

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS
ARCILLOSOS COMBINADO CON ASERRÍN METÁLICO Y CEMENTO
PORTLAND”

Por:

MAYKOL ROGER LAURA CARO

Proyecto 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 – 2025

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS
ARCILLOSOS COMBINADO CON ASERRÍN METÁLICO Y CEMENTO
PORTLAND”

Por:

MAYKOL ROGER LAURA CARO

Proyecto 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 – 2025

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

A mi madre, Hilda Caro Ortega quien, con todo su esfuerzo, dedicación, paciencia y cariño ha logrado que pueda culminar con mi carrera, apoyándome en cada momento, guiándome para no rendirme y seguir siempre adelante.

A mis hermanos quienes me han brindado su apoyo incondicional en todo momento día a día, motivándome a seguir hasta poder culminar una de mis metas.

A toda mi familia, por haberme ayudado y apoyado de manera directa o indirecta, estando muy cerca de mí e incluso estando lejos, por darme consejos, brindarme su apoyo incondicional, motivarme y ayudándome a ser mejor persona y guiarme hasta poder llegar a ser una buena profesional, quienes han estado junto a mí en esta lucha.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.3.1. Situación problemática.....	3
1.3.2. Problema.....	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Hipótesis.....	5
1.6. Variable de la hipótesis.....	5
1.6.1. Variable independiente.....	5
1.6.2. Variable dependiente.....	5
1.7. Operacionalización de variables.....	5
1.7.1. Variable independiente.....	6
1.7.2. Variable dependiente.....	7
1.8. Diseño metodológico.....	8
1.8.1. Unidad de estudio.....	8
1.8.2. Población.....	9
1.8.3. Muestra.....	9
1.8.4. Muestreo.....	11

1.8.5. Métodos y técnicas empleadas para la recolección de información.....	12
1.8.6. Procesamiento para el análisis y la interpretación de la información.....	13
1.8.7. Plan de procesamiento de información.....	13
1.8.8. Plan de análisis e interpretación de resultados.....	14
1.9. Alcance de la investigación.....	14

CAPÍTULO II

CONSIDERACIONES GENERALES DE LA ESTABILIZACIÓN

	Página
2.1. Antecedentes.....	16
2.2. Suelo.....	16
2.3. Suelo arcilloso.....	18
2.4. Propiedades de la arcilla.....	19
2.4.1. Plasticidad.....	19
2.4.2. Tixotropía.....	19
2.4.3. Hinchamiento.....	19
2.4.5. Tenacidad.....	19
2.4.6. Sedimentación o dispersión.....	20
2.4.7. Dilatancia.....	20
2.4.8. Cohesión.....	20
2.4.9. Peso específico (densidad).....	20
2.4.10. Porosidades y humedad.....	20
2.5. Teoría de los ensayos que determina las propiedades de los suelos.....	21
2.5.1 Humedad de los suelos.....	21

2.5.2. Granulometría de los suelos.....	21
2.5.3. Límites de Atterberg.....	25
2.5.4. Estados de consistencia.....	26
2.5.5. Límite Líquido.....	26
2.5.6. Límite Plástico	26
2.5.7. Plasticidad de los suelos.....	27
2.5.8. Clasificación del suelo.....	28
2.5.9. Clasificación del suelo mediante Sistema Unificados de Clasificación de Suelos (SUCS).....	28
2.5.10. Sistema de clasificación AASHTO.....	30
2.5.11. Compactación.....	33
2.5.12. Finalidad de la compactación.....	34
2.5.13. Procedimientos para encontrar los valores máximos de la curva de compactación.....	35
2.5.14. Grado de compactación.....	35
2.5.15. Curva de compactación.....	35
2.5.16. Humedad óptima.....	36
2.5.17. Densidad seca máxima.....	36
2.5.18. Capacidad de Soporte de los Suelos.....	36
2.5.19. El Valor Relativo de Soporte (Ensayo CBR)	36
2.6. Propiedades físicas del suelo.....	39
2.6.1. Color.....	39
2.6.2. Textura.....	39
2.6.3. Estructura.....	40
2.7. Aserrín Metálico.....	40

2.7.1. Composición del aserrín metálico.....	40
2.7.2. Ventajas del uso del aserrín metálico.....	41
2.8. Cemento Portland.....	42
2.8.1. Composición química del cemento.....	42
2.8.2. Hidratación del cemento.....	43
2.8.3. Cemento Portland Tipo I.....	43
2.9. Subrasante.....	45
2.9.1. El índice CBR en la evaluación de la calidad de una subrasante.....	46
2.9.2. Características que deben cumplir los suelos para conformar una subrasante.....	47
2.9.3. Interrelación subrasante–pavimento	48
2.10. Estabilización de Suelos.....	49
2.10.1. Controlar cambios volumétricos.....	50
2.10.2. Aumentar la resistencia.....	50
2.10.3. Durabilidad.....	51
2.10.4. Reducir la permeabilidad.....	51
2.10.5. Reducir la compresibilidad.....	51
2.10.6. Disminuir la plasticidad.....	52
2.11. Estabilización mecánica.....	53
2.12. Estabilización física.....	54
2.13. Estabilización química.....	54
2.14. Ventajas de la estabilización.....	56
2.15. Selección del estabilizante.....	56
2.16. Evaluación de Método de Estabilización.....	57

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

	página
3.1. Introducción.....	59
3.2. Ubicación de la muestra para la investigación.....	59
3.3. Toma de muestra del suelo arcilloso.....	60
3.4. Obtención del material aditivo (Aserrín metálico)	61
3.5. Obtención del material aditivo (Cemento Portland)	63
3.6. Recolección de datos.....	64
3.6.1. Análisis Mecánico de los suelos.....	64
3.6.2. Peso específico.....	64
3.6.3. Análisis granulométrico.....	66
3.6.4. Límites de Atterberg.....	68
3.6.5. clasificación de los suelos ensayados.....	71
3.6.6. Compactación (densidad máxima y humedad óptima de suelo)	72
3.6.7. Capacidad de Soporte (C.B.R)	74

CAPÍTULO IV

COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

	página
4.1. Comparación y análisis granulométrico.....	78
4.2. Comparación y análisis del límite de Atterberg.....	80
4.3. Comparación y análisis de la densidad máxima y humedad óptima (Proctor modificado).....	83
4.4. Comparación y análisis de la capacidad de soporte (C.B.R.)	87

4.5. Verificación de la Hipótesis.....	90
4.6. Evaluación técnica y económica de la propuesta de estabilización.....	93
4.6.1. Evaluación técnica.....	93
4.6.2. Evaluación económica.....	95

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones.....	100
5.2. Recomendaciones.....	102

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A REPORTE FOTOGRÁFICO

ANEXO B ENSAYO HUMEDAD DEL SUELO NATURAL

ANEXO C ENSAYO PESO ESPECÍFICO

ANEXO D ENSAYO GRANULOMÉTRICO

ANEXO E LÍMITES DE ATTERBERG

ANEXO F CLASIFICACIÓN DEL SUELO MAS COMBINACIONES

ANEXO G ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (COMPACTACIÓN)

ANEXO H ENSAYO CAPACIDAD DE SOPORTE (C.B.R.)

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1. Operacionalización de la variable independiente.....	6
Tabla N° 2. Operacionalización de la variable dependiente.....	7
Tabla N° 3. Coordenadas de la unidad de estudio.....	8
Tabla N° 4. Coordenadas de la población.....	9
Tabla N° 5. Cantidad de muestra a utilizar para cada ensayo.....	10
Tabla N° 6. Cantidad de muestra a utilizar para cada ensayo.....	11
Tabla N° 7. Técnicas y Métodos para la recolección de la información.....	12
Tabla N° 8. Clasificación de un suelo según el tamaño de sus partículas.....	23
Tabla N° 9. Clasificación de un suelo según su índice de plasticidad.....	27
Tabla N° 10. Caracterización de la plasticidad de un suelo.....	28
Tabla N° 11. Clasificación de suelos.....	29
Tabla N° 12. Requerimiento inicial para la estabilización suelo-cemento.....	30
Tabla N° 13. Condición del suelo de subrasante según su índice de grupo.....	31
Tabla N° 14. Sistema de clasificación AASHTO.....	32
Tabla N° 15. Rango de cemento requerido.....	32
Tabla N° 16. Correlación entre los sistemas de SUCS y AASHTO.....	33
Tabla N° 17. Clasificación de suelos según el valor de C.B.R.....	38
Tabla N° 18. Características físicas y químicas del metal.....	41
Tabla N° 19. Principales componentes del cemento portland.....	43
Tabla N° 20. Características del cemento Portland Tipo I.....	44
Tabla N° 21. Especificaciones químicas para los cementos TIPO 1.....	45

Tabla N° 22. Valores del CBR.....	47
Tabla N° 23. Coordenadas de la ubicación de la muestra arcillosa de baja plasticidad.....	59
Tabla N° 24. Coordenadas de la ubicación de la muestra arcillosa de alta plasticidad.....	60
Tabla N° 25. Coordenadas de la Tornería López.....	62
Tabla N° 26. Coordenadas de los comercios del cemento portland.....	63
Tabla N° 27. Materiales para el peso específico.....	65
Tabla N° 28. Resultados del peso específico de cada material.....	65
Tabla N° 29. Tamices para fracción fina.....	66
Tabla N° 30. Materiales para granulometría.....	66
Tabla N° 31. Resultados de la granulometría del suelo arcilloso de baja plasticidad.....	67
Tabla N° 32. Resultados de la granulometría del suelo arcilloso de alta plasticidad.....	68
Tabla N° 33. Material para Límites de Atterberg.....	68
Tabla N° 34. Resultados límites de Atterberg de la muestra arcillosa de baja plasticidad.....	69
Tabla N° 35. Resultados límites de Atterberg de la muestra arcillosa de alta plasticidad.....	70
Tabla N° 36. Clasificación mediante AASHTO Y SUCS de la arcilla de baja plasticidad.....	71
Tabla N° 37. Clasificación mediante AASHTO Y SUCS de la arcilla de alta plasticidad.....	72

Tabla N° 38. Materiales para compactación.....	72
Tabla N° 39. Resultados del ensayo de compactación	
(arcilla de baja plasticidad)	73
Tabla N° 40. Resultados del ensayo de compactación	
(arcilla de alta plasticidad)	73
Tabla N° 41. Materiales para C.B.R.....	75
Tabla N° 42. Resultados de capacidad de soporte	
(C.B.R. arcilla de baja plasticidad).....	76
Tabla N° 43. Resultados de capacidad de soporte	
(C.B.R. arcilla de alta plasticidad).....	76
Tabla N° 44. Espesor de la capa a estabilizar.....	95
Tabla N° 45. Longitud y ancho de la vía.....	96
Tabla N° 46. Análisis de precios unitarios por m ³ con cemento.....	97
Tabla N° 47. Análisis de precios unitarios por m ³ con aserrín metálico.....	98
Tabla N°48. Análisis de costos de la estabilización	
de cemento portland y aserrín metálico.....	99

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico N° 1. Localización de la unidad de estudio.....	8
Gráfico N° 2. Localización de la población de la muestra de arcilla.....	9
Gráfico N° 3. Sacado de muestra de arcilla de baja plasticidad.....	10
Gráfico N° 4. Sacado de muestra de arcilla de alta plasticidad.....	11
Gráfico N° 5. Detalle del punto de muestreo.....	12
Gráfico N° 6. Idealización de las fases del suelo y definición de variables.....	18
Gráfico N° 7. Conjunto de mallas para el análisis mecánico de suelo.....	22
Gráfico N° 8. Ejemplo de curva granulométrica.....	24
Gráfico N° 9. Tipos diferentes de curvas granulométricas.....	24
Gráfico N° 10. Variación de la plasticidad según el contenido de humedad.....	26
Gráfico N° 11. Límite de Atterberg (Carta de plasticidad)	28
Gráfico N° 12. Principio de la compactación.....	34
Gráfico N° 13. Transmisión de carga de una rueda hacia la subrasante.....	49
Gráfico N° 14. Compactación mediante maquinaria.....	53
Gráfico N° 15. Estabilización de suelo mediante mezcla de suelos.....	54
Gráfico N° 16. Compactación mediante aditivos químicos.....	55
Gráfico N° 17. Ubicación de la muestra arcillosa de baja plasticidad.....	59
Gráfico N° 18. Ubicación de la muestra arcillosa de alta plasticidad.....	60
Gráfico N° 19. Muestra de arcilla mediante calicata.....	61
Gráfico N°20. Obtención del aserrín metálico en Tornería López.....	62
Gráfico N°21. Aserrín Metálico.....	63

Gráfica N°22. Obtención del cemento portland (comercios).....	63
Gráfico N° 23. Cemento Portland.....	64
Gráfico N° 24. Calibración del frasco.....	65
Gráfico N° 25. Lavado de muestra.....	66
Gráfico N °26. Casa grande límite líquido.....	68
Gráfico N° 27. Molde de compactación.....	72
Gráfico N° 28. C.B.R. Tester.....	75
Gráfico N° 29. Análisis granulométrico de la arcilla de baja plasticidad.....	78
Gráfico N° 30. Análisis granulométrico de la arcilla de alta plasticidad.....	79
Gráfico N° 31. Análisis de los límites de Atterberg de la arcilla de baja plasticidad.....	80
Gráfico N° 32. Análisis de los límites de Atterberg de la arcilla de alta plasticidad.....	81
Gráfico N° 33. Análisis de la densidad máxima de la arcilla de baja plasticidad.....	83
Gráfico N° 34. Análisis de la densidad máxima de la arcilla de alta plasticidad.....	84
Gráfico N° 35. Análisis de la humedad óptima de la arcilla de baja plasticidad.....	85
Gráfico N° 36. Análisis de la humedad óptima de la arcilla de alta plasticidad.....	86
Gráfico N° 37. Análisis de capacidad de soporte de la arcilla de baja plasticidad.....	87
Gráfico N° 38. Análisis de capacidad de soporte	

de la arcilla de alta plasticidad.....	89
Gráfico N° 39. Verificación y comparación del suelo	
más aserrín metálico.....	91
Gráfico N° 40. Verificación y comparación del suelo	
más cemento portland.....	92