

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS DEL VIDRIO MOLIDO CONTRA
LADRILLO TRITURADO CUANDO SE COMBINAN COMO ADITIVOS EN UN
TIPO DE SUELO ARCILLOSO”**

Por:

SERGIO DANIEL ALFARO HERRERA

SEMESTRE I - 2022

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS DEL VIDRIO MOLIDO CONTRA
LADRILLO TRITURADO CUANDO SE COMBINAN COMO ADITIVOS EN UN
TIPO DE SUELO ARCILLOSO”**

Por:

SERGIO DANIEL ALFARO HERRERA

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV - 502

SEMESTRE I 2022

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, porque gracias a él tengo fortaleza y salud para seguir adelante, también con todo mi amor y cariño a mi madre Angelica Velásquez Bustillos, y a mi padre Andrés Alfaro Flores que se encuentra en el cielo, ellos que siempre confiaron en mí y me dieron su apoyo incondicional en todo momento, también a mis hermanos, Luis Fernando Alfaro Velásquez y Sergio Andrés Alfaro Velásquez, y a mi pareja Marcela Benítez, que gracias al apoyo y aliento de todos, logro dar este paso importante en mi vida culminando mis estudios superiores, gracias de todo corazón.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

| | Página |
|--|---------------|
| 1.1. Antecedentes | 1 |
| 1.2. Referencias de trabajos realizados..... | 2 |
| 1.3. Justificación..... | 3 |
| 1.3.1. Justificación técnica..... | 3 |
| 1.3.2. Justificación ambiental | 3 |
| 1.3.3. Justificación económica..... | 4 |
| 1.3.4. Aporte académico | 4 |
| 1.4. Planteamiento del problema | 5 |
| 1.4.1. Situación problemática | 5 |
| 1.4.2. Delimitación temporal | 6 |
| 1.4.3. Delimitación espacial..... | 6 |
| 1.4.4. Formulación del problema..... | 6 |
| 1.5. Objetivos | 6 |
| 1.5.1. Objetivo general..... | 6 |
| 1.5.2. Objetivos específicos | 6 |
| 1.6. Hipótesis | 7 |
| 1.6.1. Identificación de variables | 7 |
| 1.6.2. Variable independiente | 7 |
| 1.6.3. Variable dependiente | 7 |
| 1.6.4. Conceptualización y operacionabilidad de variables..... | 7 |
| 1.7. Alcance de la investigación | 8 |

CAPITULO II

EL VIDRIO Y EL LADRILLO UTILIZADOS COMO ADITIVOS

| | Página |
|---|---------------|
| 2.1. Suelos arcillosos | 10 |
| 2.1.1. Arcillas..... | 10 |
| 2.1.2. Suelos expansivos..... | 10 |
| 2.1.3. Comportamiento de suelos expansivos..... | 10 |
| 2.1.4. Causas de la expansión | 11 |
| 2.1.5. Problemas de expansión o contracción..... | 11 |
| 2.1.6. Daños en suelos expansivos..... | 11 |
| 2.1.7. Soluciones para fundaciones en suelos expansivos | 11 |
| 2.2. Capa de subrasante | 12 |
| 2.3. Mejoramiento de suelos..... | 12 |
| 2.3.1. Aplicación a suelos arcillosos utilizando aditivos | 13 |
| 2.4. El vidrio como aditivo | 14 |
| 2.4.1. Clasificación del vidrio..... | 14 |
| 2.4.2. El vidrio común utilizado como aditivo | 15 |
| 2.4.3. Componentes del vidrio..... | 16 |
| 2.4.4. Propiedades mecánicas del vidrio..... | 16 |
| 2.4.5. Vidrio molido utilizado como aditivo | 17 |
| 2.4.6. Usos del vidrio molido | 18 |
| 2.4.7. Utilidades del vidrio | 20 |
| 2.4.8. Investigaciones previas suelo - vidrio..... | 21 |
| 2.4.9. Reciclaje del vidrio..... | 21 |
| 2.5. Beneficios medioambientales del reciclaje | 22 |
| 2.6. Productos cerámicos..... | 23 |

| | |
|--|----|
| 2.6.1. Materias primas de fabricación..... | 23 |
| 2.6.2. Ladrillo | 24 |
| 2.6.3. Propiedades mecánicas del ladrillo..... | 24 |
| 2.6.4. Ladrillo triturado utilizado como aditivo..... | 25 |
| 2.6.5. Aplicaciones en el mundo..... | 25 |
| 2.6.6. Usos del ladrillo triturado | 26 |
| 2.6.7. Investigaciones previas suelo - ladrillo..... | 26 |
| 2.7. Ensayos de laboratorio a realizar..... | 27 |
| 2.7.1. Ensayo de granulometría | 27 |
| 2.7.2. Límites de consistencia..... | 28 |
| 2.7.3. Ensayo de compactación “Proctor Modificado T-180” | 28 |
| 2.8. Ensayo California Bearing Ratio (CBR)..... | 29 |
| 2.9. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) | 29 |
| 2.9.1. Tipos de suelos | 30 |
| 2.9.2. Ensayos necesarios | 30 |
| 2.10. Marco referencial | 30 |
| 2.11. Marco normativo | 32 |
| 2.12. Análisis de la teoría por parte del autor | 32 |
| 2.13. Posición del autor | 33 |

CAPITULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

| | Página |
|---|---------------|
| 3.1. Criterios del diseño metodológico..... | 35 |
| 3.1.1. Unidad de muestra | 35 |
| 3.1.2. Población | 35 |
| 3.1.3. Muestra | 36 |

| | |
|---|----|
| 3.1.4. Tamaño de la muestra..... | 36 |
| 3.2. Ubicación de la zona de aplicación | 37 |
| 3.2.1. Mapa con coordenadas geográficas y UTM | 37 |
| 3.2.2. Descripción de las características físicas y naturales de la zona | 38 |
| 3.3. Ubicación de la zona de los materiales empleados | 38 |
| 3.3.1. Ubicación y coordenadas del suelo arcilloso..... | 38 |
| 3.3.2. Ubicación y coordenadas de obtención del ladrillo | 39 |
| 3.3.3. Ubicación y coordenadas de obtención del vidrio..... | 41 |
| 3.4. Caracterización del suelo arcilloso..... | 42 |
| 3.4.1. Ensayo de granulometría | 42 |
| 3.4.2. Ensayo de límite líquido del suelo..... | 45 |
| 3.4.3. Ensayo de límite plástico..... | 47 |
| 3.4.4. Clasificación de suelos (SUCS)..... | 49 |
| 3.4.5. Ensayo de compactación “Proctor Modificado T-180” | 50 |
| 3.4.6. Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)..... | 52 |
| 3.4.7. Resultados de caracterización..... | 54 |
| 3.5. Ensayos con ladrillo triturado..... | 55 |
| 3.5.1. Molienda del ladrillo..... | 55 |
| 3.5.2. Partículas planas y alargadas en el ladrillo | 58 |
| 3.5.3. Granulometría del ladrillo..... | 59 |
| 3.5.4. Límite líquido suelo + ladrillo | 61 |
| 3.5.5. Límite plástico suelo + ladrillo..... | 64 |
| 3.5.6. Ensayo de compactación “Proctor Modificado T-180” suelo + ladrillo | 66 |
| 3.5.7. Ensayo de CBR de suelo + ladrillo..... | 73 |
| 3.6. Ensayos con vidrio molido | 76 |

| | |
|---|----|
| 3.6.1. Molienda del vidrio..... | 76 |
| 3.6.2. Partículas planas y alargadas en el vidrio..... | 79 |
| 3.6.3. Granulometría del vidrio..... | 80 |
| 3.6.4. Límite líquido suelo + vidrio | 82 |
| 3.6.5. Límite plástico suelo + vidrio..... | 85 |
| 3.6.6. Ensayo de compactación “Proctor Modificado T-180” suelo + vidrio | 88 |
| 3.6.7. Ensayo de CBR suelo + vidrio | 94 |

CAPITULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

| | Página |
|---|---------------|
| 4.1. Resultados para el inicio del tratamiento estadístico correspondiente | 98 |
| 4.2. Gráficos de comparación..... | 99 |
| 4.2.1. Límite líquido | 99 |
| 4.2.2. Límite plástico | 100 |
| 4.2.3. Índice de plasticidad | 101 |
| 4.2.4. Clasificación del suelo..... | 102 |
| 4.2.5. Densidad máxima y humedad óptima | 102 |
| 4.2.6. Ensayos CBR..... | 104 |
| 4.2.7. Elección del valor óptimo..... | 106 |
| 4.3. Prueba de hipótesis | 107 |
| 4.3.1. Prueba de “t student” | 107 |
| 4.3.2. Estadística inferencial..... | 110 |
| 4.3.3. Conclusión de la prueba de hipótesis..... | 111 |
| 4.4. Precios unitarios de adición de ladrillo y vidrio con suelo arcilloso (CL) | 111 |
| 4.4.1. Conclusión de costos | 113 |
| 4.5. Análisis de factibilidad..... | 115 |

| | |
|---|-----|
| 4.6. Comparaciones finales | 115 |
| 4.6.1. Comparación técnica | 115 |
| 4.6.2. Comparación ambiental | 116 |
| 4.6.3. Comparación económica | 117 |
| 4.6.4. Comparación social | 117 |
| 4.7. Modelo de especificaciones técnicas..... | 118 |

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | Página |
|----------------------------|---------------|
| 5.1. Conclusiones | 121 |
| 5.2. Recomendaciones | 123 |

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO ARCILLOSO

ANEXO 2. ENSAYOS DE SUELO CON LADRILLO TRITURADO

ANEXO 3. ENSAYOS DE SUELO CON VIDRIO MOLIDO

ANEXO 4. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ANEXO 5. FOTOGRAFÍAS

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|--|---------------|
| Figura 1. Vidrio común | 16 |
| Figura 2. Vidrio molido..... | 18 |
| Figura 3. Polvo de vidrio..... | 19 |
| Figura 4. Reciclaje del vidrio | 21 |
| Figura 5. Zona de extracción del suelo..... | 37 |
| Figura 6. Ubicación de zona de extracción del suelo | 39 |
| Figura 7. Ubicación de obtención del ladrillo | 40 |
| Figura 8. Desechos de ladrillo..... | 40 |
| Figura 9. Ubicación de la zona de extracción del vidrio | 41 |
| Figura 10. Lavado del suelo fino..... | 43 |
| Figura 11. Muestra de suelo inicial | 44 |
| Figura 12. Muestra de suelo final | 44 |
| Figura 13. Preparación de muestra para el ensayo | 46 |
| Figura 14. Muestra en el aparato de Casagrande..... | 47 |
| Figura 15. Muestra estándar para límite plástico..... | 48 |
| Figura 16. Triturado del ladrillo | 55 |
| Figura 17. Proceso de triturado | 56 |
| Figura 18. Pesaje del ladrillo triturado | 57 |
| Figura 19. Tamizado del ladrillo triturado | 58 |
| Figura 20. Mezcla de suelo y ladrillo | 66 |
| Figura 21. Suelo y ladrillo para compactación..... | 73 |
| Figura 22. Molienda del vidrio..... | 76 |
| Figura 23. Proceso de molienda del vidrio..... | 77 |
| Figura 24. Pesaje del vidrio molido..... | 78 |
| Figura 25. Tamaños de partículas del vidrio | 79 |
| Figura 26. Suelo y vidrio..... | 87 |
| Figura 27. Curva de Gauss | 110 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|---|---------------|
| Tabla 1. Variable independiente | 7 |
| Tabla 2. Variable dependiente | 8 |
| Tabla 3. Población | 35 |
| Tabla 4. Muestra | 36 |
| Tabla 5. Coordenadas de ubicación de suelo arcilloso | 38 |
| Tabla 6. Coordenadas de ubicación del ladrillo | 39 |
| Tabla 7. Coordenadas de ubicación del vidrio | 41 |
| Tabla 8. Planilla de ensayo de granulometría..... | 42 |
| Tabla 9. Planilla de ensayo de limite líquido..... | 45 |
| Tabla 10. Planilla de ensayo de límite plástico..... | 48 |
| Tabla 11. Parámetros de clasificación | 49 |
| Tabla 12. Planilla de ensayo de compactación T-180 | 50 |
| Tabla 13. Resultados compactación T-180..... | 52 |
| Tabla 14. Resultados de CBR..... | 53 |
| Tabla 15. Expansión del suelo | 54 |
| Tabla 16. Resultados de caracterización de suelo | 54 |
| Tabla 17. Planilla de la granulometría del ladrillo | 59 |
| Tabla 18. Pesos aplicados en los ensayos | 60 |
| Tabla 19. Planilla limite liquido ladrillo 3% | 61 |
| Tabla 20. Planilla límite líquido ladrillo 6% | 62 |
| Tabla 21. Planilla límite líquido ladrillo 9% | 63 |
| Tabla 22. Planilla de límite plástico ladrillo 3%..... | 64 |
| Tabla 23. Planilla de límite plástico ladrillo 6%..... | 65 |
| Tabla 24. Planilla de límite plástico ladrillo 9%..... | 65 |
| Tabla 25. Planilla compactación ladrillo 3% | 67 |
| Tabla 26. Resultados compactación ladrillo 3%..... | 69 |
| Tabla 27. Planilla compactación ladrillo 6% | 69 |
| Tabla 28. Resultados compactación ladrillo 6%..... | 71 |
| Tabla 29. Planilla compactación ladrillo 9% | 71 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 30. Resultados compactación ladrillo 9%..... | 73 |
| Tabla 31. Resultados CBR suelo y ladrillo 3%..... | 74 |
| Tabla 32. Resultados de expansión..... | 75 |
| Tabla 33. Planilla de granulometría del vidrio | 80 |
| Tabla 34. Pesos aplicados para los ensayos..... | 81 |
| Tabla 35. Planilla de limite liquido vidrio 3%..... | 82 |
| Tabla 36. Planilla límite líquido vidrio 6% | 83 |
| Tabla 37. Planilla límite líquido vidrio 9% | 84 |
| Tabla 38. Límite plástico vidrio 3% | 85 |
| Tabla 39. Límite plástico vidrio 6% | 86 |
| Tabla 40. Límite plástico vidrio 9% | 87 |
| Tabla 41. Planilla de ensayo de compactación vidrio 3% | 88 |
| Tabla 42. Resultados ensayo de compactación vidrio 3%..... | 90 |
| Tabla 43. Planilla de ensayo de compactación vidrio 6% | 90 |
| Tabla 44. Resultados ensayo de compactación vidrio 6%..... | 92 |
| Tabla 45. Planilla de ensayo de compactación vidrio 9% | 92 |
| Tabla 46. Resultados ensayo de compactación vidrio 9%..... | 94 |
| Tabla 47. Resultados CBR suelo y vidrio 3% | 95 |
| Tabla 48. Expansión suelo y vidrio 3% | 96 |
| Tabla 49. Resultados para inicio de tratamiento estadístico..... | 98 |
| Tabla 50. Porcentaje de disminución de limite líquido | 99 |
| Tabla 51. Porcentaje de disminución de limite plástico | 100 |
| Tabla 52. Porcentaje de reducción de índice de plasticidad | 101 |
| Tabla 53. Porcentaje del aumento de la densidad máxima..... | 103 |
| Tabla 54. Porcentaje del descenso de la humedad óptima..... | 104 |
| Tabla 55. Porcentaje de aumento del valor de CBR..... | 105 |
| Tabla 56. Tabla de clasificación y uso del suelo según valor de CBR..... | 106 |
| Tabla 57. Resultados de ensayos CBR | 109 |
| Tabla 58. Precio unitario del ladrillo | 112 |
| Tabla 59. Precio unitario del vidrio | 113 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | Página |
|--|---------------|
| Gráfico 1. Curva granulométrica del suelo..... | 43 |
| Gráfico 2. Limite líquido suelo..... | 45 |
| Gráfico 3. Carta de plasticidad SUCS | 49 |
| Gráfico 4. Curva de compactación suelo..... | 51 |
| Gráfico 5. Curva “Carga-Penetración” suelo..... | 53 |
| Gráfico 6. Curva “CBR – Peso Unitario” suelo | 53 |
| Gráfico 7. Curva granulométrica del ladrillo..... | 60 |
| Gráfico 8. Limite líquido ladrillo 3% | 61 |
| Gráfico 9. Limite líquido ladrillo 6% | 62 |
| Gráfico 10. Límite líquido ladrillo 9% | 63 |
| Gráfico 11. Curva de compactación ladrillo 3% | 68 |
| Gráfico 12. Curva de compactación ladrillo 6% | 70 |
| Gráfico 13. Curva de compactación ladrillo 9% | 72 |
| Gráfico 14. Curva “Carga-Penetración” suelo + ladrillo 3% | 74 |
| Gráfico 15. Curva “CBR-Peso unitario” suelo + ladrillo 3%..... | 75 |
| Gráfico 16. Curva granulométrica del vidrio..... | 81 |
| Gráfico 17. Límite líquido vidrio 3% | 82 |
| Gráfico 18. Límite líquido vidrio 6% | 83 |
| Gráfico 19. Límite líquido vidrio 9% | 84 |
| Gráfico 20. Curva de compactación vidrio 3% | 89 |
| Gráfico 21. Curva de compactación vidrio 6% | 91 |
| Gráfico 22. Curva de compactación vidrio 9% | 93 |
| Gráfico 23. Curva “Carga-Penetración” suelo + vidrio 3% | 95 |
| Gráfico 24. Curva “CBR-Peso Unitario” suelo + vidrio 3%..... | 95 |
| Gráfico 25. Límite líquido de suelo y aditivos | 99 |
| Gráfico 26. Límite plástico de suelo y aditivos | 100 |
| Gráfico 27. Índice de plasticidad de suelo y aditivos | 101 |
| Gráfico 28. Clasificación de suelo con aditivos | 102 |
| Gráfico 29. Comparación de la densidad máxima..... | 103 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 30. Comparación de la humedad óptima | 104 |
| Gráfico 31. Comparación del CBR..... | 105 |
| Gráfico 32. Comparación económica de los aditivos | 114 |