

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



**“ANÁLISIS DEL EFECTO DEL TIEMPO DE CURADO EN LA RESISTENCIA
A LA COMPRESIÓN INCONFINADA DE UN SUELO LIMOSO
ESTABILIZADO CON CEMENTO”**

Por:

FARFÁN QUIROGA ROVÍN ALFREDO

Trabajo de grado presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
“JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

Semestre I - 2024
TARIJA-BOLIVIA

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

**“ANÁLISIS DEL EFECTO DEL TIEMPO DE CURADO EN LA RESISTENCIA
A LA COMPRESIÓN INCONFINADA DE UN SUELO LIMOSO
ESTABILIZADO CON CEMENTO”**

Por:

FARFÁN QUIROGA ROVÍN ALFREDO

Semestre I - 2024
TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a mis padres Vismar Farfán Roca y Asunciona Quiroga Suruguay por la confianza que depositaron en mí. Quiero agradecer el apoyo incondicional que me dieron, su amor inquebrantable y todo su cariño. Son y serán el motivo de mi constante superación.

A mi hermano Jhony Farfán Quiroga por siempre estar ahí apoyando y animando.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

| | Página |
|--|--------|
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Justificación..... | 2 |
| 1.2.1 Justificación académica..... | 2 |
| 1.2.2 Justificación técnica..... | 2 |
| 1.2.3 Justificación social..... | 2 |
| 1.3 Planteamiento del problema..... | 3 |
| 1.3.1 Situación problemática..... | 3 |
| 1.3.2 Formulación del problema..... | 3 |
| 1.4 Delimitación temporal..... | 3 |
| 1.5 Delimitación espacial..... | 3 |
| 1.6 Objetivos de la investigación..... | 4 |
| 1.6.1 Objetivo general..... | 4 |
| 1.6.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.7 Alcance de la investigación..... | 4 |
| 1.8 Formulación de la hipótesis..... | 5 |
| 1.8.1 Hipótesis y sus variables..... | 5 |
| 1.8.2 Operacionalización de las variables..... | 6 |

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

| | Página |
|--------|--|
| 2.1 | Identificación del tipo de diseño de investigación..... 7 |
| 2.2 | El suelo 7 |
| 2.3 | Tipos de suelo..... 7 |
| 2.4 | Identificación de suelos 8 |
| 2.5 | Suelos cohesivos y suelos no cohesivos 8 |
| 2.6 | Suelo como material de construcción..... 9 |
| 2.7 | Comportamiento en la fase intersticial: interacción química 9 |
| 2.8 | Teoría de los limos 10 |
| 2.8.1 | Características de los limos 10 |
| 2.9 | Fundamentación teórica de compresión incofinada 11 |
| 2.9.1 | Prueba de compresión incofinada..... 11 |
| 2.9.2 | Prueba no consolidada no drenada 13 |
| 2.9.3 | Resistencia de los suelos al esfuerzo de corte 14 |
| 2.9.4 | Importancia de considerar la resistencia al corte del suelo 14 |
| 2.10 | Mejoramiento del suelo 15 |
| 2.10.1 | Estabilización con cemento 15 |
| 2.10.2 | Requerimientos de cementos para una estabilización efectiva..... 16 |
| 2.10.3 | Diseño mezcla- cemento..... 16 |
| 2.10.4 | Contribución a la sostenibilidad 17 |
| 2.11 | Probetas compactadas..... 18 |
| 2.12 | Curado 18 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.12.1 | Efecto del tiempo de curado | 18 |
| 2.12.2 | Métodos de curado | 19 |
| 2.12.3 | Curado de probetas de suelo cemento según la ASTM D1632 | 19 |
| 2.13 | Nivel de confianza | 20 |
| 2.14 | Varianza..... | 21 |
| 2.15 | Marco referencial..... | 21 |
| 2.16 | Marco normativo | 21 |
| 2.17 | Análisis y posición del investigador..... | 22 |

CAPÍTULO III

CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

| | Página | |
|-------|---|----|
| 3.1 | Criterios metodológicos..... | 24 |
| 3.1.1 | Unidad de muestreo | 24 |
| 3.1.2 | Población y muestra | 24 |
| 3.1.3 | Selección de la técnica de muestreo | 24 |
| 3.1.4 | Tamaño de la muestra..... | 24 |
| 3.2 | Tipos de suelo a ser sujetos a estudio (limo) | 26 |
| 3.3 | Porcentaje de cemento | 26 |
| 3.4 | Ubicación del proyecto..... | 26 |
| 3.5 | Reconocimiento del sitio de aplicación | 27 |
| 3.6 | Método de muestreo | 28 |
| 3.7 | Ubicación de las muestras | 28 |
| 3.7.1 | Ubicación del barrio Miraflores | 28 |
| 3.7.2 | Ubicación del barrio los Chapacos | 31 |
| 3.8 | Obtención de las muestras | 32 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.9 | Caracterización del suelo natural..... | 32 |
| 3.9.1 | Contenido de humedad (ASTM D2216) | 33 |
| 3.9.2 | Análisis granulométrico por tamizado (ASTM 422 - AASHTO T88)..... | 34 |
| 3.9.3 | Determinación de la consistencia del suelo..... | 36 |
| 3.9.4 | Resultados de los ensayos de caracterización física del suelo natural pertenece al barrio Miraflores | 41 |
| 3.9.5 | Resultados de los ensayos de caracterización física del suelo natural pertenece al barrio los Chapacos | 42 |
| 3.9.6 | Calibración de frasco volumétrico (ASTM D854 - AASHTO T100)..... | 42 |
| 3.9.7 | Peso específico (ASTM D854 - AASHTO T100)..... | 44 |
| 3.9.8 | Ensayos de granulométrica por hidrómetro (ASTM D422)..... | 45 |
| 3.10 | Mejoramiento del suelo con cemento..... | 46 |
| 3.10.1 | Ensayo de compactación de suelo T-99 Proctor estándar | 47 |
| 3.10.2 | Compresión inconfiada en muestras de suelos (ASTM D2126 - AASSHTO T208)..... | 48 |

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

| | Página | |
|-------|--|----|
| 4.1 | Análisis de los límites de Atterberg..... | 51 |
| 4.2 | Análisis de la compactación de suelos con cemento | 54 |
| 4.3 | Análisis de la compresión inconfiada según el porcentaje de cemento | 56 |
| 4.3.1 | Compresión inconfiada con el suelo natural..... | 56 |
| 4.3.2 | Compresión inconfiada con 5% de cemento | 57 |
| 4.3.3 | Compresión inconfiada con 6% de cemento | 58 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.4 | Compresión inconfiada con 7% de cemento | 59 |
| 4.3.5 | Compresión inconfiada con 8% de cemento | 61 |
| 4.3.6 | Compresión inconfiada con 9% de cemento | 62 |
| 4.4 | Comparación de graficas | 64 |
| 4.5 | Análisis de la resistencia del suelo con respecto a los 7 días de curado y al porcentaje de cemento | 65 |
| 4.6 | Análisis de la resistencia del suelo con respecto a los 14 días de curado y al porcentaje de cemento | 67 |
| 4.7 | Análisis de la resistencia del suelo con respecto a los 28 días de curado y al porcentaje de cemento | 68 |
| 4.8 | Comparación de resultados..... | 70 |
| 4.9 | Tratamiento estadístico descriptivo | 70 |
| 4.9.1 | Medidas de tendencia central | 71 |
| 4.10 | Tratamiento estadístico inferencial..... | 72 |

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | Página | |
|-----|-----------------------|----|
| 5.1 | Conclusiones..... | 74 |
| 5.2 | Recomendaciones | 75 |

Bibliografía

Anexos

Anexo I: Caracterización física de suelos naturales

Anexo II: Suelo con el que se va trabajar

Anexo III: Tratamiento del suelo con cemento

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|--|--------|
| Tabla 1. Variable independiente | 6 |
| Tabla 2. Variable dependiente..... | 6 |
| Tabla 3. Relación general de consistencia y esfuerzo de compresión no confinada..... | 12 |
| Tabla 4. Rangos típicos de resistencia a la compresión no confinada | 15 |
| Tabla 5. Requisitos óptimos de cemento por volumen para estabilización | 16 |
| Tabla 6. Valores de z muy usados para la investigación..... | 20 |
| Tabla 7. Varianza | 21 |
| Tabla 8. Valores de z muy usados para la investigación..... | 24 |
| Tabla 9. Tamaño de la muestra | 25 |
| Tabla 10. Tipo de suelo a usar | 26 |
| Tabla 11. Porcentaje de cemento | 26 |
| Tabla 12. Ensayo granulométrico suelo M-1 | 35 |
| Tabla 13. Resumen de los ensayos de granulometría zona Miraflores | 36 |
| Tabla 14. Resumen de los ensayos de granulometría zona Los Chapacos | 36 |
| Tabla 15. Límite líquido M-1 | 39 |
| Tabla 16. Límite plástico M-1..... | 39 |
| Tabla 17. Resumen de los ensayos de límites de consistencia zona Miraflores | 41 |
| Tabla 18. Resumen de los ensayos de límites de consistencia zona Los Chapacos..... | 41 |
| Tabla 19. Resultados de los ensayos de caracterización física de..... | 41 |
| Tabla 20. Resultados de los ensayos de caracterización física de..... | 42 |
| Tabla 21. Peso específico del suelo..... | 45 |
| Tabla 22. Granulometría por hidrómetro del suelo..... | 46 |
| Tabla 23. Resultados de límites de consistencia del suelo con..... | 51 |
| Tabla 24. Resultados de compactación del suelo con..... | 54 |
| Tabla 25. Resultados del ensayo a compresión inconfineda suelo natural | 56 |
| Tabla 26. Resultados del ensayo a compresión inconfineda suelo-cemento 5% | 57 |
| Tabla 27. Resultados del ensayo a compresión inconfineda suelo-cemento 6% | 58 |
| Tabla 28. Resultados del ensayo a compresión inconfineda suelo-cemento 7% | 60 |

| | |
|--|----|
| Tabla 29. Resultados del ensayo a compresión inconfiada suelo-cemento 8% | 61 |
| Tabla 30. Resultados del ensayo a compresión inconfiada suelo-cemento 9% | 63 |
| Tabla 31. Comparación de resultados | 64 |
| Tabla 32. Diferencia de resistencia a compresión..... | 70 |
| Tabla 33. Intervalos de clases | 70 |
| Tabla 34. Media de datos-media de la media..... | 72 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1. Suelos cohesivos y suelos no cohesivos | 9 |
| Figura 2. Partículas de líquido rodeado de partículas de suelo. | 10 |
| Figura 3. Prueba de compresión no confinada | 11 |
| Figura 4. Equipo de prueba de compresión no confinada..... | 12 |
| Figura 5. Círculos de Mohr para el esfuerzo total y la envolvente de falla | 13 |
| Figura 6. Disgregamiento de partículas, líneas de rotura y fluencia plástica..... | 14 |
| Figura 7. Curva de distribución normal | 20 |
| Figura 8. Localización del proyecto ámbito nacional | 27 |
| Figura 9. Localización del proyecto ámbito departamental | 27 |
| Figura 10. Ubicación de la muestra M-1..... | 28 |
| Figura 11. Ubicación de la muestra M-2..... | 29 |
| Figura 12. Ubicación de la muestra M-3..... | 29 |
| Figura 13. Ubicación de la muestra M-4..... | 30 |
| Figura 14. Ubicación de la muestra M-5..... | 30 |
| Figura 15. Ubicación de la muestra B-1..... | 31 |
| Figura 16. Ubicación de la muestra B-2..... | 31 |
| Figura 17. Ubicación de la muestra B-3..... | 32 |
| Figura 18. Contenido de humedad | 33 |
| Figura 19. Granulometría por método de lavado | 34 |
| Figura 20. Granulometría de agregado fino | 35 |
| Figura 21. Límite líquido | 37 |
| Figura 22. Límite Plástico | 38 |
| Figura 23. Límite líquido | 39 |
| Figura 24. Carta de plasticidad | 40 |
| Figura 25. Calibración de frasco volumétrico..... | 43 |
| Figura 26. Peso específico del suelo | 44 |
| Figura 27. Granulometría por hidrómetro..... | 46 |
| Figura 28. Compactación de suelo | 47 |
| Figura 29. Compresión inconfiada..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 30. Análisis de límite líquido..... | 52 |
| Figura 31. Análisis del límite plástico | 53 |
| Figura 32. Análisis del índice de plasticidad | 54 |
| Figura 33. Análisis de compactación de suelo..... | 55 |
| Figura 34. Humedad óptima vs % de cemento | 56 |
| Figura 35. Curva esfuerzo - deformación 5% de cemento..... | 57 |
| Figura 36. Modelo ajustado cuadrado de Y | 58 |
| Figura 37. Curva esfuerzo-deformación 6% de cemento..... | 59 |
| Figura 38. Modelo ajustado inversa de X | 59 |
| Figura 39. Curva esfuerzo-deformación 7% de cemento..... | 60 |
| Figura 40. Modelo ajustado cuadrado de Y log-X..... | 61 |
| Figura 41. Curva esfuerzo-deformación 8% de cemento..... | 62 |
| Figura 42. Modelo ajustado curva S | 62 |
| Figura 43. Curva esfuerzo deformación 7% de cemento | 63 |
| Figura 44. Modelo ajustado cuadrado de Y Log-X..... | 64 |
| Figura 45. Compresión a los 7,14 y 28 días de edad..... | 65 |
| Figura 46. Análisis de la resistencia suelo-cemento a los 7 días de curado..... | 66 |
| Figura 47. Análisis de la resistencia suelo-cemento a los 14 días de curado..... | 67 |
| Figura 48. Análisis de la resistencia suelo-cemento a los 28 días de curado..... | 69 |
| Figura 49. Histograma y polígono de frecuencia | 71 |