

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS
COMBINÁNDOLOS CON AGREGADOS DE DESECHOS DE
CONSTRUCCIONES EN PRUEBAS FÍSICAS Y MECÁNICAS”**

POR:

SAÚL RODRIGO MARQUEZ RAMOS

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 II - 2025

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

A mis padres.

Agradecer el gran esfuerzo que hacen día a día para ayudarme a ser una mejor persona y conseguir mis objetivos, ya que, sin su ayuda, consejos y compañía, no lo hubiera podido lograr.

ÍNDICE

Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen.....	iv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	página
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Situación problemática.....	2
1.2.1 Problema.....	2
1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema.....	2
1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Operacionalización de variables.....	4
1.6.1 Variable dependiente.....	4
1.6.2 Variable independiente.....	5
1.7 Identificación del tipo de investigación.....	6
1.8 Unidades de estudio y decisión muestral.....	6

1.8.1	Unidad de estudio.....	6
1.8.2	Población.....	6
1.8.3	Muestra.....	7
1.8.4	Selección de las técnicas de muestreo.....	7
1.9	Métodos y técnicas empleadas.....	7
1.9.1	Métodos.....	7
1.9.2	Técnicas.....	7
1.10	Procesamiento de la información.....	7
1.11	Alcance de la investigación.....	8

Capítulo II

CBR EN SUB RASANTES

		página
2.1	Suelo.....	10
2.2	Suelos cohesivos.....	11
2.3	Propiedades físicas y mecánicas de los suelos.....	12
2.3.1	Propiedades físicas de los suelos.....	12
2.3.2	Propiedades mecánicas de los suelos.....	12
2.4	Estudios de los suelos.....	13
2.4.1	Granulometría.....	13
2.4.2	Límites de Atterberg.....	13
2.4.3	Compactación.....	14
2.4.4	Estudio de CBR.....	18
2.5	La estabilización del suelo.....	19
2.5.1	Materiales utilizados en a estabilización de suelos.....	20
2.5.2	Tipos de estabilización.....	21

2.5.3	Propiedades físico-químicas.....	23
2.6	Sub rasante	25
2.6.1	CBR en la subrasante	25
2.7	Agregados de desecho.....	26

Capítulo III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

		página
3.1	Ubicación del proyecto.....	29
3.2	Características de la zona de estudio.....	33
3.3	Caracterización preliminar de las muestras.....	38
3.4	Metodología empleada.....	40
3.5	Caracterización de la muestra	40
3.5.1	Determinación del contenido de humedad del suelo (ASTM D2216).....	41
3.5.2	Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 – AASHTO T88).....	42
3.5.3	Determinación del límite líquido de los suelos (ASTM D4318 - AASHTO T89).....	43
3.5.4	Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318 AASHTO T90)	44
3.5.5	Clasificación de suelos (método AASHTO).....	45
3.5.6	Relaciones de peso unitario – humedad en los suelos – método modificado (ASTM D422 - AASHTO T180).....	45
3.5.7	Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 - AASHTO T193)	47
3.6	Caracterización del aditivo.....	48
3.6.1	Análisis granulométrico por tamizado	49
3.6.2	Peso específico y absorción del agregado fino.....	50
3.6.3	Peso específico y absorción del agregado grueso	51

3.6.4	Determinación del porcentaje de desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de los ángeles.....	52
3.7	Caracterización de la muestra combinada con el aditivo	53
3.7.1	Relaciones de peso unitario – humedad en los suelos – método modificado (ASTM D422 - AASHTO T180).....	54
3.7.2	Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 - AASHTO T193)	55

Capítulo IV

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

		página
4.1	Introducción	60
4.2	Análisis de los valores de CBR a 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración.....	60
4.2.1	CBR para sub rasante P4 y P5, con aditivo compuesto por 50% de concreto y 50% de ladrillo.....	61
4.2.2	CBR para subrasante en P4 y P5, con aditivo compuesto en un 100% de concreto 65	
4.2.3	CBR para subrasante en P4 y P5, con aditivo compuesto en un 100% de ladrillo	66
4.2.4	Análisis del porcentaje optimo de aditivo a emplear	67
4.3	Análisis estadístico.....	73
4.3.1	Estadística descriptiva.....	73
4.3.2	Estadística inferencial	80
4.4	Prueba de hipótesis.....	82
4.5	Especificaciones técnicas.....	91

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	página
5.1 Conclusiones.....	93
5.2 Recomendaciones.....	95

Bibliografía

Anexo I Características del suelo natural

Anexo II Características de los agregados de desecho de construcciones

Anexo III Pruebas CBR suelo – agregados de desecho de construcciones

Anexo IV Pruebas CBR suelo – porcentaje óptimo de agregados de desecho de construcciones

Anexo V Análisis de precios unitarios de la estabilización de sub rasante usando agregados de desecho como agente estabilizante

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Composición de los suelos.....	10
Figura2. Molde y martillo Proctor estándar.....	15
Figura 3. Martillo utilizado en el ensayo Proctor T-180.....	16
Figura 4. Curvas de compactación de diferentes tipos de suelos.....	16
Figura 5. Influencia del porcentaje de humedad.....	17
Figura 6. Efecto de los cambios en la energía de compactación.....	18
Figura 7. Relación del CBR.....	19
Figura 8. Ubicación geográfica del departamento de Tarija.....	29
Figura 9. Ubicación del estudio a nivel departamental.....	30
Figura 10. Ubicación del estudio a nivel provincial.....	31
Figura 11. Ubicación de las zonas de estudio.....	32
Figura 12. Subrasante segunda circunvalación.....	33
Figura 13. Subrasante de calles aledañas.....	34
Figura 14. Caracterización de la muestra.....	41
Figura 15. Ensayo de contenido de humedad.....	42
Figura 16. Ensayo de granulometría.....	43
Figura 17. Ensayo de limite liquido.....	44
Figura 18. Ensayo de limite plástico.....	44
Figura 19. Compactación Proctor T-180.....	46
Figura 20. Ensayo CBR.....	47
Figura 21. Caracterización del aditivo.....	49
Figura 22. Granulometría del aditivo.....	50
Figura 23. Peso específico del agregado fino.....	51

Figura 24. Peso específico del agregado grueso	52
Figura 25. Desgaste de los ángeles del aditivo.....	53
Figura 26. Compactación T-180.....	54
Figura 27. Ensayo CBR.....	56
Figura 28. Valores CBR - combinado.....	61
Figura 29. Comparación de valores CBR P4.....	63
Figura 30. Comparación de valores CBR P5	64
Figura 31. Valores CBR-puro concreto.....	65
Figura 32. Valores CBR – puro ladrillo.....	66
Figura 33. Análisis de CBR-P4 zona 15 de junio.....	67
Figura 34. Análisis de CBR -P5 zona santa fe.....	68
Figura 35. Aplicación de la condición de CBR para una sub rasante regular.....	70
Figura 36. CBR optimo P5.....	72
Figura 37. CBR optimo a 0.1 in.....	74
Figura 38. Histograma para 0.1 in.....	75
Figura 39. Polígono de frecuencias acumuladas 0.1 in.....	76
Figura 40. CBR optimo a 0.2 in.....	77
Figura 41. Histograma para 0.2 in.....	78
Figura 42. Polígono de frecuencias acumuladas a 0.2 in.....	79
Figura 43. Tabla de valores críticos de la distribución t de student.....	85
Figura 44. Tabla de valores críticos de la distribución t de student.....	88
Figura 45. Valores de CBR a 0.1 con el porcentaje optimo del aditivo para P5.....	89
Figura 46. Valores de CBR a 0.2 con el porcentaje optimo del aditivo para P5.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 variable independiente	4
Tabla 2 variable independiente	5
Tabla 3. Categorías de sub rasantes	26
Tabla 4. Composición de los agregados de desecho	27
Tabla 5. Zonas de estudio.....	32
Tabla 6. Zona chapacos 2.....	34
Tabla 7. Zona fray quebracho.....	35
Tabla 8. Zona alto san mateo.....	36
Tabla 9. Zona 15 de junio.....	36
Tabla 10. Zona santa fe.....	37
Tabla 11. Caracterización preliminar de las muestras.....	38
Tabla 12. Puntos seleccionados.....	39
Tabla 13 contenido de humedad.....	42
Tabla 14. Granulometría	43
Tabla 15. Límites de ATTERBERG	45
Tabla 16. Caracterización de suelos.....	45
Tabla 17. Compactación T-180.....	46
Tabla 18. CBR suelo natural	48
Tabla 19. Granulometría del aditivo	50
Tabla 20. Peso específico agregado fino.....	51
Tabla 21. Peso específico agregado grueso.....	52
Tabla 22. Desgaste de los ángeles.....	53
Tabla 23. Compactación suelo-aditivo.....	55

Tabla 24. Compactación suelo-%optimo de aditivo	55
Tabla 25. CBR suelo-aditivo.....	56
Tabla 26. CBR suelo-ladrillo	57
Tabla 27. CBR suelo-hormigón	57
Tabla 28. CBR porcentaje optimo de aditivo.....	57
Tabla 29. Resumen de resultados.....	59
Tabla 30. Resumen de resultados del aditivo.....	59
Tabla 31. Análisis de resultados.....	68
Tabla 32. Categorías de sub rasantes	69
Tabla 33. Valores de CBR optimo.....	71
Tabla 34. Resultados de CBR.....	73
Tabla 35. Estadística descriptiva.....	74
Tabla 36. Frecuencias relativa y acumulada	75
Tabla 37. Resultados de CBR	76
Tabla 38. Estadística descriptiva.....	78
Tabal 39. Frecuencia relativa y acumulada.....	78
Tabla 40. Parámetros para 0.1 in.....	80
Tabla 41. Intervalo de confianza.....	81
Tabla 42. Parámetros para 0.2 in.....	82
Tabla 43. Parámetros estadísticos para 0.1 in.....	84
Tabla 44. Parámetros estadísticos para 0.2 in.....	87