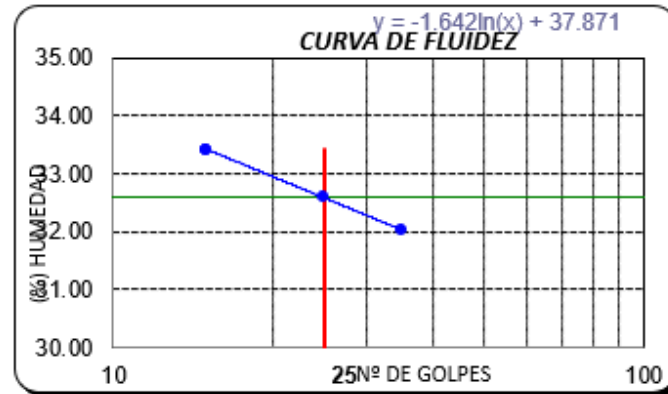
El ensayo se lleva a cabo utilizando el material que atraviesa la malla N°200, con los siguientes resultados:

Muestra Representativa N°01

Este tipo de suelo al tratarse de una Arena pobremente graduada con limo y grava no presenta limite plástico y limite líquido.

Muestra Representativa N°02

Se realiza el ensayo con el material que pasa la malla N°200 y adición del Sistema Consolid teniendo los siguientes resultados:

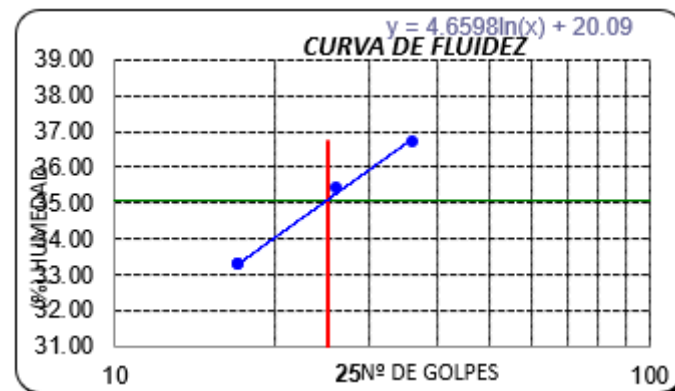


Gráfica N° 7. Curva de Fluidez SC con CONSOLID. Fuente: Elaboración Propia.

Se obtuvo como resultados el límite líquido es de 32.58 %, el límite plástico de 20.30% y el índice de plasticidad tiene un valor de 12.29%.

Muestra Representativa N°03

Se realiza el ensayo con el material que pasa la malla N°200 y adición del Sistema Consolid teniendo los siguientes resultados:



Gráfica N° 8. Curva de Fluidez GP-GM con CONSOLID. Fuente: Elaboración Propia

Se tuvo como resultados el límite líquido es de 35.09 %, el límite plástico de 26.41% y el índice de plasticidad tiene un valor de 8.68%

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO CON 0.045 % DE CONSOLID C444 Y 2% DE SOLIDRY

Muestra Representativa N°01

Se realizó el ensayo de compactación del Proctor modificado, con la muestra natural y con la incorporación de C444 con una dosificación de 0.045% y Solidry con una dosificación del 2%.

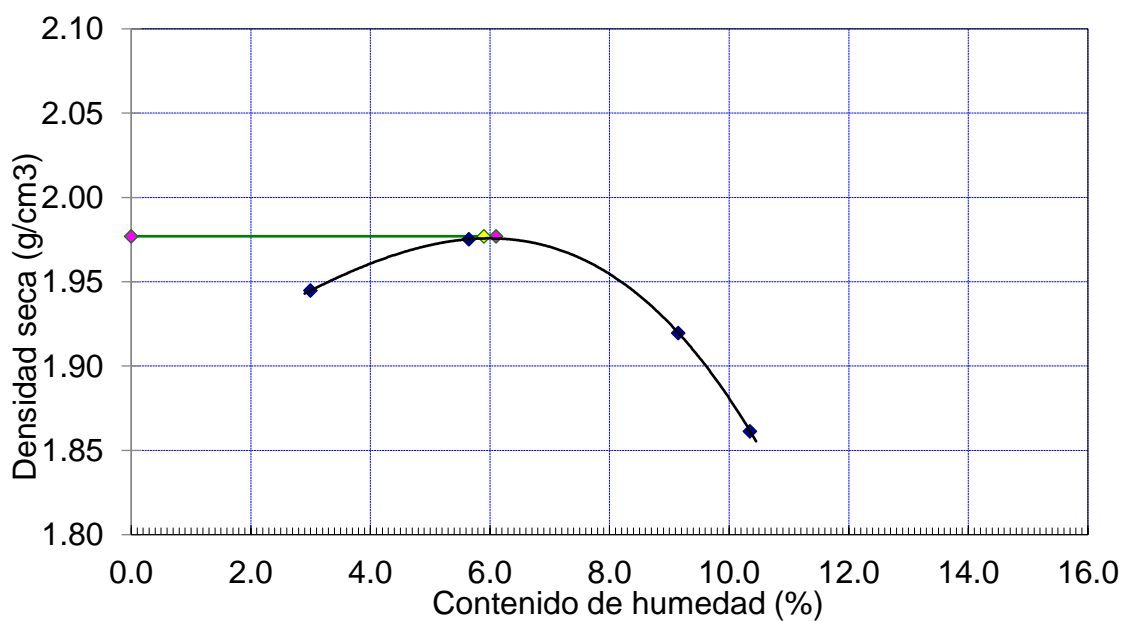
TABLA LV

RESUMEN DEL PROCTOR MODIFICADO CON CONSOLID (SP-SM)

| PROPIEDAD | MUESTRA REPRESENTATIVA: M-1 + SISTEMA CONSOLID |
|-------------------------------------|---|
| METODO DE COMPACTACION | Método "A" |
| METODO DE PREPARACION | Húmedo |
| MAXIMA DENSIDAD SECA (M.D.S) | 1.977 g/cm ³ |
| OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (O.C.H) | 6.1% |

Fuente: Elaboración Propia

De la Muestra Representativa M-1 con la incorporación de 0.045% de C444 + 2% Solidry, se obtuvo 1.977 g/Cm³ de Máxima Densidad Seca y un Óptimo Contenido de Humedad de 6.1%, tal como se muestra en la gráfica:



Gráfica N° 9. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad Consolid (SP-SM). Fuente: Elaboración Propia

Muestra Representativa N°02

Se realizó el ensayo de compactación del Proctor modificado, con la muestra natural y con la incorporación de C444 con una dosificación de 0.045% y Solidry con una dosificación del 2%.

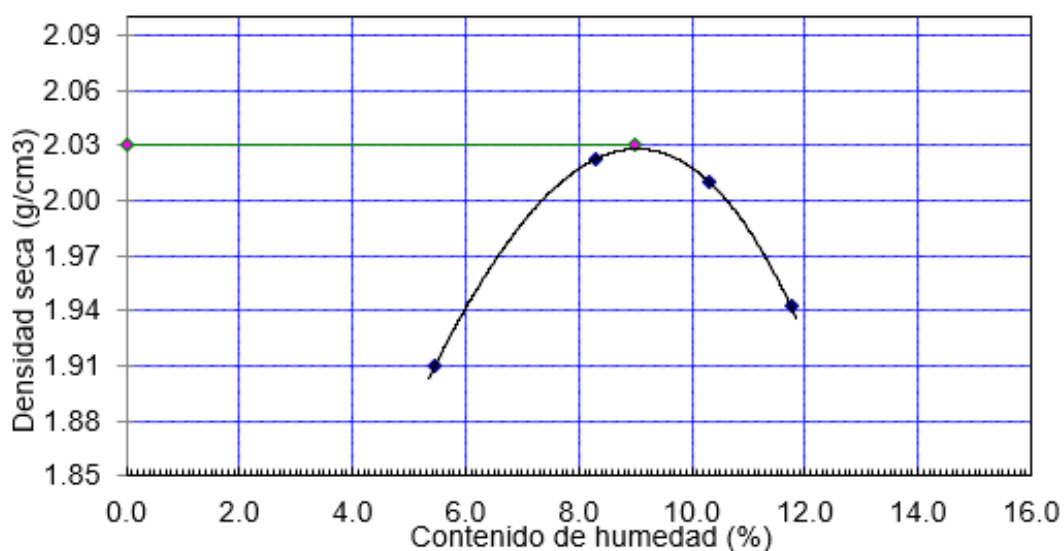
TABLA LVI

RESUMEN DEL PROCTOR MODIFICADO CON CONSOLID (SC)

| PROPIEDAD | MUESTRA REPRESENTATIVA: M-2 + SISTEMA CONSOLID |
|-------------------------------------|---|
| METODO DE COMPACTACION | Método "A" |
| METODO DE PREPARACION | Húmedo |
| MAXIMA DENSIDAD SECA (M.D.S) | 2.03 g/cm ³ |
| OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (O.C.H) | 9% |

Fuente: Elaboración Propia

De la Muestra Representativa M-2 con la incorporación de 0.045% de C444 + 2% Solidry, se obtuvo 2.03 g/cm³ de Máxima Densidad Seca y un Óptimo Contenido de Humedad de 9%, tal como se muestra en la gráfica:



Gráfica N° 10. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad Consolid (SC). Fuente: Elaboración Propia

Muestra Representativa N°03

Se realizó el ensayo de compactación del Proctor modificado, con la muestra natural y con la incorporación de C444 con una dosificación de 0.045% y Solidry con una dosificación del 2%.

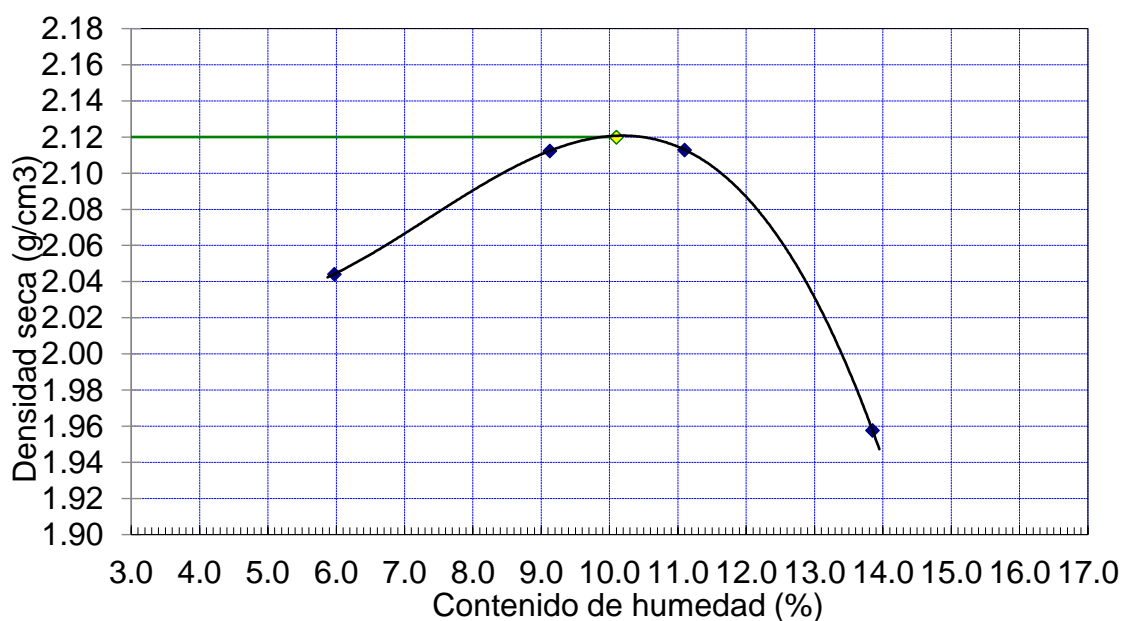
TABLA LVII

RESUMEN DE PROCTOR MODIFICADO CONSOLID (GP-GM). Fuente: Elaboración Propia

| PROPIEDAD | MUESTRA REPRESENTATIVA: M-3 + SISTEMA CONSOLID |
|-------------------------------------|---|
| METODO DE COMPACTACION | Método "A" |
| METODO DE PREPARACION | Húmedo |
| MAXIMA DENSIDAD SECA (M.D.S) | 2.12 g/cm ³ |
| OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (O.C.H) | 10.1% |

Fuente: Elaboración Propia

De la Muestra Representativa M-3 con la incorporación de 0.045% de C444 + 2% Solidry, se obtuvo 2.12 g/cm³ de Máxima Densidad Seca y un Óptimo Contenido de Humedad de 10.1%, tal como se muestra en la gráfica:



Gráfica N° 11. Curva de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad Consolid (GP-GM). Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA VARIABLE CON 0.045 % DE CONSOLID C444 Y 2% DE SOLIDRY

Los resultados de los ensayos están descritos en la: Tabla 48: Resultados de Permeabilidad SC

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE CON 0.045 % DE CONSOLID C444 Y 2% DE SOLIDRY

Los resultados de los ensayos están descritos en la Tabla 49: Resultados de Permeabilidad GP-GM y en la tabla 50: Resultados de Permeabilidad GP-GM.

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS CON 0.045 % DE CONSOLID C444 Y 2% DE SOLIDRY

Los elementos utilizados en el ensayo fueron compactados con su óptimo contenido de humedad correspondiente a cada proporción, tal como se determinó en el ensayo de Proctor modificado

Muestra Representativa N°01

Este ensayo se llevó a cabo para determinar si aumenta o disminuye el ascenso capilar en los suelos con el estabilizante Sistema Consolid.

TABLA LVIII

RESULTADOS DE ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN CON CONSOLID SP-SM

| Suelo Tipo SC + Consolid | |
|---------------------------------|------------------|
| Parámetro | Resultado |
| Ascensión Capilar a 24h (%) | 15 |
| Ascensión Capilar a 72h (%) | 22.5 |
| Expansión (%) | 0.41 |
| Absorción (%) | 0.4 |

Fuente: Elaboración Propia

Muestra Representativa N°02

Este ensayo se llevó a cabo para determinar si aumenta o disminuye el ascenso capilar en los suelos con el estabilizante Sistema Consolid.

TABLA LIX

RESULTADOS DE ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN CON CONSOLID SC

| Suelo Tipo SC + Consolid |
|---------------------------------|
|---------------------------------|

| Parámetro | Resultado |
|-----------------------------|-----------|
| Ascensión Capilar a 24h (%) | 10 |
| Ascensión Capilar a 72h (%) | 12.5 |
| Expansión (%) | 0.82 |
| Absorción (%) | 1.02 |

Fuente: Elaboración Propia

Muestra Representativa N°03

Este ensayo se llevó a cabo para determinar si aumenta o disminuye el ascenso capilar en los suelos con el estabilizante Sistema Consolid.

TABLA LX

RESULTADOS DE ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN CONSOLID GP-GM

| Suelo Tipo GP-GM + Consolid | |
|-----------------------------|-----------|
| Parámetro | Resultado |
| Ascensión Capilar a 24h (%) | 12.63 |
| Ascensión Capilar a 72h (%) | 15.15 |
| Expansión (%) | 0.88 |
| Absorción (%) | 1.42 |

Fuente: Elaboración Propia

TRAMPA DE SEDIMENTOS

La modelación física de la cuneta implicó el registro de los datos del material de arrastre durante un periodo de 5 minutos teniendo en cuenta los parámetros de velocidad y Caudal, con fines de comprobar que no se supere el valor máximo permisible establecido por el Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas. Después de completar las pruebas, se procede a recolectar el material de la zona de descarga, así como las partículas presentes en el modelo. Con el objetivo de minimizar las variaciones en la cantidad de material erosionado, se filtra la mezcla a través de tamices de tamaño N° 200. Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de secado en horno de 110 °C hasta obtener únicamente el material recogido en estado seco.

TABLA LXI

RESULTADO DE MATERIAL EROSIONADO SP-SM

| Suelo tipo SP-SM | Natural | Consolid |
|------------------------------|---------|----------|
| Peso del Recipiente | 94.17 | 80.62 |
| Material Erosionado Húmedo | 427.5 | 208.7 |
| Material Erosionado Seco | 378.26 | 190.05 |
| Total de Material Erosionado | 284.09 | 109.43 |

Fuente: Elaboración Propia

TABLA LXII

RESULTADO DE MATERIAL EROSIONADO SC

| Suelo tipo SC | Natural | Consolid |
|-------------------------------|---------|----------|
| Peso del Recipiente | 78.42 | 67.57 |
| Material Erosionado Húmedo | 1660.75 | 303.54 |
| Material Erosionado Seco | 1291.44 | 236.58 |
| Total, de Material Erosionado | 1213.02 | 169.01 |

Fuente: Elaboración Propia

TABLA LXIII

RESULTADO DE MATERIAL EROSIONADO GP-GM

| Suelo tipo GP-GM | Natural | Consolid |
|------------------------------|---------|----------|
| Peso del Recipiente | 63.00 | 54.46 |
| Material Erosionado Húmedo | 494.79 | 157.56 |
| Material Erosionado Seco | 432.14 | 141.2 |
| Total de Material Erosionado | 62.65 | 16.36 |

Fuente: Elaboración Propia

EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica de una cuneta sin revestir implica analizar una serie de factores para determinar su viabilidad y beneficios en términos económicos. Ya que en los proyectos viales no cuentan con lineamientos de diseños detallados al momento de su habilitación. Se llevará a cabo un análisis de costos utilizando el análisis de precios unitarios según las partidas trabajadas según el Manual de Carreteras. Especificaciones Técnicas Generales de Construcción

Para esta evaluación económica se considera una proyección de construcción de cunetas sin revestir, cunetas con revestimiento de concreto y de cunetas revestidas con Sistema Consolid y con fines de realizar un análisis de costos para la evolución económica.

Evaluación económica de Cunetas sin Revestir.

Se detalla el análisis de los costos unitarios necesarios para la construcción de cunetas sin revestir. Es importante destacar que los valores de rendimientos se tomaron de información proporcionada por proyectos nacionales relacionados, que cuentan con expedientes técnicos aprobados por las autoridades competentes. Del mismo modo, los precios unitarios de los materiales se obtuvieron de fuentes similares, garantizando su validez y precisión.

TABLA LXIV

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE CUNETA SIN REVESTIMIENTO

| Partida: | CONSTRUCCIÓN DE CUNETAS SIN REVESTIR | | | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|-----------|----------|------------|-------------------------------|-------------|
| Rendimiento | m/DÍA | 500.00 | EQ. | 500.00 | Costo unitario directo por: m | 5.50 |
| Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. | |
| Mano de Obra | | | | | | 1.94 |
| OPERARIO | hh | 1.0000 | 0.016 | 22.97 | 0.61 | |
| PEON | hh | 6.0000 | 0.096 | 16.41 | 2.63 | |
| Equipos | | | | | | 3.56 |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %MO | | 5.0000 | 4.00 | 0.20 | |
| MOTONIVELADORA DE 125 HP | hm | 1.0000 | 0.0160 | 210.00 | 3.36 | |

Fuente: Elaboración Propia

Evaluación económica de Cunetas con Revestimiento de Concreto

Se detalla el análisis de los costos unitarios necesarios para la construcción de cunetas revestidas de concreto. Es importante destacar que el rendimiento se calculó utilizando información proporcionada por proyectos similares que cuentan con expedientes técnicos aprobados por las autoridades competentes. Del mismo modo, los precios unitarios de los materiales se obtuvieron de fuentes similares, garantizando su validez y precisión. El análisis de costos de las subpartidas está especificado en los Anexos.

TABLA LXV

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE CUNETA REVESTIDA CON CONCRETO

| Partida: | CUNETA TRIANGULAR REVESTIDA DE CONCRETO $f'c=175\text{kg/cm}^2$ 0.75 X 0.30, E=10 CM | | | | | |
|---|--|-----------|----------|--|-------------------------------|--------------|
| Rendimiento | m/DIA | MO. 1.00 | EQ. 1.00 | | Costo unitario directo por: m | 96.24 |
| Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | | Precio S/. | Parcial S/. |
| Subpartidas | | | | | | 96.24 |
| CURADO DE CUNETAS | m2 | | 1.7100 | | 1.98 | 3.38 |
| ENCONFRADO Y DESENCOFRADO DE CUNETAS | m | | 0.0060 | | 67.60 | 0.41 |
| JUNTAS DE DILATACION EN CUNETAS (2X2cm) | m | | 0.5700 | | 7.58 | 4.32 |
| JUNTAS DE CONSTRUCCION EN CUNETAS (1X1cm) | m | | 0.5700 | | 4.65 | 2.65 |
| PERFILADO Y COMPACTADO FONDO DE CUNETAS | m2 | | 1.7100 | | 11.98 | 20.48 |
| CONCRETO $F'C=175$ KG/CM2 | m3 | | 0.1500 | | 433.36 | 65.00 |

Fuente: Elaboración Propia

Evaluación económica de Cuneta Estabilizada con Sistema Consolid

Se detalla el análisis de los costos unitarios necesarios para la construcción de cunetas revestidas con el sistema consolid. Es importante destacar que el rendimiento se calculó utilizando información proporcionada por el fabricante. Del mismo modo, los precios unitarios de los materiales se obtuvieron de fuentes similares, garantizando su validez y precisión.

TABLA LXVI

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE CUNETA REVESTIDA CON SISTEMA CONSOLID

| Partida: | CUNETA TRIANGULAR REVESTIDA CON SISTEMA CONSOLID 0.75 X 0.30, E=7.5 CM | | | | | |
|------------------------------------|--|-----------|--------------|--|-------------------------------|--------------|
| Rendimiento | m/DIA | 300.0000 | EQ. 300.0000 | | Costo unitario directo por: m | 40.23 |
| Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | | Precio S/. | Parcial S/. |
| Mano de Obra | | | | | | 3.97 |
| ASISTENTE TECNICO DEL SISTEMA | hh | 1.0000 | 0.0267 | | 19.00 | 0.51 |
| OFICIAL | hh | 1.0000 | 0.0267 | | 18.17 | 0.48 |
| OPERARIO | hh | 2.0000 | 0.0533 | | 22.97 | 1.23 |
| PEON | hh | 4.0000 | 0.1067 | | 16.41 | 1.75 |
| Materiales | | | | | | 28.73 |
| CONSOLID C444 | lts | | 0.1890 | | 44.10 | 8.33 |
| SOLIDRY | kg | | 3.0000 | | 6.80 | 20.40 |
| Equipos | | | | | | 7.53 |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %MO | | 5.0000 | | 3.97 | 0.20 |
| MOTONIVELADORA DE 125 HP | hm | 1.0000 | 0.0267 | | 210.00 | 5.60 |
| COMPACTADOR VIBR. TIPO PLANCHA 7HP | hm | 1.0000 | 0.0267 | | 50.00 | 1.33 |

| | | | | | |
|--|----|--------|--------|--------|------|
| CAMIOM CISTERNA 4X2 (NLF) 122 HP HP 2000G | hm | 0.1000 | 0.0027 | 150.00 | 0.40 |
|--|----|--------|--------|--------|------|

Fuente: *Elaboración Propia*

En cuanto a precios de los materiales, se tiene que el precio del aditivo Consolid C444 está en 10 dólares el litro, su cambio a soles incluido el precio del IGV es de S/44.10. En el caso, del aditivo Solidry su precio es de 1.53 dólares el kilogramo, por lo que su cambio a soles incluido el precio del IGV es de S/6.80. Estos precios son actualizados a la fecha de presentado este trabajo de investigación

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CUNETAS ESTABILIZADAS CON SISTEMA CONSOLID

En cuanto al uso del Sistema Consolid en la estabilización de obras de drenaje para carreteras no pavimentadas, se propone un procedimiento constructivo práctico. Con el propósito de servir como guía para aquellos usuarios que deseen emplearlo con ese fin, a continuación, se detallan las especificaciones:

TABLA LXVII

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PRÁCTICO APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID EN LA ESTABILIZACIÓN DE CUNETAS CON TIERRA NATURAL.

Procedimiento constructivo práctico aplicando el sistema Consolid en la estabilización de cunetas con tierra natural.

1. ENSAYOS DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DE CUNETAS REVESTIDAS CON EL SISTEMA CONSOLID.

En primer lugar, se deberá realizar los ensayos de caracterización de suelos. Estos constan de los ensayos in situ (prueba de permeabilidad), y los ensayos en laboratorio (contenido de humedad, granulometría, límite líquido, límite plástico, Proctor modificado). Con estos resultados se podrá determinar el tipo de suelo con el que se está trabajando y poder conocer la superficie que se va a estabilizar.

2. DETERMINACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN OPTIMA PARA LA CONSTRUCCION DE CUNETAS REVESTIDAS CON EL SISTEMA CONSOLID

Una vez caracterizado el suelo se prepara el ensayo de ascensión capilar para conocer la dosificación optima, con las dosis establecidas en el Manual del Producto Sistema Consolid. Utilizando los resultados del laboratorio. Se realiza un análisis, ya que cada suelo se comporta de manera diferente por su granulometría. Eligiendo finalmente el que aumente las propiedades del suelo considerablemente.

3. EQUIPOS, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS

Su elección debe estar ajustada a los rendimientos que se desean obtener en la conformación de cunetas revestidas con el sistema consolid. El correcto mantenimiento y operación de los equipos influye bastante en la calidad de la obra. Para el transporte de los estabilizadores desde el sitio que se encuentren hasta el lugar del proyecto, se debe realizar de manera cuidadosa con un camión volquete, evitar deterioros y riegos indeseados que puedan afectar la calidad del estabilizante. Para la excavación y conformación se debe emplear maquinaria como motoniveladora o herramientas manuales de acuerdo con la facilidad de trabajo y herramientas manuales que faciliten la conformación del terreno. Para el mezclado del suelo con los aditivos una recicladora. Para la compactación se debe usar maquinaria como rodillo liso vibratorio o pata de cabra, si las condiciones de compactación se ven afectadas por la sección del terreno, se debe usar mano de obra calificada.

4. ADECUACIÓN DEL TERRENO

Se limpia y nivelan las áreas donde se construirán las obras de drenaje, retirando cualquier vegetación, escombros u obstáculos que puedan interferir con la construcción. Se ajusta la pendiente del canal de la cuneta según sea necesario para garantizar un flujo de agua adecuado y evitar estancamientos. Una vez preparado el suelo a estabilizar se comienza a escarificar logrando remover la mayor cantidad posible de partículas. Se utilizará pala excavadora o motoniveladora dependiendo de la sección de la estructura de drenaje, ya que tenemos que realizar corte para reconstruir la forma de la sección. Si en caso las condiciones del terreno no son aptas para maquinaria se deberá utilizar mano de obra.

5. SUMINISTRO DEL ESTABILIZANTE A LA SUPERFICIE A TRATAR

Para casos de construcción de cunetas con el sistema consolid, se deben tener en cuenta consideraciones de un correcto mezclado y un eficiente esparcimiento de los productos, así como también un correcto proceso de compactación. Se riega el C444 sobre el trazo de la sección de la cuneta utilizando una rociadora para luego ser mezclado correctamente con maquinaria o mano de obra. Finalmente se concluye la primera etapa compactando, utilizando un compactador tipo plancha o un apisonador tipo canguro. La segunda compactación inicia con la dispersión del producto Solidry sobre la superficie que se desea tratar. Es importante tener en cuenta que Solidry es un polvo susceptible de ser arrastrado por el viento con facilidad, por lo que es crucial evitar días ventosos. Se recomienda programar la aplicación en horas del día en las que, de acuerdo con las condiciones regionales, haya menos viento. La cantidad de Solidry a aplicar dependerá de la estrategia utilizada para distribuir las bolsas del producto. Se procederá a calcular la cantidad de bolsas necesarias para cubrir el espesor deseado que se desea estabilizar. Una vez completada la distribución de las bolsas, se abrirá uno de los extremos de cada bolsa y se verterá su contenido a lo largo de todo el ancho de la sección transversal de la obra de drenaje. Su distribución debe ser cuidadosa y abarcar la mayor parte de la superficie a tratar. Se escarifica a la mitad del espesor a trabajar con la maquinaria adecuada que permita la trabajabilidad, ya que el SOLIDRY trabaja como sellador e impermeabilizador. Una vez terminada la mezcla se inicia la compactación final, utilizando la maquinaria pertinente. Posteriormente se encuentra habilitado para su posterior uso.

6. RECOMENDACIONES FINALES

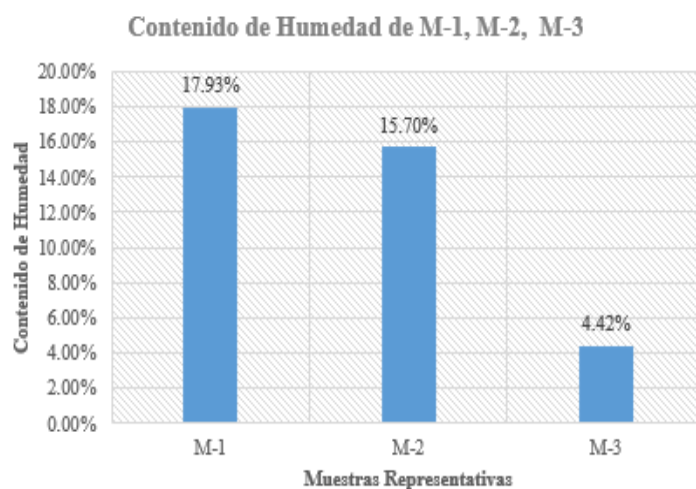
Las labores finales en la construcción de cunetas revestidas con el sistema consolid son prácticas, pero se deberán realizar con cuidado y en el momento adecuado. Estas labores consisten un correcto acabado y perfilado asegurándose que tenga la sección y la pendiente correcta para un drenaje eficiente de agua. Se debe compactar nuevamente el fondo y los bordes para garantizar su estabilidad y resistencia a la erosión. Por otro lado, se debe realizar una limpieza, para revisar que no existan escombros ni sedimentos que pueden haber quedado en el largo de la cuneta durante la construcción. Así como también, se debe revisar que el trabajo finalizado cumpla con las especificaciones y estándares de construcción se hayan cumplido. Se realizan ajustes si es necesario. Y por último se establece un programa de mantenimiento periódico para asegurar la funcionalidad de las cunetas y corregir problemas o futuros daños con el paso del tiempo

Fuente: Elaboración Propia

Discusión

El ensayo de contenido de humedad es el primer paso en la clasificación de un suelo. De acuerdo con [30] este resultado proporciona una indicación para determinar si el contenido de humedad del suelo es mayor o menor que el óptimo contenido de humedad para una compactación. Si la humedad natural es igual o menor que la humedad óptima, se recomienda realizar la compactación normal del suelo utilizando una cantidad adecuada de agua. Por otro lado, si la humedad natural es mayor, se debe considerar aumentar la energía de compactación, o reemplazar el material saturado.

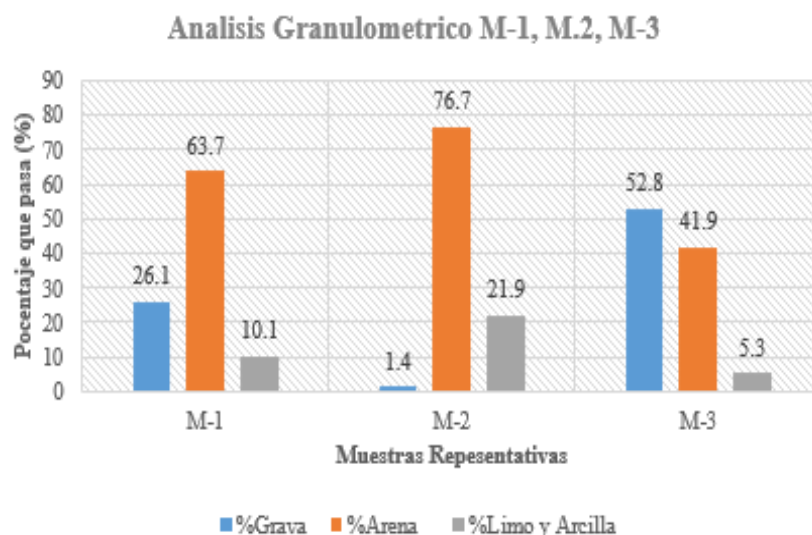
Los datos obtenidos en este estudio de las 3 muestras. El mayor contenido de humedad lo presenta la M-1 con 17.93 % y M-2 con 15.70%, por otro lado, la M-3 presenta un 4.42%. Estos resultados son lógicos, ya que las muestras de estudio fueron extraídas a una profundidad de 0.50 m del nivel de la carretera no pavimentada, en una región lluviosa y en zonas con escurrimiento superficial, donde deberían proyectarse las obras de drenaje. En estas condiciones, el suelo se encuentra constantemente expuesto a la humedad.



Gráfica N° 12. Contenido de Humedad de M-1, M-2, M-3. Fuente: *Elaboración Propia*

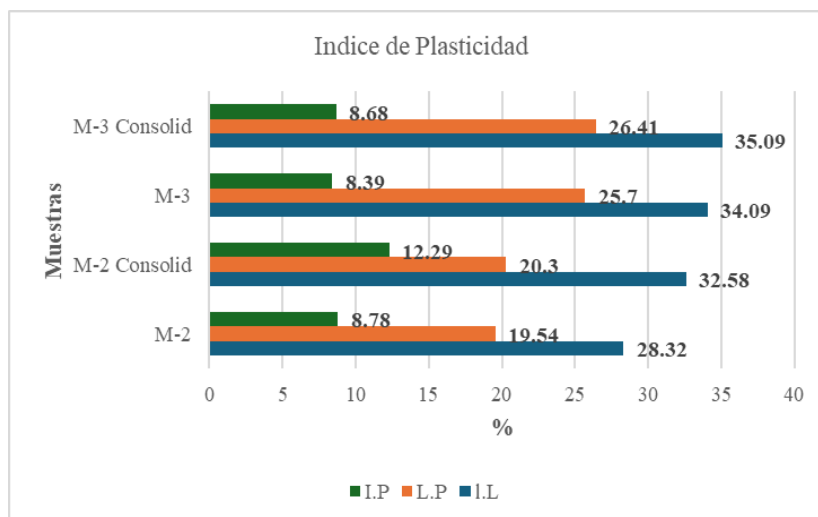
El ensayo de granulometría se realiza para observar la distribución de las partículas del suelo según su tamaño, ya que esto determinará su compactación. De acuerdo con [35], las gravas proporcionan resistencia al corte, mientras que las arenas llenan los espacios entre las gravas y las partículas finas ayudan a mantener la cohesión del suelo. Una correcta distribución granulométrica del suelo consiste en una mayor proporción de grava, seguida de una cantidad menor de arena y un porcentaje aún

adecuado de finos, lo que favorece en sus propiedades mecánicas y su estabilidad. De los resultados de las 3 muestras, se observa que el material que cumple con los requerimientos expuestos anteriormente es el M-3. El material que predomina es la grava 52.8 %, con un porcentaje de arena de 41.9% y los finos 5.3%. Por otro lado, en M-1 y M-2 se deduce que la gradación del material no es regular, ya que presenta porcentaje de arenas mayor al de gravas.



Gráfica N° 13. Análisis Granulométrico de M-1, M-2, M-3. Fuente: Elaboración Propia.

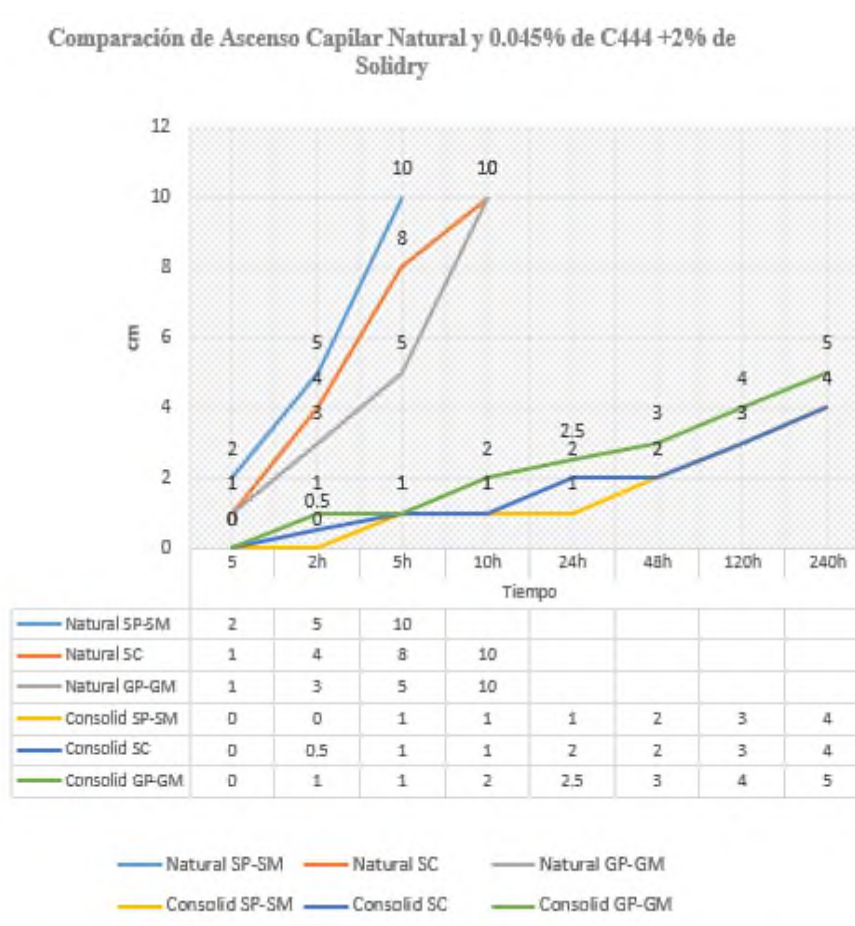
El Índice de Plasticidad se determina que para M-2 existe un I.P de 8.78%, para M-3 presenta un I.P igual a 8.39. y en M-1 no existe I.P al tratarse de un Arena. Por otro lado, con la adición del sistema consolid en su dosificación de 0.045% de C444 + 2% Solidry, aumenta considerablemente en un 3.51% para M-2 y en un 0.29% para M-3. Estos valores señalan que el Sistema consolid no influye en los Límites de Consistencia del suelo. Se puede corroborar en [4] señala que, con relación al Límite Plástico en sus 16 dosificaciones, se observó un incremento del 5.7% en un solo caso, mientras que en los demás casos se mantuvo dentro del rango de +/- 1.6%.



Gráfica N° 14. Índice de Plasticidad de M-1, M-2, M-3. Fuente: Elaboración Propia.

Del ensayo de campo Permeabilidad Lefranc (in-situ). La recolección de datos sin alteraciones ofrece una representación más precisa de los resultados obtenidos en el campo donde se realiza el estudio, especialmente cuando se trata de determinar el coeficiente de permeabilidad de un suelo. En este contexto, los valores obtenidos para la muestra M-1 revelan un coeficiente de permeabilidad de $1.48E-03$ cm/seg, un resultado que se considera aceptable debido a que se sitúa dentro del rango de permeabilidad de una Arena. De manera similar, para la muestra M-2 se obtiene un valor de $5.07E-05$ cm/S, también dentro de un rango aceptable según los estándares establecidos en [14].

El Ensayo de Ascenso Capilar se observa que las probetas sin la adición de 0.045 % C444 + 2% Solidry, se saturan totalmente y desmoronan antes de las 5 horas en el caso del suelo SP-SM, en el caso de los suelos SC y GP-GM se mantuvieron estables hasta antes de las 10 horas. Todo lo contrario, a las probetas estabilizadas con la dosificación de 0.045% Consolid y 2% Solidry, estas muestran un comportamiento muy superior en comparación con las presentan un porcentaje de 1% y 1.5 % de Solidry, logrando que el agua no penetre tan fácilmente en su composición incluso pasando las 240 horas. Esto sugiere que el tratamiento con C444 y Solidry está teniendo un efecto positivo en la capacidad del suelo para su resistencia a la saturación. En otras palabras, mejorando su impermeabilidad considerablemente [20].

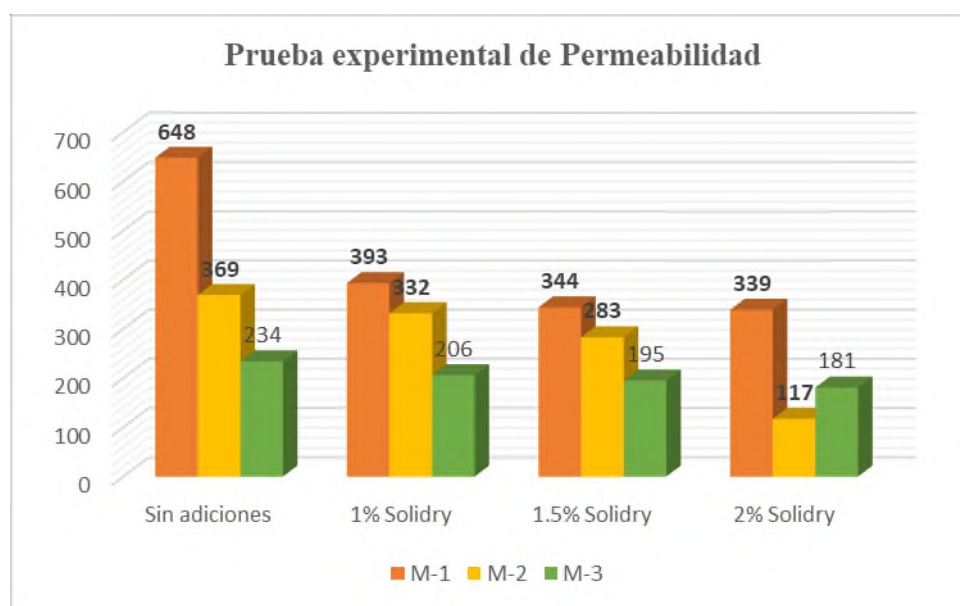


Gráfica N° 15. Comparación de Ascenso Capilar Natural y 0.045% de C444 +2% de Solidry. Fuente: Elaboración Propia.

De la prueba de experimental de permeabilidad. La capacidad de infiltración se refiere a la tasa a la cual el agua penetra en el suelo cuando llueve o se aplica agua sobre su superficie. Es decir, indica cuánta agua puede absorber y retener el suelo en un período de tiempo determinado. Esta capacidad depende de varios factores, incluyendo la textura del suelo, la estructura de este, la presencia de materia orgánica, la compactación y la pendiente del terreno.

El análisis del gráfico revela una notable diferencia en el comportamiento entre las muestras estabilizadas con el sistema Consolid y las muestras naturales en cuanto a su capacidad para repeler el agua y evitar su infiltración. Las muestras tratadas con el sistema Consolid exhiben una menor absorción de agua en comparación con las muestras naturales. Para ilustrar, en el caso de la muestra M-1, se observa una diferencia de 648 gramos a 339 gramos en la capacidad de infiltración lograda con la aplicación de 2% de Solidry y 0.045% de C444. De manera similar, en el caso de la muestra M-2, se evidencia

una diferencia de 319 gramos a 117 gramos con la misma aplicación del estabilizante, y en el caso de la muestra M-3, la diferencia es de 234 gramos a 181 gramos. El comportamiento de cada tipo de suelo respecto a su capacidad para permitir el ingreso del escurrimiento está influenciado por diversos factores. Sin embargo, según lo representado en el gráfico, la adición del estabilizante mejora significativamente este fenómeno. Este efecto se traduce en una mejora general de las propiedades del suelo, aumentando su impermeabilidad y reduciendo su capacidad de absorción de agua [20].



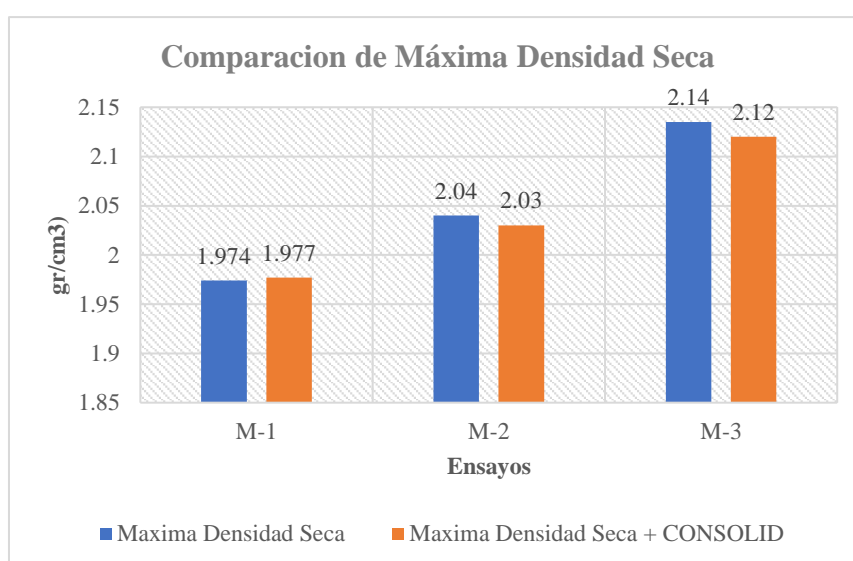
Gráfica N° 16. Comparación de la capacidad de infiltración de M-1, M-2 y M-3.

El proceso del ensayo Proctor modificado busca como poder mejorar las características del suelo mediante métodos mecánicos. Este proceso tiene como objetivo reducir los espacios vacíos, aumentar la resistencia y disminuir la capacidad de deformación del suelo. Indirectamente la reducción de los espacios vacíos aumenta la impermeabilidad de un suelo. La compactación se realiza de manera óptima cuando se alcanza una humedad específica, conocida como humedad óptima. Si la cantidad de agua es insuficiente, no existirá una adecuada lubricación, y si es demasiada, las fuerzas hidrostáticas separarán a las partículas del suelo.

Los resultados de densidad máxima seca revelan diferencias entre las mezclas M-1, M-2 y M-3, así como la influencia de las adiciones de estabilizantes. En la mezcla M-1, sin la incorporación del estabilizante, la densidad máxima seca alcanza los 1.974

g/cm³. Por otro lado, en la mezcla M-2, donde no se utiliza el estabilizante, la densidad máxima seca alcanza los 2.04 g/cm³. En M-3 la densidad máxima seca es 2.14 g/cm³. Cuando se añaden el 0.045% de C444 y el 2% de Solidry a las mezclas, se observan cambios significativos. En la mezcla M-1, la densidad máxima seca aumenta a 1.977 g/cm³, representando una variación de 0.003 g/cm³. Por otro lado, en la mezcla M-2, se logra una ligera disminución en la densidad máxima seca, alcanzando los 2.03 g/cm³, con una diferencia de 0.01 g/cm³. Finalmente, en la mezcla M-3, la densidad máxima seca disminuye a 2.12 g/cm³, con una reducción de 0.2 g/cm³. En [12] señala que a medida se le incrementa la dosis de % de Solidry va disminuyendo la M.D.S. Y en el trabajo de investigación [9] señala que, para reducir la máxima densidad seca, se han identificado valores óptimos con una dosificación del 1.5% respecto al peso del suelo. Sin embargo, al añadir proporciones mayores del aditivo líquido C444, específicamente un 0.04%, se observa un punto de inflexión en un suelo clasificado como SP.

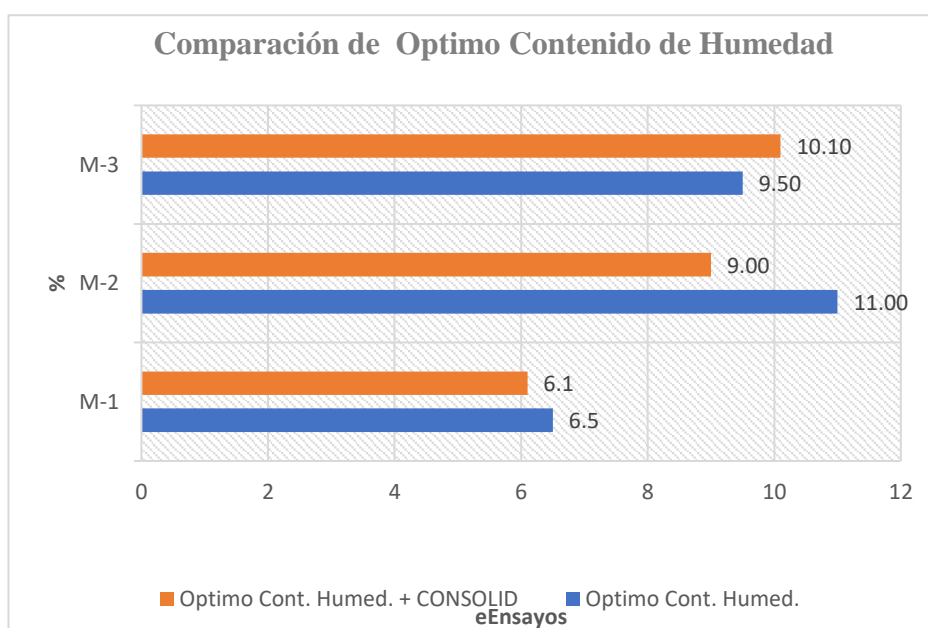
Se evidencia claramente que la máxima densidad está influenciada por la adición de un 2% de Solidry y un 0.045% de C444. Además, es importante destacar que, en ausencia del estabilizante Consolid, el suelo presenta una mayor densidad en comparación con los suelos sin estabilizar. Estos resultados son coherentes con estudios previos [9]. Se puede argumentar que la disminución de la densidad al agregar el aditivo líquido Consolid C444 se debe a su similitud en densidad con el agua. En contraste, el Solidry aumenta la densidad del suelo al aportar partículas cementantes y polímero sólido a la mezcla.



Gráfica N° 17. Comparación de Máxima Densidad Seca. Fuente: Propia.

El óptimo contenido de humedad con la dosificación adecuada en las mezclas M-1, M-2 y M-3 presenta resultados significativos. En la muestra M-1, se observa una reducción del contenido de humedad del 6.5% al 6.1%, lo que representa una disminución del 0.4%. En la muestra M-2, esta reducción es aún más notable, pasando del 11.00% al 9.00%, lo que equivale a una variación del 2%. Asimismo, en la muestra M-3, se evidencia una disminución del 10.10% al 9.50%.

Estos datos indican claramente que la adición del Sistema Consolid logra una reducción



Gráfica N° 18. Comparación Óptima de Contenido de Humedad. Fuente: Propia.

efectiva en la humedad de compactación. Este resultados se sustenta en [8], según el estudio de 16 dosificaciones para un suelo SC, mediante la implementación del Sistema Consolid, se logró una disminución del 2.35% en el contenido óptimo de humedad con respecto del suelo natural. Estos datos son correctos y respaldan la eficiencia del Sistema Consolid. Sin embargo, los resultados pueden variar según las características del suelo, como su granulometría, plasticidad y composición, lo que influye en el comportamiento del estabilizante.:

De los ensayos de permeabilidad de carga constante y carga variable. En la Tabla N° 48, se evidencia que la muestra M-2 experimentó un cambio significativo en sus características internas al incorporar el Sistema Consolid. Inicialmente clasificada como un suelo Muy Poco Permeable con un coeficiente de permeabilidad de $4.35 \text{ E-}06$,

tras la adición del estabilizante, esta muestra pasó a ser considerada prácticamente "impermeable", con un coeficiente de permeabilidad de $2.11E-07$.

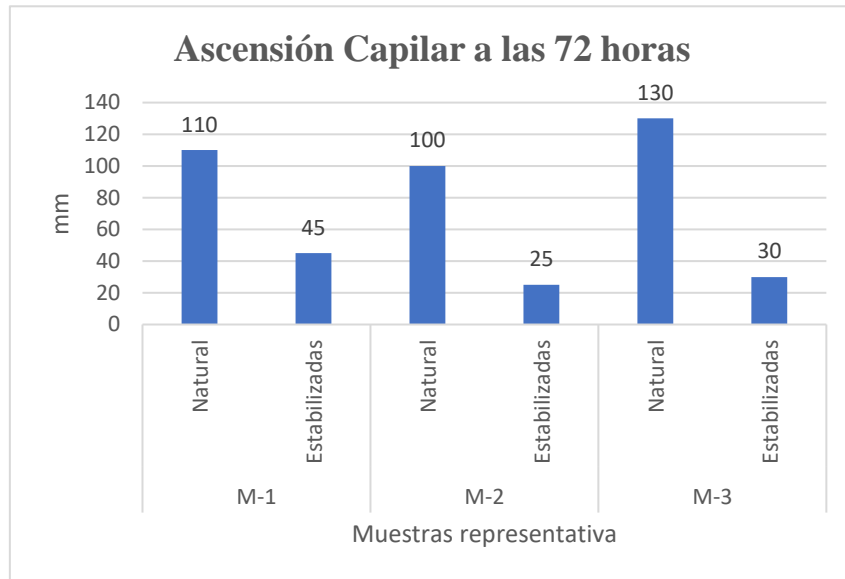
Para la muestra M-1, Inicialmente clasificada como un suelo "moderadamente permeable" con un coeficiente de permeabilidad de $8.07E-03$, tras la intervención del estabilizante, esta muestra pasó a ser considerada "poco permeable", con un coeficiente de permeabilidad de $4.96 E-04$.

De igual manera para la muestra M-3, Inicialmente clasificada como un suelo "moderadamente permeable" con un coeficiente de permeabilidad de $105 E-02$, tras la intervención del estabilizante, esta muestra pasó a ser considerada "poco permeable", con un coeficiente de permeabilidad de $4.34 E-04$.

Si bien no se encuentra literatura específica sobre estudios previos con este estabilizante, en [31] señala que el uso de agentes estabilizadores puede reducir la infiltración de agua en las capas del suelo estabilizado. El valor alcanzado dependerá del tipo de estabilizador y de la dosificación aplicada.

Se puede apreciar que el estabilizador Sistema Consolid mejora significativamente las propiedades del suelo, variando su efecto según la clasificación del mismo. En algunos casos, puede modificar sus propiedades internas hasta hacerlo casi impermeable. Sin embargo, su eficiencia dependerá del tipo de suelo y de la dosificación adecuada utilizada.

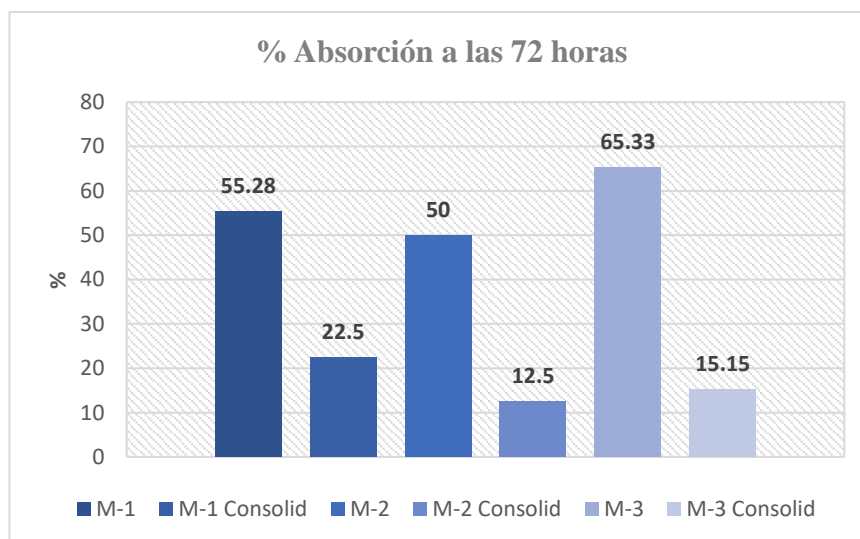
Del ensayo de absorción, expansión y ascensión capilar. Del gráfico se aprecia una disminución capilar con las muestras tratadas con su dosificación óptima de 0.045% de C444 y 2% de Solidry, En el caso de las muestras M-1 una reducción de 65 mm, para M-2 de 75 mm y para M-3 de 100 mm en comparación con las muestras sin tratar a las 72 horas. Esto se puede corroborar en [8] señala que en su estudio la ascensión capilar en 72 horas, las 16 dosificaciones del Sistema Consolid son menores que la ascensión capilar en el suelo natural. De los hallazgos se puede concluir que las muestras tratadas con mayor porcentaje de Solidry de 1.5 % y 3 % han demostrado mejor impermeabilización del suelo en comparación con las de 0.375 % y 0.75 %, lo que indica que Solidry contribuye a mejorar la impermeabilización del suelo



Gráfica N° 19. Ascensión Capilar de las muestras a las 72 horas. Fuente: Elaboración Propia.

El porcentaje de absorción es un indicador crucial que refleja la capacidad del suelo para retener agua. Según la normativa [26], este porcentaje no debe superar el 25% de la altura de ascensión capilar del espécimen. Como se observa en el gráfico, las muestras no tratadas exceden este límite del 25%. En contraste, las muestras tratadas con la dosificación óptima logran reducir su absorción a valores inferiores al 25%.

Específicamente, la muestra M-1 presenta un porcentaje de absorción de 22.5%, la muestra M-2 un 12.5%, y la muestra M-3 un 15.15%. Estos resultados demuestran la eficacia del tratamiento aplicado para controlar la capacidad de absorción del suelo, manteniéndola dentro de los límites establecidos por la normativa.

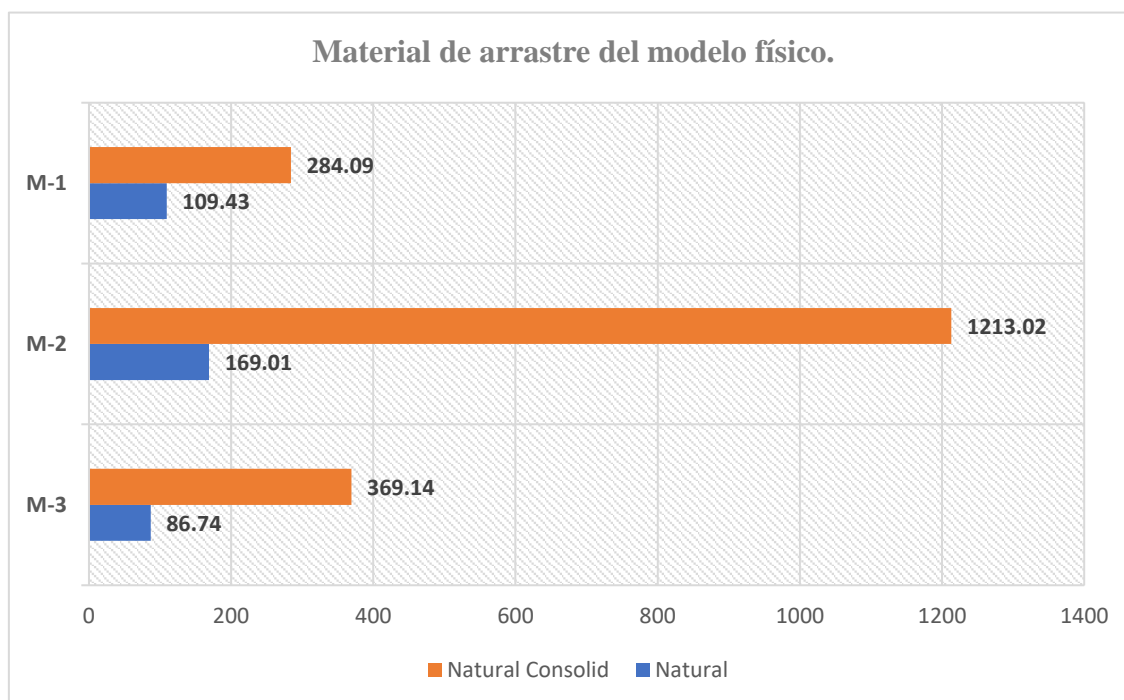


Gráfica N° 20. % de Absorción a las 72 horas. Fuente: Elaboración Propia

De la modelación y sección escogida para la obra de drenaje. Según [4] menciona que las cunetas son construidas de manera longitudinal y en paralelo a la calzada. Estas estructuras son altamente eficientes para proyectos carreteros en zonas lluviosas. Su diseño permite evacuar eficazmente el agua de escurrimiento superficial tanto del talud de corte como de la calzada.

En el diseño se ha determinado que las dimensiones de la cuneta triangular asimétrica son adecuadas para asegurar que el caudal hidráulico, de $0.403 \text{ m}^3/\text{s}$, sea superior al caudal de aporte, de $0.077 \text{ m}^3/\text{s}$. Con un tirante hidráulico de 0.30 m , podemos afirmar que las dimensiones de nuestra cuneta son suficientes para manejar el caudal de aporte estimado.

De la trampa de sedimentos de la modelación física de la cuneta.



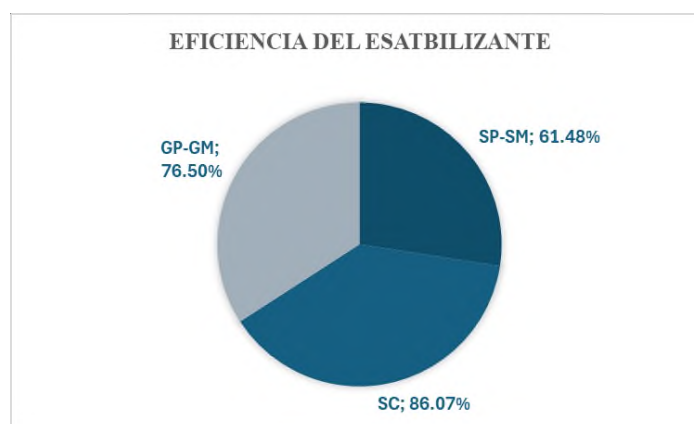
Gráfica N° 21. Comparación de Material de Arrastre

Los resultados revelados muestran que en el caso de M-1 se registró un total de 284.09 gramos de material de arrastre durante la simulación de escorrentía. Este valor se considera aceptable, dadas las condiciones de tiempo, material y pendiente del ensayo. Una de las razones de este resultado es que el material comenzó el proceso de erosión casi inmediatamente al saturarse la capa más expuesta. Durante el período inicial, no se generaba una escorrentía significativa, lo que resultaba en un arrastre de material mínimo. Sin embargo, alrededor del minuto de la prueba, después de que la capa más expuesta se

saturó, empezaron a aparecer pequeños canales con material que se desprendía y fluía sobre la cuneta. Por otro lado, la superficie de cuneta estabilizada con el sistema Consolid registró una recuperación de un total de 109.43 gramos, representando un **61.48% menos de material de arrastre en comparación con el caso anterior**. Estos resultados resaltan cómo el estabilizante Consolid aumenta significativamente la resistencia contra la erosión de la superficie del suelo.

En el caso de M-2, se recuperaron un total de 1213.02 gramos de material durante la simulación de escorrentía. La superficie de cuneta estabilizada con el sistema Consolid mostró un total de 169.01 gramos, lo que representa una reducción del 86.07% en el material de arrastre en comparación con el suelo sin estabilizadores. Estos resultados sugieren que este tipo de suelo no es inherentemente resistente a las fuerzas hídricas, ya que contiene un mayor porcentaje de finos en su composición, los cuales son más susceptibles de ser arrastrados por la escorrentía. Sin embargo, al incorporar el estabilizante, **se logra una eficiencia mayor al 85%** en la mejora de su resistencia y compactación. Este hallazgo destaca la efectividad del estabilizante Consolid en la reducción significativa del arrastre de sedimentos en suelos con mayor contenido de finos, lo que contribuye a mejorar la estabilidad de la superficie y a mitigar la erosión del suelo durante eventos de escorrentía.

En el caso de M-3, se recuperaron un total de 369.14 gramos de material durante la simulación de escorrentía. La superficie de cuneta estabilizada con el sistema Consolid registró un total de 86.74 gramos de material de arrastre. Esto representa una eficiencia del 76.50% en comparación con el suelo sin estabilizadores.



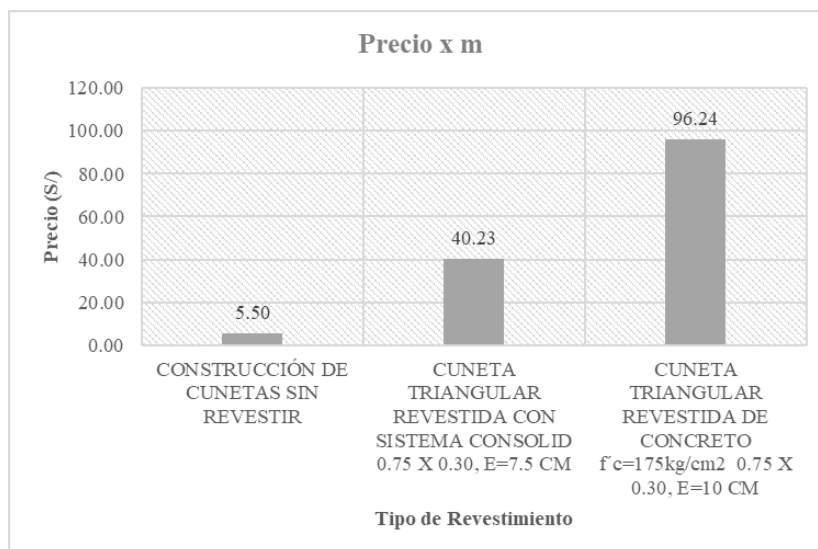
Gráfica N° 22. Eficiencia del estabilizante según cada tipo de suelo

Estos resultados demuestran que el estabilizante Consolid contribuye significativamente al control de la erosión en este tipo de suelo, reflejando una reducción considerable en el arrastre de sedimentos. Este hallazgo subraya la importancia y el beneficio del uso de estabilizantes para mejorar la resistencia y la estabilidad de la superficie de los suelos frente a eventos de escorrentía.

De la evaluación económica de los costos de revestimiento en obras de drenaje revela que, en un principio la construcción sin revestimiento puede parecer más económica. Sin embargo, a largo plazo, esta decisión puede resultar en costos adicionales significativos debido al mantenimiento frecuente requerido y a la vida útil limitada de las estructuras. Esto implica una mayor inversión en materiales, maquinaria y mano de obra a lo largo del tiempo.

A menudo, los manuales de Carreteras No Pavimentadas se centran en diseños de bajo costo y en proyecciones de vida útil a corto plazo. Sin embargo, las obras de drenaje desempeñan un papel crucial en la prolongación de la vida útil de una carretera. Por lo tanto, el uso de estabilizantes en suelos permeables y erosionables, especialmente en carreteras no pavimentadas, representa una solución adecuada, siempre y cuando se consideren las condiciones geológicas, topográficas e hidrológicas de la zona.

Según el análisis económico presentado, los costos unitarios por metro lineal de revestimiento con el sistema Consolid es de S/40,23 soles, mientras que el revestimiento de concreto tiene un costo de S/96,24 soles por metro. Por otro lado, el costo de las cunetas sin revestir es de S/5,50 soles por metro lineal. Es crucial tener en cuenta la durabilidad de los materiales al evaluar estas opciones. Aunque el revestimiento de concreto se caracteriza por su resistencia a las acciones abrasivas del escurrimiento superficial, el suelo estabilizado puede requerir un mayor gasto de mantenimiento, dado que su capa superficial está más expuesta.



Gráfica N° 23. Comparación de Costos x m de Revestimiento de Cunetas Fuente: Elaboración Propia.

El presente estudio analizó el mejoramiento de la impermeabilidad y el control de la erosión en obras de drenaje superficial en carreteras no pavimentadas mediante la aplicación del Sistema Consolid. A continuación, se interpretan los principales hallazgos en relación con los objetivos planteados y su comparación con la literatura existente.

Interpretación de los resultados

Determinación de propiedades mecánicas del suelo estabilizado

Los resultados indicaron que la aplicación de Consolid C444 y Solidry mejoró significativamente la impermeabilidad y redujo la susceptibilidad a la erosión en las muestras de suelo evaluadas. Estos hallazgos coinciden con la literatura expuesta en la discusión de la tesis, donde se relaciona una disminución en la permeabilidad del suelo tratado con los estabilizadores. Sin embargo, se encontraron variaciones en función de la granulometría del suelo, lo que sugiere que la efectividad del estabilizante depende de las características del suelo base.

Dosificación óptima de aditivos

Los ensayos de ascenso capilar recomendado por el fabricante y el ensayo experimental de pérdida de suelo determinaron que la dosificación óptima de Consolid C444 y Solidry según la composición del suelo resultó con mejores desempeños en el 2% de Solidry. En comparación con literatura relacionada en la discusión, estos resultados respaldan la

necesidad de ajustar la dosificación según las propiedades específicas del suelo, en lugar de aplicar una cantidad estándar.

Análisis comparativo de permeabilidad y erosionabilidad

Los ensayos realizados evidenciaron una reducción significativa en la permeabilidad del suelo tratado, lo que implica una mayor resistencia a la infiltración de agua y, por consiguiente, una menor degradación con el tiempo. En cuanto a la erosionabilidad, la estabilización disminuyó la pérdida de material en comparación con el suelo natural. Sin embargo, persiste cierta variabilidad en la efectividad del tratamiento, influenciada por factores como la pendiente, el tiempo de escurrimiento y la velocidad del flujo de agua.

Evaluación de erosionabilidad en cunetas

Los ensayos en cunetas a escala confirmaron que el suelo estabilizado presenta una menor pérdida de material ante el flujo de agua controlado. Se detectó que el comportamiento del suelo mejorado es más homogéneo, disminuyendo la formación de surcos erosivos. No obstante, algunos estudios reportan que la durabilidad del estabilizante puede verse afectada por la exposición prolongada a altas concentraciones de agua, lo que requiere una evaluación a largo plazo.

Evaluación económica del Sistema Consolid

El análisis de costos demostró que el Sistema Consolid es una alternativa viable en términos de reducción de mantenimiento y mayor vida útil en comparación con sistemas convencionales. Sin embargo, la inversión inicial es superior, lo que podría ser una limitante para su implementación en proyectos de bajo presupuesto. Estos resultados son consistentes con estudios previos que indican que la estabilización química tiene costos iniciales elevados, pero reduce gastos de rehabilitación en el largo plazo.

Propuesta de procedimiento constructivo

Los resultados obtenidos permitieron estructurar una metodología de aplicación eficiente del Sistema Consolid en cunetas de tierra natural. Se recomienda un control estricto en la aplicación y compactación del estabilizante para maximizar su efectividad. La literatura respalda que una adecuada técnica de aplicación mejora la resistencia mecánica y la durabilidad de la estructura tratada.

Limitaciones del estudio

Algunas limitaciones incluyen el tiempo de evaluación del modelo, que impide analizar la degradación del estabilizante a largo plazo, y la falta de pruebas en condiciones climáticas extremas. Adicionalmente, la variabilidad en la granulometría y tipología de los suelos podría influir en la reproducibilidad de los resultados.

Los resultados obtenidos indican que la aplicación del Sistema Consolid mejora la impermeabilidad y reduce la erosionabilidad del suelo en obras de drenaje superficial. La comparación con la literatura existente confirma su viabilidad, aunque se recomienda evaluar su desempeño a largo plazo para consolidar su aplicación en proyectos viales.

Conclusiones

A través de la clasificación SUCS y AASHTO, se determinó que los suelos analizados presentan características granulométricas y de plasticidad distintas, lo que influye directamente en su capacidad de permeabilidad y resistencia a la erosión. La muestra M-1 fue clasificada como una arena pobremente graduada con limo y grava (SP-SM), la muestra M-2 como arena arcillosa (SC) y la muestra M-3 como grava pobremente graduada con limo y arena (GP-GM). Adicionalmente, los valores de permeabilidad in situ indicaron que el suelo SC presenta la mayor permeabilidad natural ($4.40E-03$ cm/seg), mientras que el SP-SM mostró un valor menor ($1.33E-03$ cm/seg), evidenciando la necesidad de mejorar sus características para su uso en obras de drenaje.

Tras realizar diversas pruebas con el estabilizante, se concluyó que la dosificación óptima para mejorar las propiedades mecánicas del suelo es de 0.045% de Consolid C444 y 2% de Solidry. Se evidenció que al incrementar el porcentaje de Solidry, se obtuvo una mayor impermeabilidad del suelo, reduciendo su susceptibilidad a la saturación y mejorando su resistencia.

Los ensayos de ascenso capilar evidenciaron que, sin la aplicación del estabilizante, las muestras de suelo colapsaban en tiempos relativamente cortos, mientras que con su aplicación se logró mantener la estabilidad de las probetas por más de 240 horas, reduciendo significativamente la altura de ascenso capilar y mejorando la impermeabilidad del suelo. Asimismo, los ensayos de permeabilidad mostraron una transformación notable en los suelos estabilizados. La muestra M-1 pasó de ser moderadamente permeable a poco permeable, M-2, que originalmente era muy poco permeable, se volvió prácticamente impermeable, y M-3 redujo su permeabilidad de moderada a baja, consolidando así la efectividad del estabilizante en la mejora de las propiedades del suelo.

La modelación a escala de una cuneta con pendiente del 5 % y flujo de agua constante permitió cuantificar la reducción de la erosión al aplicar el Sistema Consolid. Se observó que la estabilización con este sistema logró disminuir la erosión en un 61.48 % en M-1,

98.68 % en M-2 y 76.51 % en M-3, demostrando su eficacia en la protección del suelo frente a procesos erosivos. Además, la modelación a escala reflejó con precisión el comportamiento del suelo estabilizado, permitiendo simular de manera confiable la resistencia del revestimiento ante condiciones hidráulicas adversas.

El análisis de costos permitió identificar que el Sistema Consolid representa una alternativa económicamente viable frente al revestimiento convencional de concreto. Se determinó que el costo unitario por metro de cuneta estabilizada con el Sistema Consolid es de S/ 40.23, mientras que el costo de una cuneta revestida con concreto asciende a S/ 96.24 por metro, lo que significa una reducción del 58.2 % en costos. Por otro lado, el costo de cunetas sin revestir es de S/ 5.50 por metro, lo que indica que, aunque esta opción es más económica, no garantiza la durabilidad ni el control de erosión necesarios para la infraestructura vial. El uso del Sistema Consolid se presenta, así como una solución intermedia entre el revestimiento en concreto y la opción sin estabilización, combinando costos accesibles con un alto desempeño técnico.

Con base en los resultados obtenidos, se desarrolló un procedimiento constructivo práctico para la aplicación del Sistema Consolid en obras de drenaje. Este procedimiento establece las etapas clave del proceso de estabilización del suelo, junto con consideraciones generales para su correcta aplicación y recomendaciones técnicas para optimizar su desempeño en distintos tipos de suelo. De esta manera, se proporciona una guía clara que facilita la implementación del sistema en proyectos de infraestructura vial con suelos naturales.

Recomendaciones

- Realizar estudios donde se investigue el comportamiento del estabilizador sistema consolid en otros tipos de suelos y evaluar si existen diferencias según sus características.
- Se recomienda realizar investigaciones con nuevos materiales o estabilizantes para revestimiento de obras de drenaje en carreteras no pavimentadas aportando una investigación científica y ecológica.
- Las futuras investigaciones deben elaborar un próximo estudio de estabilización con otras estructuras de obras de drenaje superficial como zanjas de coronación o cunetas rectangulares.
- Se recomienda aplicar el estabilizante Sistema Consolid a regiones secas, poco lluviosas o zonas de baja intensidad de precipitación. Donde la velocidad del flujo de agua no produzca daños por sedimentación ni por erosión, y que no supere los límites establecidos en el Manual de Carreteras no Pavimentadas para Bajo Volumen de Tránsito.
- Se recomienda aplicar el estabilizante a regiones de topografía planas, que no superen el 2% de pendiente longitudinal de la carretera para mejorar la eficacia del Sistema Consolid.
- Se recomienda realizar una exhaustiva clasificación de suelos, es importante conocer el tipo de suelo a tratar, ya que de acuerdo con su correcta distribución granulométrica se podrá determinar la correcta dosificación de materiales a usar para obtener resultados eficientes.
- Se recomienda preparar el suelo, si se requiere realizar una estabilización de una obra de drenaje existente con el estabilizante Sistema Consolid, ya que estas estructuras están constantemente expuestas a humedad y esto podría alterar el comportamiento del producto.

Referencias

- [1] MTC, MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO, Lima, 2008, p. 208.
- [2] M. d. T. y. Comunicaciones, «Portal del MTC,» [En línea]. Available: <https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/vial.html>. [Último acceso: 2023].
- [3] Ministerio de Transportes y Comunicaciones , MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE, Lima, 2011.
- [4] K. J. Casamayor Moreno y R. Ramos del Castillo, «"Evaluación de las alternativas de sistema de drenaje del tramo carretero Tres Cruces - Yuracmarca desde km 19+700 hasta km 22+150, provincia de Huaylas, departamento de Ancash,» Nuevo Chimbote, 2015.
- [5] A. R. F. y. C. E. Silva, «Estudio de Cunetas en Vías Terciarias en Enrocado y con Vegetación (*Stenotaphrum Secundatum*) Mediante un Modelo Físico,» Bogota, 2015.
- [6] E. Pineda, «Evaluacion del Fenomeno de erosion; mediante la construccion de un modelo reducido para suelos arcillosos de la formacion Tilata en la ciudad de Tunja - Sector Pirgua,» Colombia.
- [7] F.-R. María, «Effectiveness of a New Drainage System for Decreasing Erosion in Road Hillslopes,» *Air, Soil and Water*, vol. 14, p. 12, 2021.
- [8] B. Ramirez, «Evaluación del comportamiento del C.B.R.E impermeabilidad de un suelo areno-arcilloso usando el estabilizador químico sistema Consolid,» Lima, 2018.
- [9] K. Laura, «Estabilización de subrasante del suelo natural con adición de polímeros, en camino vecinal Maras - Moray, Cusco, 2021,» Huancayo, Perú., 2022.
- [10] M. M. H. Karen, «ESTUDIO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA FINES DE MEJORAMIENTO APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID EN EL

- TRAMO COMPRENDIDO ENTRE C.P. BATANES Y C.P. SAN PEDRO, PROVINCIA DE MORROPÓN, DEPARTAMENTO DE PIURA,» Piura, Perú, 2022.
- [11] C. & R. R. Sañac, «Sañac, C., & Romero, R.,» Cusco, 2016.
- [12] Y. A. y. J. Alva, «Jorge Alva Hurtado,» 1999. [En línea]. [Último acceso: 2023].
- [13] K. T. y. R. B. Peck, «Mecánica de Suelos,» Ateneo, Barcelona, 1973.
- [14] M. G. y. M. C. S. Angelone, Geología y Geotecnia - Permeabilidad de Suelos, U. N. d. Rosario, Ed., Rosario, 2006.
- [15] J. C. Barreto, «"Control de Erosiones en Obras de Drenaje Transversal de Carreteras Ubicadas en Zonas Andinas",» Lima, 2004.
- [16] y. D. E. E. Potes, Geotecnia para el trópico andino, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Departamento de Matemáticas y Estadística, 2022.
- [17] International Center for Tropical Agriculture, MANUAL DE METODOS SENCILLOS PARA ESTIMAR EROSION HIDRICA, Nicaragua, 2005.
- [18] Ministerio de Transporte y Comunicaciones, MANUAL TÉCNICO DE MANTENIMIENTO RUTINARIO PARA LA RED VIAL DEPARTAMENTAL NO PAVIMENTADA, 2006, p. 62.
- [19] F. Molina, «Comparación de la eficiencia hidráulica en cunetas de secciones triangular, trapezoidal y circular usando proyectos de la Universidad de La Salle,» Bogotá, 2015.
- [20] SISTEMA CONSOLID, «MANUAL DEL PRODUCTO SISTEMA CONSOLID,» 2022.
- [21] Reglamento Nacional de Edificaciones, «CE 020 ESTABILIZACION DE SUELOS Y TALUDES,» Lima, 2018.
- [22] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES,» Lima, 2016.

- [23] D. B. M, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 4ta Edición, Editorial Cengage Learning, 2013.
- [24] F. Sanchez, Hidrología, Dep. Geología, Universidad de Salamanca, 2011.
- [25] A. F. P. y. C. A. V. J. A.Fierro, «Determinación del coeficiente de permeabilidad de las comunas 1,3 y 5 del municipio de Girardout - Cundinamarca,» Facultad de Ingeniería, Colombia, 2017.
- [26] A. 1141.53-1996, «Methods for sampling and testing aggregates, Method 53: Absorption, swell and capillary rise of compacted materials,» 1995.
- [27] S. C. Díaz, Metodología de la Investigación Científica, Lima: San Marcos, 2005, p. 43.
- [28] M. Borja, Metodología de la investigación científica para ingenieros, Chiclayo, 2016.
- [29] E. Pineda, «Evaluacion del Fenomeno de erosion; mediante la construccion de un modelo reducido para suelos arcillosos de la formacion Tilata en la ciudad de Tunja - Sector Pirgua,» Facultad de Ingenieria Civil, Colombia, 2015.
- [30] Ministerio de Transporte y Comunicaciones, MANUAL DE CARRETERAS SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS, Lima, 2014.
- [31] I. M. Romero Villajuan, «ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ADITIVOS QUÍMICOS PARA DISMINUIR LA,» Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, 2022.
- [32] K. T. y. R. B. Peck, «Mecánica de Suelos,» Ateneo, 1973.

Anexos



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° **LEM USAT 001-2024-I**

FECHA: **24 de Mayo 2024**

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Sergio Fernando Leyva Mateos

TITULO DE LA TESIS: Mejoramiento de la impermeabilidad y control de erosión de obras de drenaje superficial en carreteras no pavimentadas aplicando el sistema consolid.

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Contenido de humedad
- Granulometría
- Limite Liquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad
- Gravedad Especifica
- Ensayo de Proctor Modificado
- Permeabilidad de Carga constante
- Permeabilidad de Carga Variable
- Ensayo de Absorción, expansión y ascensión capilar de materiales compactados

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab. Ing. Civil Ambiental



ANEXO N°01

Ensayo de Mecánica de Suelos

Ensayo de Granulometría M-1



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



Tesista : Leyva Mateos Sergio Fernando
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN, EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN
 Lugar : Dist. Jaén, Prov. Jaén, Reg. Cajamarca.
 Fecha de emisión : 2023, Chiclayo

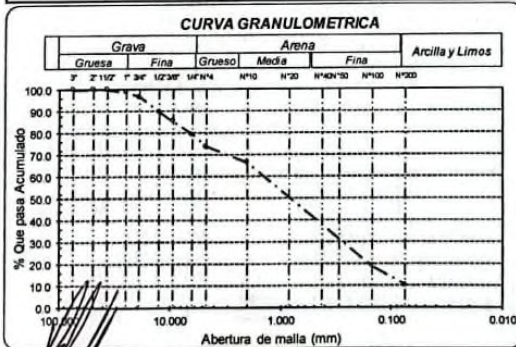
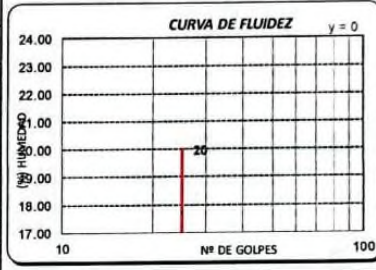
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Calicata: C-01 Muestra: M-1 Profundidad: 0.50m. - 0.70m.

| Análisis Granulométrico por tamizado | | | |
|--------------------------------------|---------------|--------------|----------|
| N° Tamiz | Abertura (mm) | % Acumulados | |
| | | Retenido | Que pasa |
| 3" | 75.000 | 0.0 | 100.0 |
| 2" | 50.000 | 0.0 | 100.0 |
| 1 1/2" | 37.500 | 0.0 | 100.0 |
| 1" | 25.000 | 1.4 | 98.6 |
| 3/4" | 19.000 | 3.3 | 96.7 |
| 1/2" | 12.500 | 10.4 | 89.6 |
| 3/8" | 9.500 | 14.6 | 85.4 |
| 1/4" | 6.300 | 20.7 | 79.3 |
| N° 4 | 4.750 | 26.1 | 73.9 |
| N° 10 | 2.000 | 33.7 | 66.3 |
| N° 20 | 0.850 | 42.6 | 57.4 |
| N° 50 | 0.300 | 67.6 | 32.4 |
| N° 100 | 0.150 | 80.9 | 19.1 |
| N° 200 | 0.075 | 89.8 | 10.2 |

| Distribución granulométrica | | | |
|-----------------------------|------------------|-------|------|
| % Grava | G.G. % | 3.3 | 26.1 |
| | G.F. % | 22.8 | |
| | A.G. % | 7.6 | |
| % Arena | A.M. % | 22.8 | 63.7 |
| | A.F. % | 33.3 | |
| | % Arcilla y Limo | 10.2 | |
| Total | | 100.0 | |

| Ensayo de Límite de Atterberg | |
|--|-----------|
| Límite líquido (LL) | 0.00 (%) |
| Límite Plástico (LP) | 0.00 (%) |
| Índice Plástico (IP) | 0.00 (%) |
| Clasificación (S.U.C.S.) | SP-SM |
| Descripción del suelo | |
| Arena pobremente graduada con limo y grava | |
| Clasificación (AASHTO) | A-1-b (0) |
| Descripción | |
| BUENO | |



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



ANEXO N° 01.02

Ensayo de Granulometría M-2



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



Tesista : Leyva Mateos Sergio Fernando
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN, EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
 Lugar : Dist. Jaén, Prov. Jaén, Reg. Cajamarca.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 2023

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Calicata: C-02

Muestra:

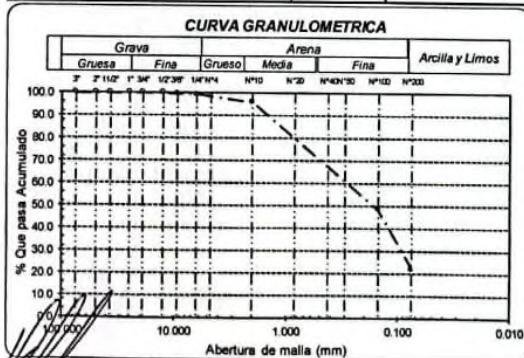
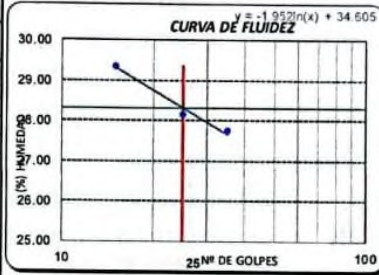
Profundidad: 0.50m. - 0.70m.

| Análisis Granulométrico por tamizado | | | |
|--------------------------------------|---------------|--------------|----------|
| N° Tamiz | Abertura (mm) | % Acumulados | |
| | | Retenido | Que pasa |
| 3" | 75.000 | 0.0 | 100.0 |
| 2" | 50.000 | 0.0 | 100.0 |
| 1 1/2" | 37.500 | 0.0 | 100.0 |
| 1" | 25.000 | 0.0 | 100.0 |
| 3/4" | 19.000 | 0.0 | 100.0 |
| 1/2" | 12.500 | 0.0 | 100.0 |
| 3/8" | 9.500 | 0.3 | 99.7 |
| 1/4" | 6.300 | 0.6 | 99.4 |
| N° 4 | 4.750 | 1.4 | 98.6 |
| N° 10 | 2.000 | 4.1 | 95.9 |
| N° 20 | 0.850 | 6.2 | 91.8 |
| N° 50 | 0.300 | 33.0 | 67.0 |
| N° 100 | 0.150 | 51.3 | 48.7 |
| N° 200 | 0.075 | 78.1 | 21.9 |

| Distribución granulométrica | | | |
|-----------------------------|--------|-------|------|
| % Grava | G.G. % | 0.0 | |
| | G. F % | 1.4 | 1.4 |
| | A.G % | 2.7 | |
| % Arena | A.M % | 20.0 | |
| | A.F % | 54.0 | 76.7 |
| % Arcilla y Limo | | 21.9 | 21.9 |
| Tota | | 100.0 | |

| Contenido de Humedad | |
|----------------------|------|
| | 15.7 |

| Ensayo de Límite de Atterberg | |
|-------------------------------|-----------------|
| Límite líquido (LL) | 28.32 (%) |
| Límite Plástico (LP) | 19.54 (%) |
| Índice Plástico (IP) | 8.78 (%) |
| Clasificación (S.U.C.S.) | SC |
| Descripción del suelo | Arena arcillosa |
| Clasificación (AASHTO) | A-2-4 (0) |
| Descripción | BUENO |



Henry Rivadeneyra Obtús
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ESTRUCTURAS METÁLICAS
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Ensayo de Granulometría M-3



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

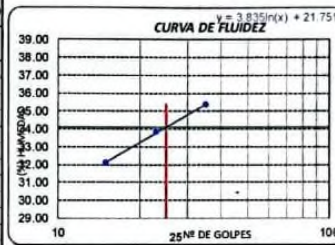


Tesista : Leyva Mateos Sergio Fernando
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN, EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN
 Lugar : Dist. Jaén, Prov. Jaén, Reg. Cajamarca.
 Fecha de emisión : Chivilayo, 2023

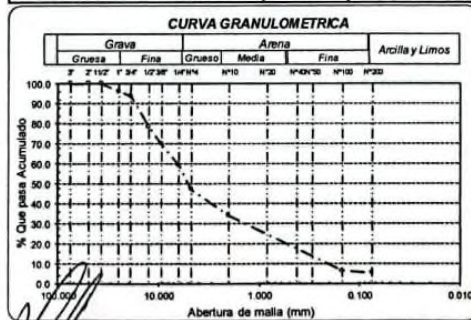
ENSAYO : SUELO Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399 128 : 1999
 : N.T.P. 399 131
 : N.T.P. 399 127: 1998

Calicata: C-01 Muestra: Profundidad: 0.10m. - 1.00m.

| N° Tamiz | Abertura (mm) | % Acumulados | |
|----------|---------------|--------------|----------|
| | | Retenido | Que pasa |
| 3" | 75 000 | 0.0 | 100.0 |
| 2" | 50 000 | 0.0 | 100.0 |
| 1 1/2" | 37 500 | 0.0 | 100.0 |
| 1" | 25 000 | 3.8 | 96.2 |
| 3/4" | 19 000 | 6.4 | 93.6 |
| 1/2" | 12 500 | 21.6 | 78.2 |
| 3/8" | 9 500 | 30.1 | 69.9 |
| 1/4" | 6 300 | 40.9 | 59.1 |
| N° 4 | 4 750 | 52.8 | 47.2 |
| N° 10 | 2 000 | 66.0 | 34.0 |
| N° 20 | 0 850 | 76.7 | 23.3 |
| N° 50 | 0 300 | 87.8 | 12.2 |
| N° 100 | 0 150 | 93.4 | 6.6 |
| N° 200 | 0 075 | 94.7 | 5.3 |



| Distribución granulométrica | | | Ensayo de Limite de Atterberg | |
|-----------------------------|--------|-------|-------------------------------|--|
| % Grava | G.G. % | 6.4 | Límite líquido (LL) | 34.09 (%) |
| | G.F. % | 46.4 | Límite Plástico (LP) | 25.70 (%) |
| | A.G. % | 13.2 | Índice Plástico (IP) | 8.39 (%) |
| % Arena | A.M. % | 18.6 | Clasificación (S.U.C.S.) | GP-GM |
| | A.F. % | 10.1 | Descripción del suelo | Grava pobremente graduada con limo y arena |
| % Arcilla y Limo | | 5.3 | Clasificación (AASHTO) | A-2-4 (0) |
| Total | | 100.0 | Descripción | BUENO |
| Contenido de Humedad | | | 4.4 | |



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 LABORATORIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y ENSAYOS DE SUELOS

 TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.04

Ensayo de Proctor Modificado M-1



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



INFORME DE ENSAYO N° 3759

(Pág. 01 de 01)

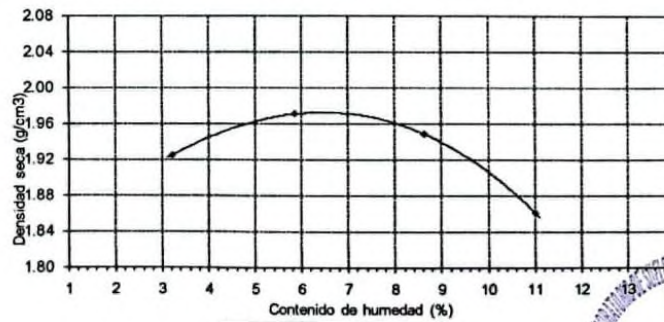
Tesista : Leyva Mateos Sergio Fernando
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN, EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
Lugar : Dist. Jaén, Prov. Jaén, Reg. Cajamarca.
Fecha de emisión : 2023, Chiclayo

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-mm³ (56000 pie-lb/pe³))
REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Cantera : Material Propio Muestra M-1 Terreno Natural

| | | | | | |
|---|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| 1.- Peso de la muestra compactada + molde | (g) | 5748 | 5842 | 5871 | 5823 |
| 2.- Peso del molde | (g) | 3873 | 3873 | 3873 | 3873 |
| 3.- Volumen del molde | (cm ³) | 944 | 944 | 944 | 944 |
| 4.- Densidad húmeda | (g/cm ³) | 1.986 | 2.086 | 2.117 | 2.066 |
| 5.- N° de la tara | | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 6.- Peso de la tara + suelo húmedo | (g) | 147.1 | 153.8 | 158.5 | 164.9 |
| 7.- Peso de la tara + suelo seco | (g) | 143.4 | 146.7 | 148.1 | 151.2 |
| 8.- Peso del agua | (g) | 3.7 | 7.1 | 10.4 | 13.7 |
| 9.- Peso de la tara | (g) | 28.1 | 25.4 | 27.6 | 28.8 |
| 10.- Peso de suelo seco | (g) | 115.3 | 121.3 | 120.5 | 124.4 |
| 11.- Contenido de humedad | (%) | 3.21 | 5.85 | 8.63 | 11.01 |
| 12.- Densidad seca | (g/cm ³) | 1.924 | 1.970 | 1.948 | 1.861 |

| | | |
|-----------------------------|-------|-------------------|
| Máxima Densidad Seca | 1.974 | g/cm ³ |
| Óptimo Contenido de Humedad | 6.5 | % |



Método :

- OBSERVACIONES :
- Muestra identificada por el solicitante.
 - El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry Rivas Obitos
Tec. Laboratorio
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



ANEXO N° 01.05

Ensayo de Proctor Modificado M-1 +0.045% C444 + 2% Solidry



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



INFORME DE ENSAYO N°

(Pág. 01 de 01)

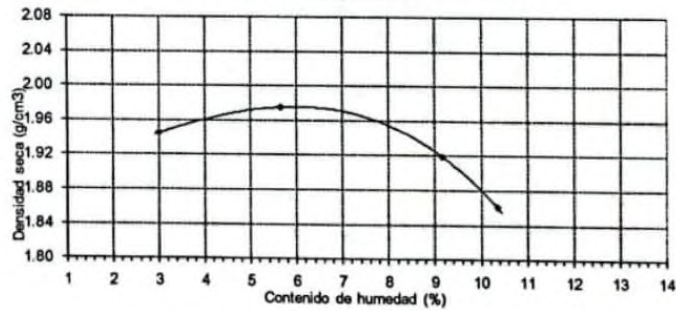
Tesista : Leyva Mateos Sergio Fernando
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN, EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
Lugar : Dist. Jaén, Prov. Jaén, Reg. Cajamarca.
Fecha de emisión : 2023, Chidayo

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-mm³ (56000 pie-lb/pe³))
REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D- 1557

Cantera : Material Propio Muestra M-1 + 0.045% C444 + 2% Solidry

| | | | | | |
|---|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| 1 - Peso de la muestra compactada + molde | (g) | 6065 | 6144 | 6152 | 6113 |
| 2 - Peso del molde | (g) | 4174 | 4174 | 4174 | 4174 |
| 3 - Volumen del molde | (cm ³) | 944 | 944 | 944 | 944 |
| 4 - Densidad húmeda | (g/cm ³) | 2.003 | 2.087 | 2.095 | 2.054 |
| 5 - N° de la tara | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 6 - Peso de la tara + suelo húmedo | (g) | 151.1 | 155.4 | 161.3 | 166.8 |
| 7 - Peso de la tara + suelo seco | (g) | 147.5 | 148.7 | 150.2 | 153.8 |
| 8 - Peso del agua | (g) | 3.6 | 6.7 | 11.1 | 13 |
| 9 - Peso de la tara | (g) | 27.5 | 30.1 | 28.9 | 28.2 |
| 10 - Peso de suelo seco | (g) | 120 | 118.6 | 121.3 | 125.6 |
| 11 - Contenido de humedad | (%) | 3.00 | 5.65 | 9.15 | 10.35 |
| 12 - Densidad seca | (g/cm ³) | 1.945 | 1.975 | 1.920 | 1.861 |

| | | |
|-----------------------------|-------|-------------------|
| Máxima Densidad Seca | 1.977 | g/cm ³ |
| Óptimo Contenido de Humedad | 6.1 | % |



Método :

OBSERVACIONES :

- Muestra identificada por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santa Toribio de Mogrovejo

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CIENOS DE MATERIAS
USAT
TECNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.06

Ensayo de Proctor Modificado M-2



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



INFORME DE ENSAYO N°

(Pág. 01 de 01)

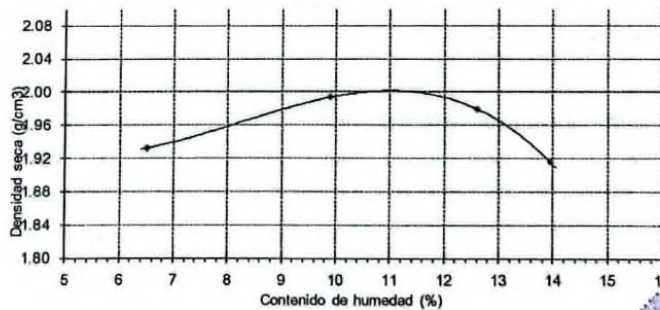
Tesista : Leyva Matos Sergio Fernando
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN, EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
Lugar : Dist. Jaén, Prov. Jaén, Reg. Cajamarca.
Fecha de emisión : 2023, Chiclayo

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m² (56000 pie-lb/ft²))
REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D- 1557

Cantera : Material Propio Muestra M-2 Terreno Natural

| | | | | | |
|---|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| 1.- Peso de la muestra compactada + molde | (g) | 5763 | 5888 | 5924 | 5881 |
| 2.- Peso del molde | (g) | 3820 | 3820 | 3820 | 3820 |
| 3.- Volumen del molde | (cm ³) | 944 | 944 | 944 | 944 |
| 4.- Densidad húmeda | (g/cm ³) | 2.058 | 2.191 | 2.229 | 2.183 |
| 5.- N° de la tara | | SL-4 | SL-3 | SL-1 | SL-2 |
| 6.- Peso de la tara + suelo húmedo | (g) | 150.15 | 161.2 | 172.3 | 184.32 |
| 7.- Peso de la tara + suelo seco | (g) | 142.68 | 149.25 | 156.94 | 165.21 |
| 8.- Peso del agua | (g) | 7.47 | 11.95 | 15.36 | 19.11 |
| 9.- Peso de la tara | (g) | 27.86 | 28.53 | 35.08 | 28.18 |
| 10.- Peso de suelo seco | (g) | 114.82 | 120.72 | 121.66 | 137.03 |
| 11.- Contenido de humedad | (%) | 6.51 | 9.90 | 12.60 | 13.95 |
| 12.- Densidad seca | (g/cm ³) | 1.933 | 1.993 | 1.979 | 1.916 |

| | | |
|-----------------------------|-------|-------------------|
| Máxima Densidad Seca | 2.003 | g/cm ³ |
| Óptimo Contenido de Humedad | 11.0 | % |



Método : "A"

OBSEVACIONES :

- Muestra identificada por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio.

[Firma]
Heidi Rivas Obilias
Téc. Laboratorio
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



ANEXO N° 01.07

Ensayo de Proctor Modificado M-2 +0.045% C444 + 2% Solidry



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



INFORME DE ENSAYO N°

(Pág. 01 de 01)

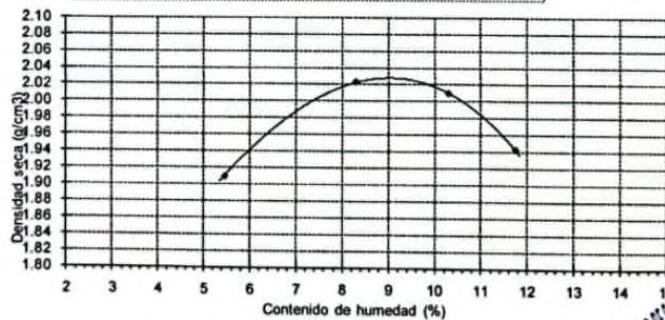
Tesista : Leyva Mateos Sergio Fernando
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN, EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
Lugar : Dist. Jaén, Prov. Jaén, Reg. Cajamarca
Fecha de emisión : 2023, Chiclayo

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN·m/m³ (56000 pie·lb/pie³))
REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Cantera : Material Propio Muestra : Terreno Natural + 2% Solidry + 0.045% C444

| | | | | | |
|---|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| 1 - Peso de la muestra compactada + molde | (g) | 5721 | 5879 | 5913 | 5869 |
| 2 - Peso del molde | (g) | 3820 | 3820 | 3820 | 3820 |
| 3 - Volumen del molde | (cm ³) | 944 | 944 | 944 | 944 |
| 4 - Densidad húmeda | (g/cm ³) | 2.014 | 2.181 | 2.217 | 2.171 |
| 5 - N° de la tara | | T-1 | T-2 | T-3 | T-4 |
| 6 - Peso de la tara + suelo húmedo | (g) | 245.1 | 231.2 | 230.5 | 229.9 |
| 7 - Peso de la tara + suelo seco | (g) | 234.4 | 216.9 | 212.6 | 209.8 |
| 8 - Peso del agua | (g) | 10.7 | 14.3 | 17.9 | 20.1 |
| 9 - Peso de la tara | (g) | 38.1 | 39.8 | 39.1 | 38.8 |
| 10 - Peso de suelo seco | (g) | 196.3 | 177.1 | 173.5 | 171 |
| 11 - Contenido de humedad | (%) | 5.45 | 8.07 | 10.32 | 11.75 |
| 12 - Densidad seca | (g/cm ³) | 1.910 | 2.018 | 2.010 | 1.942 |

| | | |
|-----------------------------|-------|-------------------|
| Máxima Densidad Seca | 2.030 | g/cm ³ |
| Óptimo Contenido de Humedad | 9.0 | % |



Método : "A"

OBSERVACIONES :
- Muestra identificada por el laboratorio.
- El presente documento no podrá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry Rivas Obispo
Téc. Laboratorio
USAT
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.08

Ensayo de Proctor Modificado M-3



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



INFORME DE ENSAYO N°

(Pág. 01 de 01)

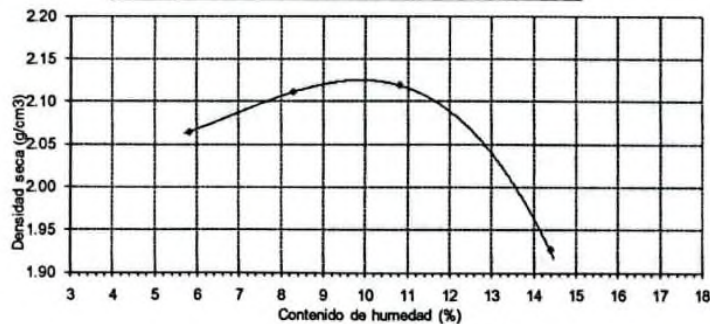
Tesista : Laya Matos Sergio Fernando
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN, EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
Lugar : Dist. Jaén, Prov. Jaén, Reg. Cajamarca.
Fecha de emisión : 2023, Chiclayo

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lb/peo³))
REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D- 1557

Cantera : Material Propio Muestra M-3 Terreno Natural

| | | | | | |
|---|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| 1.- Peso de la muestra compactada + molde | (g) | 5944 | 6040 | 6098 | 5963 |
| 2.- Peso del molde | (g) | 3882 | 3882 | 3882 | 3882 |
| 3.- Volumen del molde | (cm ³) | 944 | 944 | 944 | 944 |
| 4.- Densidad húmeda | (g/cm ³) | 2.184 | 2.286 | 2.347 | 2.204 |
| 5.- N° de la tara | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 6.- Peso de la tara + suelo húmedo | (g) | 141.73 | 153.27 | 165.79 | 177.21 |
| 7.- Peso de la tara + suelo seco | (g) | 135.48 | 143.67 | 152.41 | 157.97 |
| 8.- Peso del agua | (g) | 6.25 | 9.6 | 13.38 | 19.24 |
| 9.- Peso de la tara | (g) | 27.9 | 27.83 | 28.38 | 24.1 |
| 10.- Peso de suelo seco | (g) | 107.58 | 115.84 | 124.03 | 133.87 |
| 11.- Contenido de humedad | (%) | 5.81 | 8.29 | 10.79 | 14.37 |
| 12.- Densidad seca | (g/cm ³) | 2.064 | 2.111 | 2.119 | 1.927 |

| | | |
|-----------------------------|-------|-------------------|
| Máxima Densidad Seca | 2.135 | g/cm ³ |
| Óptimo Contenido de Humedad | 9.5 | % |



Método : "A"

OBSERVACIONES :

- Muestra identificada por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry Rivadeneira Obltas
Tec Laboratorio USAT



ANEXO N° 01.09

Ensayo de Proctor Modificado M-3 +0.045% C444 + 2% Solidry



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



INFORME DE ENSAYO N°

(Pág. 01 de 01)

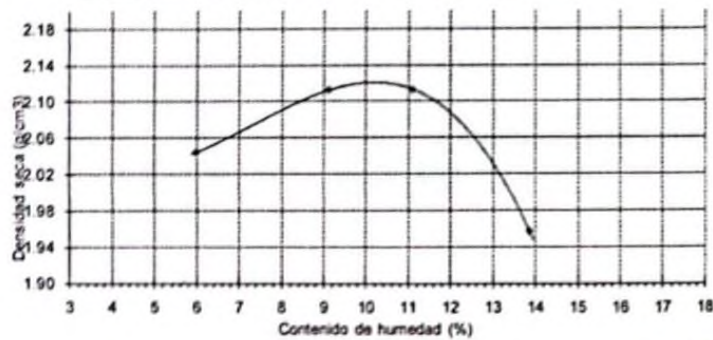
Tesista: Leyva Méltos Sergio Fernando
Escuela: Ingeniería Civil Ambiental
Tesis: MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
Lugar: Dist. Jaén, Prov. Jaén, Reg. Cajamarca
Fecha de emisión: 2023, Chiclayo

ENSAYO: SUELOS Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-mm (56000 lb-ft/pe?))
REFERENCIA: NTP 339 141 ASTM D- 1557

Cantera: Muestra: M-3 Terreno natural + 0.045 C444 + 2% de Solidry

| | | | | | |
|---|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| 1 - Peso de la muestra compactada + molde | (g) | 5927 | 6058 | 6105 | 5986 |
| 2 - Peso del molde | (g) | 3882 | 3882 | 3882 | 3882 |
| 3 - Volumen del molde | (cm ³) | 944 | 944 | 944 | 944 |
| 4 - Densidad húmeda | (g/cm ³) | 2.168 | 2.305 | 2.355 | 2.229 |
| 5 - Nº de la tara | | t1 | t2 | t5 | t3 |
| 6 - Peso de la tara + suelo húmedo | (g) | 138.43 | 145.27 | 155.79 | 160.2 |
| 7 - Peso de la tara + suelo seco | (g) | 132.2 | 135.45 | 143.06 | 144.15 |
| 8 - Peso del agua | (g) | 6.23 | 9.82 | 12.73 | 16.05 |
| 9 - Peso de la tara | (g) | 27.96 | 28.42 | 29.42 | 27.53 |
| 10 - Peso de suelo seco | (g) | 104.24 | 107.03 | 113.64 | 116.62 |
| 11 - Contenido de humedad | (%) | 5.98 | 9.17 | 11.20 | 13.76 |
| 12 - Densidad seca | (g/cm ³) | 2.044 | 2.111 | 2.118 | 1.959 |

| | | |
|-----------------------------|-------|-------------------|
| Máxima Densidad Seca | 2.120 | g/cm ³ |
| Óptimo Contenido de Humedad | 10.1 | % |



Método:

OBSERVACIONES:
- Muestra identificada por el laboratorio.
- El presente documento no se puede reproducir sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry
Presidente
Obispo
Téc. Laboratorio
USAT

USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.10

Ensayo de Permeabilidad de Carga Constante M-1 sin adiciones.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



Tesis: Mejoramiento de la Impermeabilidad y Control de Erosión en Obras de Drenaje Superficial para Carreteras No Pavimentadas, aplicando el Sistema Consolid

Autor(es): Sergio Fernando Leyva Mateos

Ensayo SUELOS Método de ensayo de permeabilidad de suelos granulares (carga constante)

Referencia Norma NTP 339.147:2000

Calicata: M-1 **Muestra:** **Profundidad:** 0.50 cm

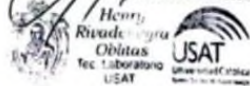
| Datos de la Muestra | | | |
|---------------------|---------|----------|------------------------|
| Diametro | 15.3 cm | Área | 183.85 cm ² |
| Altura | 10.9 cm | Volumen: | 2004 cm ³ |
| Peso | 4250 g | Densidad | g/cm ³ |

| Datos del Ensayo | | |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Altura de la Cabeza Variable (h) | | 20.3 cm |
| t (segundos) | Q (cm ³) | K(T _x)= |
| 25.6 | 71 | 0.0081 |
| 24.8 | 70 | 0.0082 |
| 26.3 | 71 | 0.0079 |

$$K(T_x) = \frac{Q \times L}{A \times h \times t}$$

K(T_x)= 8.076E-03 cm/seg

Descripción
Moderadamente permeable



ANEXO N° 01.11

Ensayo de Permeabilidad de Carga Constante M-1 con adiciones.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



Tesis: Mejoramiento de la Impermeabilidad y Control de Erosión en Obras de Drenaje Superficial para Carreteras No Pavimentadas, aplicando el Sistema Consolid

Autor(es): Sergio Fernando Leyva Mateos

Ensayo SUELOS Método de ensayo de permeabilidad de suelos granulares (carga constante)

Referencia Norma NTP 339.147:2000

Profundidad: 0.50 cm

Calicata: M-1 **Muestra:** M-1 + 0.045% C444 + 2 % Solidry

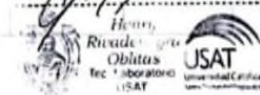
| Datos de la Muestra | | | |
|---------------------|---------|----------|------------------------|
| Diametro | 15.3 cm | Área | 183.85 cm ² |
| Altura | 10.9 cm | Volumen: | 2004 cm ³ |
| Peso | 4278 g | Densidad | g/cm ³ |

| Datos del Ensayo | | |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Altura de la Cabeza Variable (h) | | 63 cm |
| t (segundos) | Q (cm ³) | K(T _x)= |
| 131.3 | 70 | 0.0005 |
| 133.8 | 71 | 0.0005 |
| 135.6 | 70 | 0.0005 |

$$K(T_x) = \frac{Q \times L}{A \times h \times t}$$

K(T_x)prom= 4.96E-04 cm/seg

Observaciones: Poco Permeable



ANEXO N° 01.12

Ensayo de Permeabilidad de Carga Variable M-2 sin adiciones.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



PERMEABILIDAD DEL SUELO
(AASHTO T125-256)

PROYECTO: Mejoramiento de la Impermeabilidad y Control de Erosión en Obras de Drenaje Superficial para Carreteras No Pavimentadas, aplicando el Sistema
UBICACIÓN: Tramo de la Carretera Jaén – Las Pirlas, Sector el Arenal, ubicada en el km 2+400, lado izquierdo
MATERIAL: Suelo tipo SC
MUESTRA: M-2
SOLICITANTE: Sergio Fernando Leyva Mateos

$$K = \frac{a \cdot L + Ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)}{A \cdot t}$$

$$fc = \frac{\gamma_t}{\gamma_{20}}$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad (cm/seg)
a: Área de la sección de la bureta (cm²)
L: Altura de muestra del suelo (cm)
A: Área de la sección de la muestra ensayada (cm²)
T: Tiempo del ensayo (seg)
h1: Altura de agua al comienzo del ensayo (cm)
h2: Altura de agua al finalizar el ensayo (cm)
Ln: Logaritmo natural
fc: Factor de corrección de temperatura (fc)
Yt: Viscosidad del agua a la temperatura de la muestra.
Y20: Viscosidad del agua a 20°C

| MUESTRA | T(seg) | h1(cm) | h2(cm) | a(cm ²) | L(cm) | A(cm ²) | fc | K20(cm/seg) |
|--------------|--------|--------|--------|---------------------|-------|---------------------|------|--------------------|
| M-02 | 1200 | 70 | 65.4 | 0.385 | 20.5 | 70.88 | 0.95 | 6.01E-06 |
| M-02 | 1200 | 65.4 | 63.7 | 0.385 | 20.5 | 70.88 | 0.95 | 2.33E-06 |
| M-02 | 1200 | 63.7 | 60.4 | 0.385 | 20.5 | 70.88 | 0.95 | 4.70E-06 |
| Promedio | | | | | | | | 4.35E-06 |
| Descripción: | | | | | | | | MUY POCO PERMEABLE |

Hernán Rivadeneyra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

USAT
LABORATORIO DE PERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSIÓN
FÍSICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.13

Ensayo de Permeabilidad de Carga Variable M-2 con adiciones.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



PERMEABILIDAD DEL SUELO
(AASHTO T125-256)

PROYECTO: Mejoramiento de la Impermeabilidad y Control de Erosión en Obras de Drenaje Superficial para Carreteras No Pavimentadas, aplicando el Sistema Consolidado de la Carretera Jaén – Las Pirias, Sector el Arenal, ubicada en el km 2+400, lado izquierdo

UBICACIÓN: tramo de la Carretera Jaén – Las Pirias, Sector el Arenal, ubicada en el km 2+400, lado izquierdo

MATERIAL: Suelo tipo SC

MUESTRA: M-2 + 0.045% C444 + 2% Solidry

SOLICITANTE: Sergio Fernando Leyva Mateos

$$K = \frac{\alpha \cdot L \cdot \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}{A \cdot t}$$

$$f_c = \frac{\gamma_t}{\gamma_{20}}$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad (cm/seg)

a: Área de la sección de la bureta (cm²)

L: Altura de muestra del suelo (cm)

A: Área de la sección de la muestra ensayada (cm²)

T: Tiempo del ensayo (seg)

h1: Altura de agua al comienzo del ensayo (cm)

h2: Altura de agua al finalizar el ensayo (cm)

Ln: Logaritmo natural

f_c: Factor de corrección de temperatura (f_c)

Y_t: Viscosidad del agua a la temperatura de la muestra.

Y₂₀: Viscosidad del agua a 20°C

| MUESTRA | T(seg) | h1(cm) | h2(cm) | a(cm ²) | L(cm) | A(cm ²) | f _c | K20 (cm/seg) |
|--------------|--------|--------|--------|---------------------|-------|---------------------|----------------|--------------|
| M-02 | 1200 | 70 | 69.8 | 0.385 | 20.5 | 70.88 | 0.95 | 2.53E-07 |
| M-02 | 1200 | 69.8 | 69.7 | 0.385 | 20.5 | 70.88 | 0.95 | 1.27E-07 |
| M-02 | 1200 | 69.7 | 69.5 | 0.385 | 20.5 | 70.88 | 0.95 | 2.54E-07 |
| Promedio | | | | | | | | 2.11E-07 |
| Descripción: | | | | | | | | IMPERMEABLE |

[Firma]
Héctor
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.14

Ensayo de Permeabilidad de Carga Constante M-3 sin adiciones.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



Tesis: Mejoramiento de la Impermeabilidad y Control de Erosión en Obras de Drenaje Superficial para Carreteras No Pavimentadas, aplicando el Sistema Consolid

Autor(es): Sergio Fernando Leyva Mateos

Ensayo SUELOS Método de ensayo de permeabilidad de suelos granulares (carga constante)

Referencia Norma NTP 339.147:2000

Calicata: Muestra: M-3 Profundidad: 0.50 cm

| Datos de la Muestra | | | |
|---------------------|---------|----------|------------------------|
| Diametro | 15.3 cm | Área | 183.85 cm ² |
| Altura | 10.9 cm | Volumen: | 2004 cm ³ |
| Peso | 4372 g | Densidad | g/cm ³ |

| Datos del Ensayo | | |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Altura de la Cabeza Variable (h) | | 21 cm |
| t (segundos) | Q (cm ³) | K(T _x)= |
| 27 | 100 | 1.05E-02 |
| 27.6 | 100 | 1.02E-02 |
| 26.4 | 100 | 1.07E-02 |

$$K(T_x) = \frac{QxL}{Axhxt}$$

K(T_x)= 1.05E-02 cm/seg

Descripción Moderadamente permeable

Henry
Rivader
Oblitas
Tec Laboratorio
USAT



FACILICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.15

Ensayo de Permeabilidad de Carga Constans



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



Tesis: Mejoramiento de la Impermeabilidad y Control de Erosión en Obras de Drenaje Superficial para Carreteras No Pavimentadas, aplicando el Sistema Consolid

Autor(es): Sergio Fernando Leyva Mateos

Ensayo SUELOS Método de ensayo de permeabilidad de suelos granulares (carga constante)

Referencia Norma NTP 339.147:2000

Profundidad: 0.50 cm

Calicata: Muestra: M-3 + 0.045% C444 + 2 % Solidry

| Datos de la Muestra | | | |
|---------------------|---------|----------|------------------------|
| Díametro | 15.3 cm | Área | 183.85 cm ² |
| Altura | 10.9 cm | Volumen: | 2004 cm ³ |
| Peso | 4361 g | Densidad | g/cm ³ |

| Datos del Ensayo | | |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Altura de la Cabeza Variable (h) | 62 cm | |
| t (segundos) | Q (cm ³) | K(T _x)= |
| 215.6 | 100 | 4.44E-04 |
| 217 | 100 | 4.41E-04 |
| 228.2 | 100 | 4.19E-04 |

$$K(T_x) = \frac{Q \times L}{A \times h \times t}$$

K(T_x)prom= 4.3E-04 cm/seg

Observaciones: Poco Permeable

Henry Rivas Obitas
Tec. Laboratorio
USAT

USAT
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

ANEXO N° 01.16

Ensayo de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar de Materiales Compactados M-1



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



Tesista: Sergio Fernando Leyva Mateos
 Tesis: MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSION EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
 Ubicación: Jaén - Cajamarca
 Fecha: 20/06/2023
 Muestra: M-1

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 134633-1996 - TEST METHOD Q1250

Desflocación: %
 Consolid 444: %
 Solidry: %

a) Datos del Especimen antes del ensayo

Altura inicial (mm): 199
 Diametro inicial (mm): 99.3
 Peso Después de Secado a 50°C (g): 3657.9
 Densidad Seca (g/cm³): 1.977
 Humedad de Compactación (%): 6.5

b) Datos del Especimen después del Ensayo:

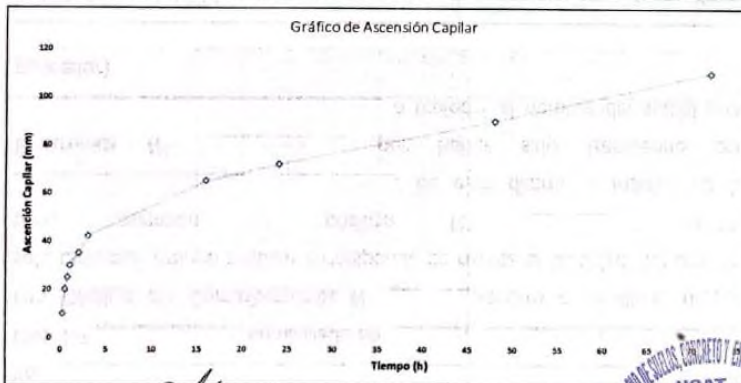
Altura del Ascenso Capilar Final (mm): 450
 Diametro Final (mm): 99.8
 Peso después de colocado en agua (g): 3692.8
 Peso seco al horno a 110°C (g): 3587

c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%): 0.97
 Expansión: 1.01

c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

| Tiempo (h) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 2 | 3 | 16 | 24 | 48 | 72 |
|------------------------|------|-----|------|----|----|----|----|----|----|-----|
| Ascensión Capilar (mm) | 10 | 20 | 25 | 30 | 35 | 42 | 65 | 72 | 90 | 110 |



Observaciones: El espécimen se remedió con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
 El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Elaborado por:
 Revisado por:

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 Universidad Católica Santa Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.17

Ensayo de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar de Materiales Compactados M-2



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL**



Tesista: Sergio Fernando Leyva Meteos
Tesis: MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSION EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
Ubicación: Jaén - Cajamarca
Fecha: 20/06/2023
Muestra: M-2

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS
AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación
Consolid 444 %
Solidry: %

a) Datos del Espécimen antes del ensayo

Altura inicial (mm): 200
Diámetro inicial (mm): 98.1
Peso Después de Secado a 50°C (g): 3384.2
Densidad Seca (g/cm³): 2.04
Humedad de Compactación (%): 11

b) Datos del Espécimen después del Ensayo:

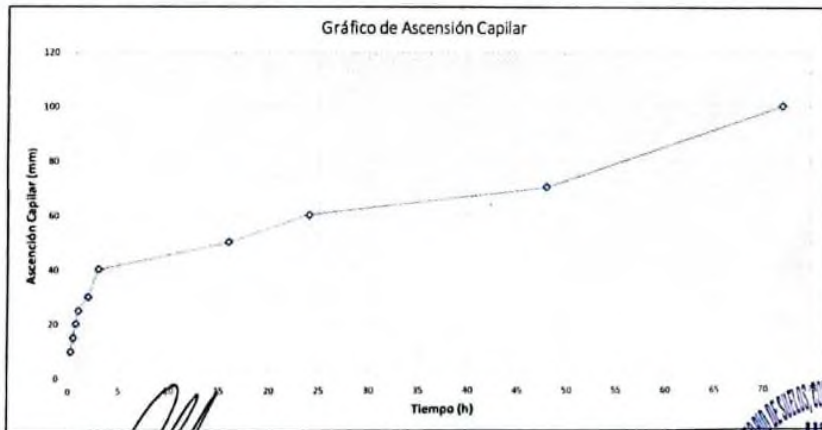
Altura del Ascenso Capilar Final (mm) 120
Diámetro Final (mm) 99.3
Peso después de colocado en agua (g) 3461.2
Peso seco al horno a 110°C (g) 3433.2

c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%): 2.24
Expansión: 2.46

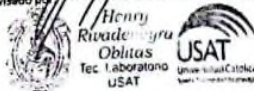
c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

| Tiempo (h) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 2 | 3 | 15 | 24 | 48 | 72 |
|------------------------|------|-----|------|----|----|----|----|----|----|-----|
| Ascensión Capilar (mm) | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 100 |



Observaciones: El espécimen se moldeó con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Precotr Modificado. El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Elaborado por: *[Signature]*
Revisado por: *[Signature]*
Henry Rivadeneira Obitas
Tec. Laboratorio USAT



USAT
LABORATORIO DE ENGENHARIA CIVIL AMBIENTAL
[Signature]
TECNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.18

Ensayo de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar de Materiales Compactados M-3



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL**



Tesis: Sergio Fernando Leyva Mateos
Tesis: MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSION EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
Ubicación: Jaén - Cajamarca
Fecha: 20/06/2023
Muestra: M-3
ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 114L53-1996 - TEST METHOD QL250

Desificación
 Consolida C44 %
 Solidry: %

a) Datos del Espécimen antes del ensayo

Altura inicial (mm): 199
 Diametro inicial (mm): 98.9
 Peso Despues de Secado a 50°C (g): 3742.3
 Densidad Seca (g/cm³): 2.135
 Humedad de Compactación (%): 9.5

b) Datos del Espécimen después del Ensayo:

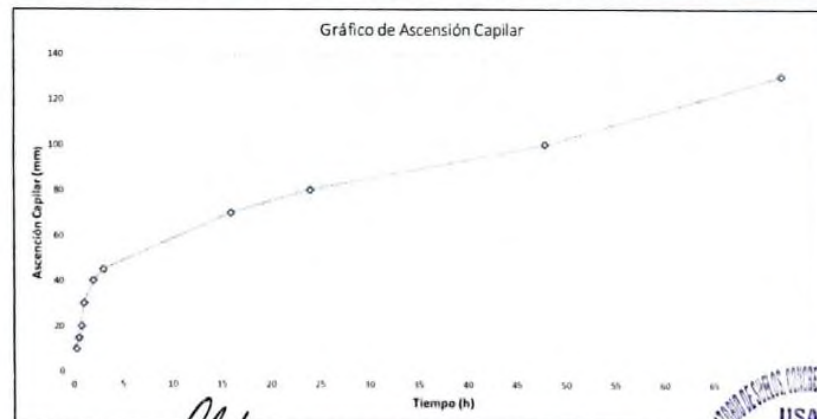
Altura del Ascenso Capilar Final (mm) 130
 Diametro Final (mm) 100
 Peso despues de colocado en agua (g) 3818.64
 Peso seco al horno a 110°C (g) 3754.6

c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%): 2.03
 Expansión: 2.24

c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

| Tiempo (h) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 2 | 3 | 16 | 24 | 48 | 72 |
|------------------------|------|-----|------|----|----|----|----|----|-----|-----|
| Ascensión Capilar (mm) | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 45 | 70 | 80 | 100 | 130 |



Observaciones: El espécimen se realizó con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
 El espécimen se colocó en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua

Elaborado por:
 Revisado por:

[Signature]
 Henry Rivas Obitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

[Signature]
 TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.19

Ensayo de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar de Materiales Compactados M-1 +0.045 % C444 +2% SOLIDRY



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL**



Tesista: Sergio Fernando Leyva Mateos
Tesis: MEDORAMENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSION EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
Ubicación: Jaén - Cajamarca
Fecha: 20/06/2023
Muestra: M-1

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 114L53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación
Consolid 444 0.045 %
Solidry: 2 %

a) Datos del Especímen antes del ensayo

Altura inicial (mm): 200
Diámetro inicial (mm): 99.5
Peso Después de Secado a 50°C (g): 3602.2
Densidad Seca (g/cm³): 2.04
Humedad de Compactación (%): 11

b) Datos del Especímen después del Ensayo:

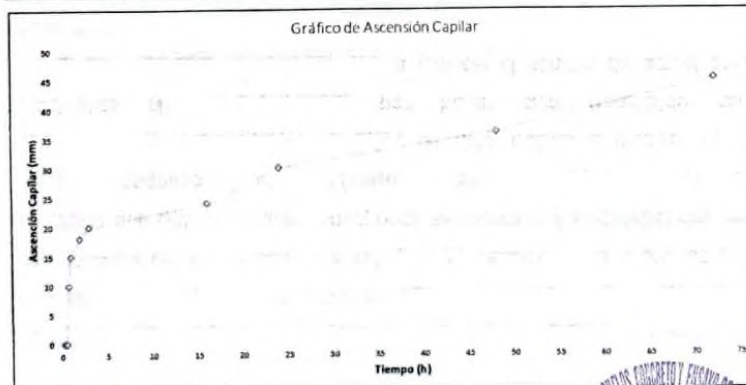
Altura del Ascenso Capilar Final (mm) 120
Diámetro Final (mm) 99.7
Peso después de colocado en agua (g) 3617
Peso seco al horno a 110°C (g) 3598.8

c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%): 0.41
Expansión: 0.40

c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

| Tiempo (h) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 2 | 3 | 16 | 24 | 48 | 72 |
|------------------------|------|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|
| Ascensión Capilar (mm) | 0 | 0 | 10 | 15 | 18 | 20 | 24 | 30 | 36 | 45 |



Observaciones: El espécimen se preparó con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Elaborado por:
Revisado por:

Henry Rivas Obilias
Téc. Laboratorio USAT

USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.20

Ensayo de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar de Materiales Compactados M-2 +0.045 % C444 +2% SOLIDRY



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL



Testista: Sergio Fernando Leyva Mateos
Tesis: MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSION EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
Ubicación: Jaén - Cajamarca
Fecha: 20/06/2023
Muestra: M-2

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación
 Consolid 444 0.045 %
 Solidry: 2 %

a) Datos del Espéctmen antes del ensayo

Altura inicial (mm): 200
 Diametro inicial (mm): 98
 Peso Despues de Secado a 50°C (g): 3447.87
 Densidad Seca (g/cm3): 2.04
 Humedad de Compactación (%): 11

b) Datos del Espéctmen después del Ensayo:

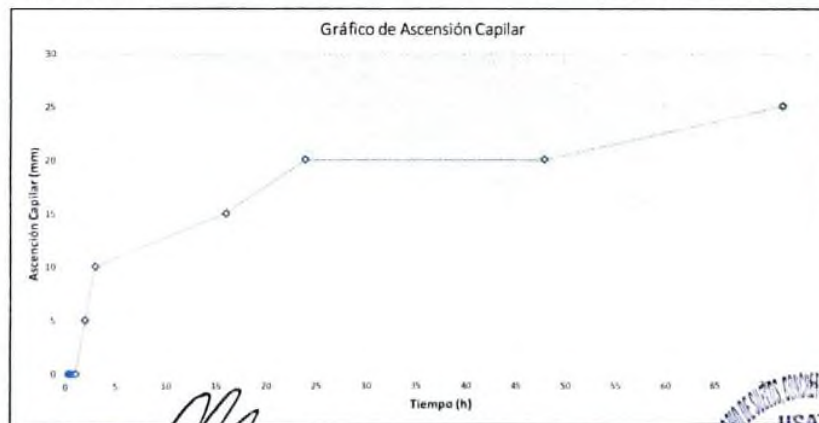
Altura del Ascenso Capilar Final (mm) 120
 Diametro Final (mm) 98.5
 Peso despues de colocado en agua (g) 3475.2
 Peso seco al horno a 110°C (g) 3334.51

c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%): 0.82
 Expansión: 1.02

c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

| Tiempo (h) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 2 | 3 | 16 | 24 | 48 | 72 |
|------------------------|------|-----|------|---|---|----|----|----|----|----|
| Ascensión Capilar (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 20 | 25 |



Observaciones: El espécimen se compactó con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Precobr Modificado. El espécimen se secó en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Elaborado por:
 Revisado por:

Henry Rivas
 Henry Rivas Obilias
 Tec. Laboratorio
 USAT

USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 01.21

Ensayo de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar de Materiales Compactados M-3 +0.045 % C444 +2% SOLIDRY



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL**



Tesista: Sergio Fernando Leyva Mateos
Tesis: MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSION EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID
Ubicación: Jaén - Cajamarca
Fecha: 20/06/2023
Muestra: M-3
ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación
Consolid C44 0.045 %
Solidry: 2 %

a) Datos del Espédmén antes del ensayo

Altura inicial (mm): 198
Diámetro inicial (mm): 99
Peso Despues de Secado a 50°C (g): 3770.48
Densidad Seca (g/cm3): 1.96
Humedad de Compactación (%): 9.98

b) Datos del Espédmén después del Ensayo:

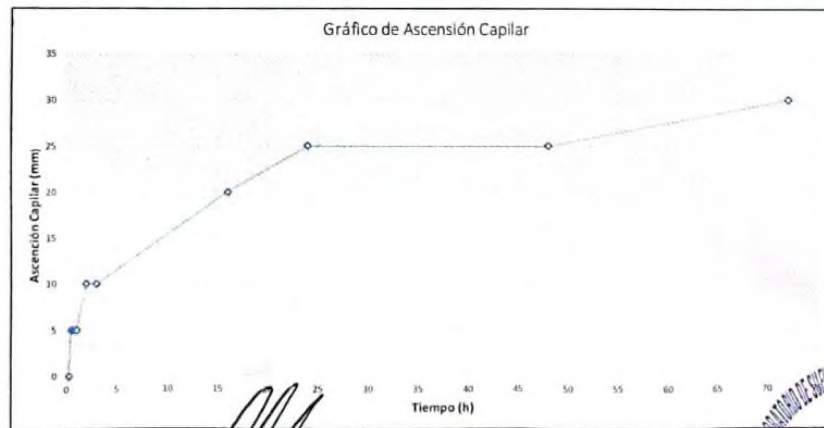
Altura del Ascenso Capilar Final (mm) 130
Diámetro Final (mm) 99.7
Peso despues de colocado en agua (g) 3802.9
Peso seco al horno a 110°C (g) 3690.45

c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%): 0.88
Expansión: 1.42

c) Resultado de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

| | 15 | 30 | 45 |
|------------------------|------|-----|------|
| Tiempo (H) | 0.25 | 0.5 | 0.75 |
| Ascensión Capilar (mm) | 0 | 5 | 5 |
| | 5 | 10 | 10 |
| | 20 | 25 | 25 |
| | 25 | 30 | |



Observaciones: El espécimen se remoldeó a la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Precort Modificado El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua

Elaborado por:
Revisado por:
Tec. Laboratorio USAT



ANEXO N°02: PANEL FOTOGRAFICO



Transporte de Material



Material en sacos



Cuarteo de las muestras para ensayos de caracterización de suelos



Ensayo de límites de consistencia



Mezclado de materiales para ensayos de Proctor modificado y permeabilidad.



Ensayo de Proctor Modificado.



Preparación del Permeámetro



Colocación de papel filtro y piedra porosa



Ensayo de Ascenso Capilar



Muestras de ensayo de ascenso capilar después de 240horas.



Experimentación en moldes de prueba para filtración.



Ensayo de Ascension capilar de materiales compactado



Ensayo de Permeabilidad para suelos granulares



Mezclado con estabilizantes



Proceso de Construcción de modelo físico



Modelo físico terminado.



Mezclado con estabilizantes para modelación



Proceso de simulación de escorrentía

ANEXO N°03: SUBPARTIDAS. CUNETA TRIANGULAR REVESTIDA DE CONCRETO $f'c=175\text{kg/cm}^2$ 0.75 X 0.30, E=10 CM

| Partida: | CURADO DE CUNETAS | | | | | |
|-----------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento | m2/DIA | M.O 200.0000 | EQ. 200.0000 | Costo unitario directo por : m | | 1.98 |
| Descripción Recurso | | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | 0.82 |
| OPERARIO | | hh | 0.1000 | 0.0040 | 22.97 | 0.09 |
| OFICIAL | | hh | 1.0000 | 0.0400 | 18.17 | 0.73 |
| Materiales | | | | | | 0.51 |
| ADITIVO CURADOR DE CONCRETO | | gln | | 0.0100 | 50.92 | 0.51 |
| Equipos | | | | | | 0.22 |
| EQUIPO PULVERIZADOR | | HE | 1.0000 | 0.0400 | 5.51 | 0.22 |
| Subpartidas | | | | | | 0.43 |
| AGUA PARA CONCRETO | | m3 | | 0.0220 | 19.43 | 0.43 |

| Partida: | ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE CUNETAS | | | | | |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento | m/Día | M.O 14.0000 | EQ. 14.0000 | Costo unitario directo por : m | | 67.60 |
| Descripción Recurso | | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | 43.58 |
| OFICIAL | | hh | 1.0000 | 0.5714 | 18.17 | 10.38 |
| OPERARIO | | hh | 1.1000 | 0.6286 | 22.97 | 14.44 |
| PEON | | hh | 2.0000 | 1.1429 | 16.41 | 18.75 |
| Materiales | | | | | | 22.72 |
| CLAVOS | | kg | | 0.2000 | 4.27 | 0.85 |
| ALAMBRE NEGRO N°8 | | kg | | 0.2000 | 6.50 | 1.30 |
| DESMOLDANTE PARA MADERA | | gln | | 0.0132 | 127.03 | 1.68 |
| MADERA TORNILLO CEPILLADA | | p2 | | 1.5400 | 5.25 | 8.09 |
| TRIPLAY DE 10 MM | | pln | | 0.1200 | 90.00 | 10.80 |
| Equipos | | | | | | 1.31 |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | %MO | | 3.0000 | 43.58 | 1.31 |

| Partida: | JUNTAS DE DILATACION EN CUNETAS (2X2cm) | | | | | |
|-----------------------------------|---|-------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento | m/Día | M.O 80.0000 | EQ. 80.0000 | Costo unitario directo por : m | | 7.58 |
| Descripción Recurso | | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | 5.33 |
| OPERARIO | | hh | 0.1000 | 0.0100 | 22.97 | 0.23 |
| OFICIAL | | hh | 1.0000 | 0.1000 | 18.17 | 1.82 |
| PEON | | hh | 2.0000 | 0.2000 | 16.41 | 3.28 |
| Materiales | | | | | | 2.09 |
| TECKNOPOR E=1CM | | pln | | 0.0347 | 11.80 | 0.41 |
| IMPRIMANTE PARA SELLANTE ELASTICO | | gln | | 0.0033 | 178.81 | 0.59 |
| SELLADOR ELASTICO DE POLIURETANO | | gln | | 0.0120 | 90.83 | 1.09 |
| Equipos | | | | | | 0.16 |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | %MO | | 3.0000 | 5.33 | 0.16 |

| Partida: | JUNTAS DE CONSTRUCCION EN CUNETAS (1X1cm) | | | | | |
|-----------------------------------|---|--------------|--------------|--------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento | m/Día | M.O 120.0000 | EQ. 120.0000 | Costo unitario directo por : m | | 4.65 |
| Descripción Recurso | | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | 3.55 |
| OPERARIO | | hh | 0.1000 | 0.0067 | 22.97 | 0.15 |
| OFICIAL | | hh | 1.0000 | 0.0667 | 18.17 | 1.21 |
| PEON | | hh | 2.0000 | 0.1333 | 16.41 | 2.19 |
| Materiales | | | | | | 0.99 |
| IMPRIMANTE PARA SELLANTE ELASTICO | | gln | | 0.0020 | 178.81 | 0.36 |
| SELLADOR ELASTICO DE POLIURETANO | | gln | | 0.0070 | 90.83 | 0.64 |
| Equipos | | | | | | 0.11 |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | %MO | | 3.0000 | 3.55 | 0.11 |

| Partida: | PERFILADO Y COMPACTADO FONDO DE CUNETAS | | | | | |
|------------------------------------|---|-------------|-------------|---------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento | m2/DIA | M.O 60.0000 | EQ. 60.0000 | Costo unitario directo por : m2 | | 11.98 |
| Descripción Recurso | | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | 9.36 |
| OPERARIO | | hh | 0.2000 | 0.0267 | 22.97 | 0.61 |
| PEON | | hh | 4.0000 | 0.5333 | 16.41 | 8.75 |
| Equipos | | | | | | 1.82 |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | %MO | | 5.0000 | 9.36 | 0.47 |
| COMPACTADOR VIBR. TIPO PLANCHA 7HP | | hh | 1.0000 | 0.1333 | 10.17 | 1.36 |
| Subpartidas | | | | | | 0.79 |
| AGUA PARA RIEGO | | m3 | | 0.0500 | 15.78 | 0.79 |

| Partida: | CONCRETO F'c=175 KG/CM2 | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|---------------------------------|-------------|---------------|
| Rendimiento | m3/Día | M.O 18.0000 | EQ. 18.0000 | Costo unitario directo por : m3 | | 433.36 |
| Descripción Recurso | | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | 98.61 |
| OFICIAL | | hh | 3.0000 | 1.3333 | 18.17 | 24.23 |
| OPERARIO | | hh | 3.0000 | 1.3333 | 22.97 | 30.63 |
| PEON | | hh | 6.0000 | 2.6667 | 16.41 | 43.76 |
| Materiales | | | | | | 320.75 |
| ACEITE PARA MOTOR | | gln | | 0.0080 | 57.38 | 0.46 |
| GASOLINA84 OCTANOS | | gln | | 0.1500 | 12.86 | 1.93 |
| ARENA GRUESA | | m3 | | 0.5100 | 122.88 | 62.67 |
| PIEDRA CHANCADA DE 1/2" | | m3 | | 0.5600 | 135.59 | 75.93 |
| CEMENTO PORTLAND TIPO 1 (42,5Kg) | | bls | | 8.0000 | 22.47 | 179.76 |
| Equipos | | | | | | 11.13 |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | %MO | | 3.0000 | 98.61 | 2.96 |
| VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.4" | | hm | 1.0000 | 0.4444 | 8.39 | 3.73 |
| MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9-11 P3 | | hm | 1.0000 | 0.4444 | 10.00 | 4.44 |
| Subpartidas | | | | | | 2.87 |
| AGUA PARA OBRAS DE ARTE | | m3 | | 0.1800 | 15.95 | 2.87 |

ANEXO N°04: Intensidades de precipitación, para diferentes duraciones y periodos de retorno. (Lon: -78.77; Lat.: -5.67)

| Intensidades de precipitación, para diferentes duraciones y periodos de retorno. | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Duración | TR2 | TR5 | TR10 | TR30 | TR50 |
| 1-hr | 39.2 (36.8-42.4) | 45.3 (42.3-49.4) | 50.5 (47.0-55.4) | 60.1 (55.5-66.5) | 65.2 (60.0-72.3) |
| 2-hr | 22.2 (20.9-24.1) | 25.7 (24.0-28.0) | 28.7 (26.7-31.5) | 34.1 (31.5-37.7) | 37.0 (34.1-41.1) |
| 3-hr | 16.0 (15.0-17.3) | 18.5 (17.2-20.1) | 20.6 (19.2-22.6) | 24.5 (22.6-27.1) | 26.6 (24.5-29.5) |
| 4-hr | 12.6 (11.9-13.7) | 14.6 (13.6-15.9) | 16.3 (15.2-17.9) | 19.4 (17.9-21.4) | 21.0 (19.4-23.3) |
| 5-hr | 10.5 (9.9-11.4) | 12.2 (11.4-13.3) | 13.6 (12.6-14.9) | 16.1 (14.9-17.9) | 17.5 (16.1-19.4) |
| 6-hr | 9.1 (8.5-9.8) | 10.5 (9.8-11.4) | 11.7 (10.9-12.8) | 13.9 (12.9-15.4) | 15.1 (13.9-16.7) |
| 7-hr | 8.0 (7.5-8.7) | 9.2 (8.6-10.1) | 10.3 (9.6-11.3) | 12.3 (11.3-13.6) | 13.3 (12.3-14.8) |
| 8-hr | 7.2 (6.7-7.8) | 8.3 (7.7-9.0) | 9.2 (8.6-10.1) | 11.0 (10.2-12.2) | 11.9 (11.0-13.2) |
| 9-hr | 6.5 (6.1-7.1) | 7.5 (7.0-8.2) | 8.4 (7.8-9.2) | 10.0 (9.2-11.0) | 10.8 (10.0-12.0) |
| 10-hr | 6.0 (5.6-6.5) | 6.9 (6.5-7.5) | 7.7 (7.2-8.5) | 9.2 (8.5-10.1) | 9.9 (9.2-11.0) |
| 11-hr | 5.5 (5.2-6.0) | 6.4 (6.0-7.0) | 7.1 (6.6-7.8) | 8.5 (7.8-9.4) | 9.2 (8.5-10.2) |
| 12-hr | 5.1 (4.8-5.6) | 6.0 (5.6-6.5) | 6.6 (6.2-7.3) | 7.9 (7.3-8.7) | 8.6 (7.9-9.5) |
| 13-hr | 4.8 (4.5-5.2) | 5.6 (5.2-6.1) | 6.2 (5.8-6.8) | 7.4 (6.8-8.2) | 8.0 (7.4-8.9) |
| 14-hr | 4.5 (4.3-4.9) | 5.2 (4.9-5.7) | 5.9 (5.4-6.4) | 7.0 (6.4-7.7) | 7.6 (7.0-8.4) |
| 15-hr | 4.3 (4.0-4.6) | 5.0 (4.6-5.4) | 5.5 (5.1-6.1) | 6.6 (6.1-7.3) | 7.1 (6.6-7.9) |
| 16-hr | 4.1 (3.8-4.4) | 4.7 (4.4-5.1) | 5.2 (4.9-5.8) | 6.2 (5.8-6.9) | 6.8 (6.2-7.5) |
| 17-hr | 3.9 (3.6-4.2) | 4.5 (4.2-4.9) | 5.0 (4.6-5.5) | 5.9 (5.5-6.6) | 6.4 (5.9-7.2) |
| 18-hr | 3.7 (3.5-4.0) | 4.3 (4.0-4.7) | 4.8 (4.4-5.2) | 5.7 (5.2-6.3) | 6.2 (5.7-6.8) |
| 19-hr | 3.5 (3.3-3.8) | 4.1 (3.8-4.5) | 4.6 (4.2-5.0) | 5.4 (5.0-6.0) | 5.9 (5.4-6.5) |
| 20-hr | 3.4 (3.2-3.7) | 3.9 (3.7-4.3) | 4.4 (4.1-4.8) | 5.2 (4.8-5.8) | 5.6 (5.2-6.3) |
| 21-hr | 3.3 (3.1-3.5) | 3.8 (3.5-4.1) | 4.2 (3.9-4.6) | 5.0 (4.6-5.5) | 5.4 (5.0-6.0) |
| 22-hr | 3.1 (2.9-3.4) | 3.6 (3.4-4.0) | 4.0 (3.8-4.4) | 4.8 (4.5-5.3) | 5.2 (4.8-5.8) |
| 23-hr | 3.0 (2.8-3.3) | 3.5 (3.3-3.8) | 3.9 (3.6-4.3) | 4.6 (4.3-5.1) | 5.0 (4.6-5.6) |
| 24-hr | 2.9 (2.7-3.2) | 3.4 (3.2-3.7) | 3.8 (3.5-4.1) | 4.5 (4.1-5.0) | 4.9 (4.5-5.4) |

ANEXO N°05: Diseño del cálculo de cuneta de forma triangular asimétrica en Hcanales.

Resultados con HCANALES

Cálculo del caudal, sección trapezoidal y triangular con taludes diferentes

Datos:

Lugar:
Proyecto:
Tramo:
Revestimientos:

Tirante normal (y): 0.30 m
Ancho de solera (b): 0 m
Talud (Z1): 0.5
Talud (Z2): 2.5
Rugosidad (n): 0.018
Pendiente (S): 0.05 m/m

Resultados:

Caudal (Q): 0.4037 m³/s
Velocidad (v): 2.9901 m/s
Área hidráulica (A): 0.1350 m²
Perímetro mojado (p): 1.1432 m
Radio hidráulico (R): 0.1181 m
Espejo de agua (T): 0.9000 m
Energía específica (E): 0.7557 m-Kg/kg
Número de Froude (F): 2.4650
Tipo de flujo: Subcrítico

ANEXO N°06: Matriz de Consistencia

| TÍTULO | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPOTESIS | OPERACIONALIZACIÓN | | | | | |
|---|--|---|---|---|--|---|------------------------------|--|---|
| | | Objetivo General | | VARIABLES | INDICADORES | METODOS DE MEDICION O INSTRUMENTNO | METODOLOGIA | | |
| "MEJORAMIENTO DE LA IMPERMEABILIDAD Y CONTROL DE EROSIONES EN OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL, EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, APLICANDO EL SISTEMA CONSOLID" | ¿De que manera influye la aplicación del Sistema Consolid en la impermeabilización y control de erosiones en obras de drenaje superficial en carreteras no pavimentadas? | Análisis el mejoramiento, de la aplicación del Sistema Consolid, como impermeabilizante y control de erosiones en obras de drenaje superficial en carreteras no pavimentadas. | "La incorporación del sistema Consolid mejora la impermeabilidad y el control a la erosión de obras de drenaje superficial en carreteras no pavimentadas" | V. INDEPENDIENTE: Sistema Consolid | Cantidad de Solidry | Balanza | TIPO DE INVESTIGACION | | |
| | | Cantidad de Consolid C 444 | | | Vaso de Precipitado | | | | |
| | | Objetivos Especificos | | "La incorporación del sistema Consolid mejora la impermeabilidad y el control a la erosión de obras de drenaje superficial en carreteras no pavimentadas" | V. DEPENDIENTE: Impermeabilidad y Control de Erosión | Coefficiente de Permeabilidad | | Ensayo de Permeabilidad de Carga Constante | Experimental: Manipulacion de la Variable Independiente |
| | | Determinar las propiedades mecánicas de las muestras de suelo estabilizadas y sin estabilizar, en función a su impermeabilidad. | | | | Coefficiente de Permeabilidad | | Ensayo de Permeabilidad de Carga Variable | |
| | | Determinar la dosificación optima de aditivo Solidry y C444 para el suelo utilizado en obras de Drenaje supercial. | | | | Coefficiente de Permeabilidad | | Ensayos Insitu - Lefranc | |
| | | Realizar un análisis comparativo de los ensayos de Permeabilidad y Erosionabilidad del suelo natural y del suelo con estabilizante. | | | | Ensayo de Ascension Capilar | | Observacion | |
| | | Realizar una comparación de costos de un sistema convencional y los de sistema consolid. | | | | Perdida de suelo | | Trampas de Sedimentos | |
| | | Proponer un procedimiento constructivo práctico aplicando el sistema consolid en la estabilización de cunetas con tierra natural. | | | V. INTERVINIENTE: Condiciones Geológicas, Hidrológicas y Topográficas | Tipo de Suelo | | NTP 339.134:1999 | |
| | | | | | | Velocidad de Flijo | | Manual de Hidrologia | |
| | | | | | | Pendiente de Analisis | | Medición | |

ANEXO N°07: Estrategia metodológica para demostrar la hipótesis.

