

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



**“ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE USANDO CANTERAS  
DE LA ZONA CON ADICIÓN DE SAL EN EL CAMINO ANTIGUO  
CANALETAS-ENTRE RÍOS”**

**Por:**

**OVANDO RUEDA SHIRLEN ESTEFANI**

Proyecto presentado a consideración de la “**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**”, como requisito para optar el grado académico de licenciatura en ingeniería civil

**Semestre II– 2023**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE USANDO CANTERAS  
DE LA ZONA CON ADICIÓN DE SAL EN EL CAMINO ANTIGUO  
CANALETAS-ENTRE RÍOS”**

**Por:**

**OVANDO RUEDA SHIRLEN ESTEFANI**

**Semestre II - 2023**  
**TARIJA – BOLIVIA**

### **DEDICATORIA.**

A mis padres Flavia y Luis, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica como en la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. A mis hermanos, Eisen, Leyni quienes fueron mis shugar brothers y a mi abuelita Victoria por darme el amor más puro y transparente en la vida.

# ÍNDICE GENERAL

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Situación problemática .....	2
1.2.1. Problema .....	3
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema.....	3
1.2.3. Delimitación temporal y espacial de la investigación.....	4
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.4. Hipótesis .....	4
1.5. Justificación .....	4
1.6. Operacionalización de las variables.....	5
1.6.1. Variable independiente .....	5
1.6.2. Variable dependiente .....	5
1.7. Identificación del tipo de Investigación.....	6
1.8. Unidad de estudio y decisión muestral.....	6
1.8.1. Unidad de estudio.....	6
1.8.2. Población.....	7
1.8.3. Muestra.....	7
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo.....	7
1.8. Métodos y técnicas empleadas.....	7
1.9.1. Métodos.....	8

1.9.2.	Técnicas.....	8
1.10.	Procesamiento de la información .....	8
1.11.	Alcance de la investigación.....	8

## **CAPÍTULO II**

### **ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE**

		Página
2.1.	Carretera.....	10
2.1.1.	Clasificación de carreteras según su rodadura .....	11
2.1.1.1.	Pavimentos flexibles.....	11
2.1.1.2.	Pavimentos rígidos.....	12
2.1.2.	Definición de las capas de un pavimento.....	12
2.1.2.1.	Capa de rodadura .....	12
2.1.2.2.	Capa base .....	12
2.1.2.3.	Capa sub base.....	14
2.1.2.4.	Capa de fundación o subrasante .....	15
2.2.	Estabilización de suelos .....	16
2.2.1.	Estabilización mecánica.....	18
2.2.2.	Estabilización química .....	19
2.2.2.1.	Estabilización con cal .....	19
2.2.2.2.	Estabilización con productos asfálticos.....	20
2.2.2.3.	Estabilización con polímeros y resinas.....	21
2.2.2.4.	Estabilización con caucho de neumáticos.....	22
2.2.2.5.	Estabilización con sal .....	22
2.3.	Definición de canteras.....	25
2.3.1.	Clasificación de cantera .....	25

2.3.1.1.	Según su origen.....	25
2.3.1.2.	Según el tipo de explotación .....	26
2.3.2.	Procesos realizados en las canteras .....	26
2.3.3.	Usos del material extraídos de las canteras.....	27
2.4.	Rocas .....	27
2.4.1.	Tipos de rocas.....	28
2.4.1.1.	Las rocas Ígneas .....	28
2.4.1.2.	Rocas Metamórficas .....	29
2.4.1.3.	Rocas Sedimentarias.....	30
2.4.2.	Propiedades físicas de las rocas .....	32
2.4.2.1.	La porosidad .....	33
2.4.2.2.	Peso específico .....	34
2.4.2.3.	La permeabilidad.....	34
2.4.2.4.	La durabilidad.....	35
2.4.2.5.	La resistencia a compresión simple .....	35
2.4.2.6.	La resistencia a tracción. ....	36
2.4.2.7.	La velocidad de propagación de las ondas .....	37
2.5.	Definición de suelos .....	37
2.5.1.	Características de los suelos .....	38
2.5.1.1.	Tamaño de las partículas del suelo .....	38
3.1.	Materiales empleados en el estudio.....	46
3.1.1.	Ubicación de calicatas.....	47
3.1.1.1	Proceso de extraccion de muestras del tramo Canaletas Entre Rios.....	48
3.1.2.	Ubicación de canteras de rocas .....	49
3.1.2.1.	Proceso de extraccion de muestras de los agregados de canteras .....	56

3.1.3.	Ubicación de las canteras de sal.....	57
3.1.3.1.	Proceso de extracción de Sal.....	62
3.2.	Caracterización de los materiales usados en el estudio.....	63
3.2.1.	Caracterización del suelo del tramo Canaletas Entre Ríos.....	63
3.2.1.1.	Contenido de humedad .....	63
3.2.1.2.	Granulometría de suelos (ASTM D422; AASHTO T88).....	64
3.2.1.3.	Determinación de consistencia de los suelos.....	66
3.2.1.4.	Ensayo de compactación (AASHTO T272).....	68
3.2.1.5.	Determinación del CBR (ASTM D1883; AASHTO T193) .....	69
3.2.1.6.	Clasificación de suelos .....	70
3.2.2.	Caracterización de sal.....	70
3.2.2.1.	Análisis de laboratorio.....	70
3.2.2.2.	Visualización microscópica.....	71
3.2.3.	Caracterización de rocas.....	72
3.2.3.1.	Peso específico y absorción (ASTM E127; AASHTO 785-91).....	72
3.2.3.2.	Resistencia a compresión simple de rocas.....	73
3.2.3.3.	Visualización microscópica de rocas.....	74
3.2.3.4.	Clasificación de Rocas .....	75
3.2.3.5.	Granulometría de la Cantera más favorable .....	76
3.3.	Elección del suelo más desfavorable para la estabilización .....	77
3.3.1.	Determinación del contenido orgánico por ignición (AASHTO T267) .....	78
3.4.	Aplicación de diferentes tamaños de sal en grano en el suelo natural.....	79
3.4.1.	Consistencia del suelo incorporando diferente tamaño de sal en grano .....	79
3.4.2.	Compactación del suelo incorporando diferentes tamaños de sal en grano ...	80
3.4.3.	CBR del suelo incorporando diferentes tamaños de sal en grano .....	81

3.5.	Aplicación de sal en grano en diferentes porcentajes para la estabilización .....	82
3.5.1.	Determinación de consistencia de los suelos .....	82
3.5.2.	Ensayo de compactación (AASHTO T272) .....	83
3.5.3.	Determinación del CBR de laboratorio (ASTM D1883; AASHTO T193) .....	84
3.6.	Aplicación de la solución de salmuera para la estabilización.....	85
3.6.1.	Determinación de consistencia de los suelos .....	85
3.6.2.	Ensayo de compactación (AASHTO T272) .....	86
3.6.3.	Determinación del CBR de laboratorio (ASTM D1883; AASHTO T193) .....	87
3.7.	Método gráfico para la combinación de agregados .....	88
3.8.	Aplicación de grava a la subrasante.....	90
3.8.1.	Ensayo de compactación (AASHTO T272) .....	90
3.8.2.	Determinación del CBR de laboratorio (ASTM D1883; AASHTO T193) .....	91
3.9.	Combinación mixta para la estabilización .....	92
3.9.1.	Ensayo de compactación (AASHTO T272) .....	92
3.9.2.	Determinación del CBR de laboratorio (ASTM D1883; AASHTO T193) .....	92
3.10.	Diseño de espesores método AASTHO 93.....	93
3.11.	Análisis de costos.....	94
3.11.1.	Costos con subrasante mejorada y no mejorada del paquete estructural .....	95
3.11.1.1.	Costos por progresiva con subrasante sin mejorar .....	95
3.11.1.2.	Costos por progresiva con subrasante mejorado.....	96
3.11.2.	Costos de subrasante mejorada .....	98

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADO**

	Página
4.1. Resumen de resultados.....	101
4.1. Análisis de resultados de la composición química de la sal.....	109
4.2. Análisis de resultados en los límites de consistencia incorporando sal .....	110
4.4. Análisis de resultados en la compactación incorporando sal .....	111
4.5. Análisis de resultados en el CBR incorporando sal .....	112
4.6. Análisis de la expansión, incorporando sal .....	113
4.7. Análisis general en la estabilización Química .....	114
4.5. Análisis de resultados de la combinación mixta .....	114
4.5.1. Análisis de resultados en la compactación incorporando sal y grava .....	114
4.5.2. Análisis de resultados en la compactación incorporando sal y agregado. ....	115
4.7. Análisis de resultados de espesores.....	117
4.8. Análisis de resultados de costos.....	119

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones.....	122
5.2. Recomendaciones.....	124

### BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

ANEXO 1 Carta de validación del uso de laboratorio

ANEXO 2 Caracterización de calicatas

ANEXO 3 Materia orgánica del suelo más desfavorable

ANEXO 4 Combinación del suelo desfavorable con diferentes tamaños de sal

ANEXO 5 Combinación del suelo desfavorable con porcentajes de sal granulada

ANEXO 6 Combinación del suelo desfavorable con porcentajes de salmuera

ANEXO 7 Caracterización de rocas

ANEXO 8 Aplicación de grava a la subrasante

ANEXO 9 Combinación mixta con porcentajes óptimos de sal

ANEXO 10 Diseño de espesores, método AASTHO 93

ANEXO 11 Precios unitarios.

ANEXO 12 Cómputos métricos.

ANEXO 13 Elaboración de Costos.

ANEXO 14 Análisis químico de la sal en CEANID

ANEXO 15 Reporte de conteo vehicular

ANEXO 16 Tablas varias

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Imagen 1. Tipo de pavimentos .....	11
Imagen 2. Estabilización mecánica, sustitución de suelos .....	18
Imagen 3. Combinación grafica de agregados .....	19
Imagen 4. Estabilización con cal.....	20
Imagen 5. Estabilización de suelos con asfalto.....	21
Imagen 6. Estabilización de suelos con polímeros.....	21
Imagen 7. Estabilización con caucho de neumático.....	22
Imagen 8. Riego con salmuera para disminuir el polvo.....	24
Imagen 9. Características de las rocas Ígneas según su color .....	28
Imagen 10. Características de las rocas Ígneas según su color .....	29
Imagen 11. Características de las rocas metamórficas según su tamaño de grano .....	30
Imagen 12. Características de las rocas metamórficas según su estructura .....	30
Imagen 13. Características de las rocas sedimentarias según su tamaño de grano .....	31
Imagen 14. Características de las rocas sedimentarias según su forma de grano .....	32
Imagen 15. Composición del Suelo .....	37
Imagen 16 Clasificación de suelos SUCCS. ....	43
Imagen 17. Carta de plasticidad Casagrande .....	44
Imagen 18. Coordenadas del tramo Canaletas .....	46
Imagen 19. Tramo antiguo Canaletas – Entre Ríos.....	46
Imagen 20. Ubicación satelital de calicatas .....	47
Imagen 21. Muestreo de calicatas .....	48
Imagen 22. Ubicación satelital de las canteras de rocas .....	49
Imagen 23. Zonificación de los agregados de cantera .....	50
Imagen 24. Cantera 1 San Simon satelital .....	51
Imagen 25. Cantera 1 San Simón.....	51
Imagen 26. Cantera 2 San Diego satelital .....	52
Imagen 27. Cantera 2 San Diego.....	52
Imagen 28. Cantera 3 Moreta satelital .....	53

Imagen 29. Cantera 3 Moreta.....	53
Imagen 30. Cantera 4 Los Naranjos.....	54
Imagen 31. Cantera 4 Los Naranjos.....	54
Imagen 32. Cantera 5 Narváez satelital.....	55
Imagen 33. Cantera 5 Narváez.....	55
Imagen 34. Procesos de extracción de los agregados de canteras.....	56
Imagen 35. Ubicación de la Beta de sal.....	57
Imagen 36. Distancia de las canteras de sal.....	58
Imagen 37. Zonificación de las canteras de sal.....	59
Imagen 38. Cantera1 Taquillos de sal.....	60
Imagen 39. Cantera 2 taquillos de sal.....	60
Imagen 40. Cantera 3 Saladito de sal.....	61
Imagen 41. Proceso de extracción de sal.....	62
Imagen 42. Identificación de tres tipos de sal.....	62
Imagen 43. Determinación del contenido de humedad.....	63
Imagen 44. Método mecánico para determinar la granulometría.....	64
Imagen 45. Método del lavado para determinar la granulometría.....	65
Imagen 46. Límite líquido de los suelos.....	66
Imagen 47. Límite plástico.....	67
Imagen 48. Proctor modificado.....	68
Imagen 49. Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio.....	69
Imagen 50. Visualización microscópica de sal rosada.....	71
Imagen 51. Visualización microscópica de sal blanca.....	71
Imagen 52 Visualización microscópica de la sal combinada.....	72
Imagen 53. Ensayo de peso específico y absorción.....	72
Imagen 54. Ensayo de resistencia a compresión simple de rocas.....	73
Imagen 55. Granulometría de rocas.....	76
Imagen 56. Situación actual del tramo a estabilizar.....	77
Imagen 57. Determinación del contenido orgánico por ignición.....	78
Imagen 58. Límites de consistencia con diferente tamaño de sal en grano.....	79
Imagen 59. Densidad máxima y humedad optima con diferentes tamaños de sal.....	80

Imagen 60. Grafica CBR aplicando diferentes tamaños de sal en grano .....	81
Imagen 61. Consistencia de suelos incorporando sal en grano .....	82
Imagen 62. Ensayo de compactación incorporando sal en grano .....	83
Imagen 63. Ensayo del CBR. Incorporando sal en grano .....	84
Imagen 64. Ensayo de consistencia de suelos incorporando solución de salmuera.....	85
Imagen 65. Ensayo de compactación incorporando solución de salmuera .....	86
Imagen 66. Ensayo del CBR incorporando solución de salmuera.....	87
Imagen 67. Método grafico para definir porcentajes de agregados. ....	89
Imagen 68. Paquete estructural .....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Cuadro diagnóstico de variables dependientes e independientes.....	6
Tabla 2. Gradaciones para materiales base .....	13
Tabla 3. Gradaciones para materiales de sub base .....	14
Tabla 4. Clasificación y uso del suelo según el valor del CBR .....	16
Tabla 5. Clasificación geológica general de las rocas.....	27
Tabla 6. Propiedades de la matriz rocosa y métodos para su determinación .....	33
Tabla 7. Valores típicos del peso específico y porosidad de las rocas.....	34
Tabla 8. Valores de resistencia de la matriz rocosa sana. ....	36
Tabla 9. Sistema para identificar el tamaño de partículas del suelo .....	38
Tabla 10. Sistema de clasificación AASHTO.....	40
Tabla 11. Prefijos y sufijos del suelo. ....	41
Tabla 12. Combinaciones en función de los prefijos y sufijos del suelo .....	41
Tabla 13. Ubicación de calicatas.....	47
Tabla 14. Ubicación de canteras .....	49
Tabla 15. Ubicación geográfica de las canteras se sal .....	58
Tabla 16. Resultado de contenido de humedad de las diferentes calicatas.....	64

Tabla 17. Resultado de granulometría de las diferentes calicatas.....	65
Tabla 18. Resultado de límite líquido y plástico de las diferentes calicatas .....	67
Tabla 19. Resultado de densidad máxima y humedad óptima de calicatas .....	68
Tabla 20. Resultados del CBR de las diferentes calicatas .....	69
Tabla 21. Clasificación de suelos según AASHTO .....	70
Tabla 22. Componentes de la sal blanca y rosada.....	70
Tabla 23. Peso específico y absorción de rocas .....	73
Tabla 24. Resistencia a compresión de las diferentes canteras .....	73
Tabla 25. Visualización microscópica de las diferentes canteras de rocas .....	74
Tabla 26. Clasificación de rocas .....	75
Tabla 27. Granulometría de la cantera 3 de Moreta.....	76
Tabla 28. Contenido de materia orgánica del suelo a estabilizar .....	78
Tabla 29. Resultado de los límites de consistencia aplicando diferente tamaño de sal ...	79
Tabla 30. Resultado de la compactación aplicando diferente tamaño de sal .....	80
Tabla 31. Resultado del CBR aplicando diferentes tamaños de sal en grano .....	81
Tabla 32. Resultado de la consistencia del suelo, con porcentajes de sal en grano .....	82
Tabla 33. Resultado de la compactación incorporando porcentajes de sal en grano .....	83
Tabla 34. Resultados del CBR. Incorporando porcentajes de sal en grano .....	84
Tabla 35. Consistencia del suelo aplicando solución de sal.....	85
Tabla 36. Resultados de la compactación incorporando porcentajes de salmuera. ....	86
Tabla 37. Resultados del CBR. incorporando porcentajes de solución de salmuera .....	87
Tabla 38. Porcentaje de agregados para la estabilización .....	89
Tabla 39. Resultados del Proctor con porcentajes de grava a la calicata P2.....	90
Tabla 40. Resultados del Proctor con porcentajes de grava a la calicata P6.....	90
Tabla 41. Resultados del Proctor con porcentajes de grava a la calicata P7.....	90
Tabla 42. Resultados del CBR con porcentajes de grava a la calicata P2 .....	91
Tabla 43. Resultados del CBR Con porcentajes de grava a la calicata P6.....	91
Tabla 44. Resultados del CBR Con porcentajes de grava a la calicata P7.....	91
Tabla 45. Resultado de la compactación mixta.....	92
Tabla 46. Resultado del CBR mixto .....	92
Tabla 47. Diseño de espesores de cada progresiva del suelo natural.....	93

Tabla 48. Diseño de espesores para la calicata P2 .....	94
Tabla 49. Diseño de espesores para la calicata P6 .....	94
Tabla 50. Diseño de espesores para la calicata P7 .....	94
Tabla 51. Ítems usados para el costo del paquete estructural sin mejorar la subrasante..	95
Tabla 52. Costo del paquete estructural con suelo no mejorado .....	95
Tabla 53. Agrupación de suelos de igual parentesco .....	96
Tabla 54. Ítems usados para el costo del paquete estructural mejorando la subrasante...	96
Tabla 55. Costo del paquete estructural con subrasante mejorada con 15% de grava .....	97
Tabla 56. Costo del paquete estructural con subrasante mejorada con 30% de grava .....	97
Tabla 57. Ítems usados para el costo de la subrasante .....	98
Tabla 58. Costos de subrasante incrementando el 15% de grava .....	98
Tabla 59. Costos de subrasante incrementando el 30% de grava .....	99
Tabla 60. Resumen de resultado de la caracterización de las calicatas del tramo .....	101
Tabla 61. Resumen de resultados aplicando diferentes tamaños de sal en grano .....	102
Tabla 62. Resumen de resultados de la combinación mixta .....	104
Tabla 63. Resumen de resultados de suelo natural P2 con porcentajes de grava.....	104
Tabla 64. Resumen de resultados de suelos agrupados con porcentajes de grava .....	105
Tabla 65. Resumen de cálculos del suelo con el 15% y 30% de grava.....	106
Tabla 66. Cuadro resumen de costos del suelo natural y suelo mejorado.....	107
Tabla 67. Cuadro resumen de costos de subrasante mejorada .....	108

## ÍNDICE DE GRAFICOS

	Página
Gráfico 1. Grafica comparativa de sal blanca y rosada.....	109
Gráfico 2. Grafica comparativa de pureza de la sal rosada y blanca. ....	109
Gráfico 3. Gráfico de límites de consistencia con porcentajes de sal en grano .....	110
Gráfico 4. Gráfico de límites de consistencia con porcentajes de salmuera .....	110
Gráfico 5. Gráficos del Proctor con diferentes porcentajes de sal en grano .....	111
Gráfico 6. Gráficos del Proctor con diferentes porcentajes de salmuera .....	111
Gráfico 7. Gráficos del CBR con diferentes porcentajes de sal en grano .....	112
Gráfico 8. Gráficos del CBR con diferentes porcentajes de salmuera .....	112
Gráfico 9. Expansión del suelo incorporando sal en grano.....	113
Gráfico 10. Expansión del suelo incorporando salmuera.....	113
Gráfico 11. Gráfica de compactación incorporando sal y grava .....	114
Gráfico 12. Gráfica de compactación incorporando sal y agregado de rocas .....	115
Gráfico 13. Análisis de la expansión de la combinación mixta .....	116
Gráfico 14. Diseño de espesores con el suelo natural .....	117
Gráfico 15. Diseño de espesores con el 15% de grava .....	117
Gráfico 16. Diseño de espesores con el 30 % de grava .....	118
Gráfico 17. Costo del paquete estructural .....	119
Gráfico 18. Costo de la subrasante mejorada.....	120