

“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ASFALTO ESPUMADO EN
LA RESISTENCIA CORTANTE MEDIANTE LA COMPRESIÓN
INCONFINADA DE SUELOS COLUVIALES”**

Por:

JOSÉ LUIS NAVARRO CUIZA

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

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ASFALTO ESPUMADO EN
LA RESISTENCIA CORTANTE MEDIANTE LA COMPRESIÓN
INCONFINADA DE SUELOS COLUVIALES”**

Por:

JOSÉ LUIS NAVARRO CUIZA

Propuesta elaborada en la asignatura CIV-502 a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como
requisito para optar al grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I – 2022

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

Este trabajo va dedicado a Dios en primer lugar por darme la oportunidad de concluir una etapa más en mi vida. No fue fácil pero solo puedo decir gracias mi Dios. A mi familia, mis padres Delfín Navarro y Catalina Cuiza y mis hermanos Estela, Eliseo, Daniel, y Joel, por el apoyo incondicional que me dieron durante este proceso que hoy llega a su conclusión.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

	Página
1.1	Introducción..... 1
1.2	Justificación 2
1.2.1	Aporte académico..... 3
1.2.2	Aplicación técnica – práctica..... 3
1.2.3	Importancia social 3
1.3	Planteamiento del problema 3
1.3.1	Situación problemática 4
1.3.2	Delimitación del tiempo 4
1.3.3	Delimitación del espacio 5
1.3.4	Formulación del problema 5
1.4	Objetivos..... 5
1.4.1	Objetivo general 5
1.4.2	Objetivos específicos 5
1.5	Alcance 6
1.6	Hipótesis 6
1.7	Conceptualización de las variables..... 7
1.7.1	Variable independiente..... 7
1.7.2	Variable dependiente 7

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

	Página
2.1	Marco conceptual 9
2.1.1	Suelo..... 9
2.1.2	Depósitos coluviales 10
2.1.3	Estabilización de suelos..... 11

2.1.3.1	Propiedades de los suelos estabilizados.....	12
2.1.4	El asfalto.....	13
2.1.4.1	Propiedades.....	13
2.1.5	Asfalto espumado.....	14
2.1.5.1	Caracterización del asfalto espumado.....	15
2.1.5.1.1	Razón de expansión (Ex).....	15
2.1.5.1.2	Vida media (T 1/2).....	16
2.1.5.2	Usos del asfalto dentro de la estabilización de suelos.....	16
2.1.6	Materiales estabilizados con asfalto.....	16
2.1.7	Historia del asfalto espumado.....	17
2.2	Marco normativo.....	19
2.2.1	Ensayos para la caracterización de la muestra de suelo.....	19
2.2.1.1	Granulometría.....	19
2.2.1.2	Límites de A. Atterberg.....	20
2.2.1.3	Clasificación de la muestra de suelo.....	21
2.2.1.4	Relación densidad humedad óptima.....	22
2.2.1.5	Proceso de compactación de los suelos.....	22
2.2.1.5.1	Factores que afectan la compactación.....	22
2.2.1.5.2	Métodos de compactación.....	24
2.2.1.6	Ensayo de compresión inconfiada.....	24
2.2.1.6.1	Alcance.....	24
2.2.1.6.2	Importancia y aplicación.....	25
2.2.2	Asfalto.....	25
2.2.2.1	Cemento asfáltico 85/100.....	26
2.2.2.2	Aplicación.....	26
2.2.2.3	Análisis.....	26
2.2.3	Ensayos para la determinación de las propiedades del asfalto.....	26
2.2.3.1	Penetración.....	27
2.2.3.2	Viscosidad del asfalto.....	27
2.2.3.3	Ductilidad.....	28
2.2.3.4	Punto de ignición.....	29

2.2.3.5	Punto de ablandamiento	30
2.3	Marco referencial.....	31
2.4	Análisis del aporte teórico	31

CAPÍTULO III

CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

		Página
3.1	Criterios del diseño metodológico	32
3.1.1	Unidad de estudio o muestra.....	32
3.1.1.1	Población	32
3.1.1.2	Muestra	32
3.1.2	Criterios de muestreo	32
3.1.2.1	Selección de la técnica de muestreo	32
3.1.3	Tamaño de muestra	33
3.1.3.1	Número de ensayos.....	33
3.1.3.2	Cálculo del tamaño de muestra.....	33
3.1.4	Ubicación de la zona de extracción de suelo	36
3.1.5	Coordenadas geográficas y UTM de la zona de extracción de la muestra.	37
3.2	Ensayos de laboratorio para la caracterización de los suelos.	38
3.2.1	Clasificación de suelos	38
3.2.1.1	Análisis granulométrico ASTM D 422-66	38
3.2.1.1.1	Procedimiento.....	39
3.2.1.2	Límites de atterberg.....	42
3.2.1.2.1	Procedimiento.....	43
3.2.1.2.2	Límite líquido (ASTM D423-72).....	43
3.2.1.2.3	Límite plástico (ASTM D424 – 72)	45
3.2.1.2.4	Índice de plasticidad.....	47
3.2.1.3	Clasificación del suelo según AASHTO	47
3.2.1.4	Ensayo Próctor modificado (ASTM D-1557 y AASHTO T-180)	49
3.2.1.4.1	Material y equipo.....	49
3.2.1.4.2	Preparación de la muestra de ensayo.....	49

3.2.1.4.3	Compactación de la muestra.....	51
3.2.1.4.4	Procesamiento de datos obtenidos en el laboratorio:	53
3.2.2	Determinación del esfuerzo cortante del suelo.....	54
3.2.2.1	Ensayo de compresión inconfiada	54
3.2.2.1.1	Material y equipo.....	55
3.2.2.1.2	Preparación de la muestra.....	55
3.2.2.1.3	Procedimiento.....	56
3.2.2.1.4	Procesamiento de datos	57
3.2.3	Ensayos de laboratorio para determinar las propiedades del cemento asfáltico.....	61
3.2.3.1	Penetración (ASTM D 5 AASHTO T49-97).....	61
3.2.3.1.1	Procedimiento.....	62
3.2.3.2	Ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00).....	64
3.2.3.2.1	Procedimiento.....	65
3.2.3.3	Punto de ignición. (ASTM D1310-01 AASHTO T79-96).....	66
3.2.3.3.1	Procedimiento.....	66
3.2.3.4	Viscosidad Saybolt Furol. (ASTM E-102, AASHTO T-72).....	68
3.2.3.4.1	Procedimiento.....	69
3.2.3.5	Punto de ablandamiento (ASTM D 36 AASHTO T53-96).....	70
3.2.3.5.1	Procedimiento.....	71
3.2.4	Presentación de resultados de los ensayos de caracterización de los materiales.....	73
3.2.4.1	Caracterización de suelos	73
3.3	Mezclas de estabilización	74
3.3.1	Mezclas de agregado con asfalto espumado	75
3.3.2	Materiales y equipos de laboratorio	75
3.3.3	Procedimiento para la elaboración de mezclas con asfalto espumado	77
3.3.3.1	Optimización de las propiedades de la espuma	77
3.3.3.1.1	Relación de expansión y vida media	77
3.3.3.1.1.1	Ensayo Nro. 1 a temperatura de 140°C.....	78
3.3.3.1.1.2	Ensayo Nro. 2 a temperatura de 150°C.....	79

3.3.3.1.1.3	Ensayo Nro. 3 a temperatura de 160°C.....	81
3.3.3.1.1.4	Ensayo Nro. 4 a temperatura de 170°C.....	82
3.3.3.1.2	Análisis de resultados relación de expansión y vida media	83
3.3.3.2	Caracterización del agregado.....	83
3.3.3.3	Determinación del contenido óptimo de asfalto	84
3.3.3.4	Propiedades mecánicas de las mezclas de asfalto espumado	84
3.3.3.4.1	Fabricación de moldes.....	84
3.3.3.4.2	Procedimiento de ensayo de compresión.	86
3.3.3.4.2.1	Cálculo de la deformación unitaria.....	87
3.3.3.4.2.2	Cálculo del área corregida:	87
3.3.3.4.2.3	Cálculo del esfuerzo en cualquier momento “t” del ensayo	87
3.3.3.4.3	Estabilización con 2% de asfalto espumado.....	88
3.3.3.4.4	Estabilización con 4% de asfalto espumado.....	89
3.3.3.4.5	Estabilización con 6% de asfalto espumado.....	91
3.3.3.4.6	Estabilización con 8% de asfalto espumado.....	92
3.3.3.4.7	Estabilización con 10% de asfalto espumado.....	94
3.3.3.5	Humedad de rotura de los moldes	95
3.3.3.5.1	Cálculo del contenido de humedad de rotura	96

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

	Página	
4.1	Análisis de resultados	98
4.1.1	Análisis de la influencia de los porcentajes de asfalto espumado	99
4.2	Análisis de resultados obtenidos mediante el ensayo de compresión inconfínada	100
4.2.1	Compresión inconfínada de suelo coluvial	100
4.2.1.1	Cálculo de los parámetros estadísticos.	102
4.2.2	Compresión inconfínada de suelo coluvial mezclado con asfalto espumado.....	102
4.2.2.1	Cálculo de los parámetros estadísticos	104

4.3	Validación de la hipótesis.....	105
4.3.1	Hipótesis de la investigación	105
4.3.1.1	Hipótesis alternativa H1	105
4.3.1.2	Hipótesis nula H0	105
4.3.2	Prueba de hipótesis mediante el método T-Student.....	106
4.4	Análisis de precios unitarios sobre estabilización de suelos con asfalto espumado.....	108
4.5	Especificación técnica	111

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página	
5.1	Conclusiones.....	113
5.2	Recomendaciones.....	114

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1 Caracterización de los agregados

ANEXO 2 Caracterización del cemento asfáltico

ANEXO 3 Asfalto espumado

ANEXO 4 Análisis de la influencia del asfalto espumado en la muestra de suelo

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Variable independiente	7
Tabla 2. Variable dependiente.....	8
Tabla 3. Tabla normativa para ensayos de caracterización de suelos	19
Tabla 4. Clasificación de suelos método AASHTO.....	22
Tabla 5. AASHTO Modificado T – 180	24
Tabla 6. Datos representativos de valores de producción	26
Tabla 7. Ensayos realizados en los laboratorios.....	32
Tabla 8. Número de ensayos realizados en el proyecto	33
Tabla 9. Valores de Z para cada nivel de confianza	34
Tabla 10. Datos para el cálculo del tamaño de la muestra	34
Tabla 11. Planilla de muestra estratificada	35
Tabla 12. Coordenadas Geográficas y UTM de la zona de extracción.....	37
Tabla 13. Análisis granulométrico de la muestra de suelo.....	41
Tabla 14. Datos para determinar el límite liquido (LL)	45
Tabla 15. Datos para determinar el límite plástico de la muestra (LP).....	47
Tabla 16. Valor del índice de plasticidad.....	47
Tabla 17. Clasificación norma AASHTO	48
Tabla 18. Clasificación de suelos según norma AASHTO	48
Tabla 19. Especificación para la prueba Próctor modificado (basado en las 698-91 de la ASTM).....	50
Tabla 20. Procesamiento de datos del ensayo Próctor modificado	53
Tabla 21. Planilla de cálculo compresión inconfiada.....	59
Tabla 22. Cálculo del contenido humedad de rotura.....	61
Tabla 23. Datos de penetración en las muestras.	63
Tabla 24. Resultados del ensayo de penetración.....	64
Tabla 25. Resultados del ensayo de ductilidad	66
Tabla 26. Resultados de ensayo de punto de ignición	68
Tabla 27. Resultados del ensayo de Viscosidad Saybolt	70

Tabla 28. Resultado del ensayo punto de ablandamiento	73
Tabla 29. Resultado ensayos de caracterización de la muestra de suelo	74
Tabla 30. Resultado ensayos de caracterización del cemento asfáltico	74
Tabla 31. Ensayo expansión y vida media a 140°C	79
Tabla 32. Ensayo expansión y vida media a 150°C	80
Tabla 33. Ensayo expansión y vida media a 160°C	81
Tabla 34. Ensayo expansión y vida media a 170°C	82
Tabla 35. Índice de plasticidad para análisis dentro de la estabilización con A.E.....	84
Tabla 36. Planilla de cálculo compresión inconfiada (M1 - 2% A.E.)	88
Tabla 37. Resultados del ensayo compresión inconfiada.....	89
Tabla 38. Planilla de cálculo compresión inconfiada (M1 - 4% A.E.)	90
Tabla 39. Resultados del ensayo compresión inconfiada.....	91
Tabla 40. Planilla de cálculo compresión inconfiada (M1 - 6% A.E.)	91
Tabla 41. Resultados del ensayo compresión inconfiada.....	92
Tabla 42. Planilla de cálculo compresión inconfiada (M1 - 8% A.E.)	93
Tabla 43. Resultados del ensayo compresión inconfiada.....	94
Tabla 44. Planilla de cálculo compresión inconfiada (10% A.E.)	94
Tabla 45. Resultados del ensayo compresión inconfiada.....	95
Tabla 46. Cálculo del contenido humedad de rotura.....	97
Tabla 47. Humedad de rotura de las muestras de suelo con asfalto espumado	97
Tabla 48. Valores para calificar la consistencia del suelo	98
Tabla 49. Datos finales ensayo de compresión inconfiada	99
Tabla 50. Panilla de cálculo compresión inconfiada molde 1.....	101
Tabla 51. Resultado de resistencias cortantes máximas para suelo natural	102
Tabla 52. Resultados parámetros estadísticos suelo natural	102
Tabla 53. Planilla de cálculo compresión inconfiada (2% A.E.) molde 1	103
Tabla 54. Resultado de resistencias cortantes máximas para suelo mas asfalto espumado	104
Tabla 55. Resultados parámetros estadísticos suelo + asfalto espumado	105
Tabla 56. Datos para la prueba T-Student.....	106
Tabla 57. Tabla t-Student.....	106

Tabla 58. Formulario B-2 - Análisis de precios unitarios.....109

Tabla 59. Formulario B-2 - Análisis de precios unitarios.....110

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Utilización del suelo en la construcción de carreteras.....	9
Figura 2. Depósito coluvial en zona montañosa	10
Figura 3. Depósito coluvial en ladera	11
Figura 4. Muestra de cemento asfáltico	13
Figura 5. Proceso de espumado del asfalto dentro de la cámara de expansión.....	14
Figura 6. Proceso de mezcla con los agregados.....	15
Figura 7. Proceso de estabilización y mezclado con asfalto espumado de una carretera	16
Figura 8. Material estabilizado con emulsión asfáltica (izquierda), material estabilizado con asfalto espumado (derecha)	17
Figura 9. Límites de Atterberg	20
Figura 10. Equipo de compresión inconfiada	25
Figura 11. Ensayo normal de penetración.....	27
Figura 12. Determinación de la viscosidad Saybolt-Furol.....	28
Figura 13. Ensayo de ductilidad.....	29
Figura 14. Ensayo de punto de ignición.....	30
Figura 15. Mapa de la provincia Cercado	36
Figura 16. Deposito coluvial Tarija, muestras extraídas.....	37
Figura 17. Imagen satelital zona Tablada Grande.....	38
Figura 18. Muestra cuarteada del suelo en estudio	39
Figura 19. Granulometría método de lavado.....	40
Figura 20. Muestra lavada en el tamiz N° 200.....	40
Figura 21. Proceso de tamizado del material utilizando la serie de tamices.....	41
Figura 22. Curva granulométrica de la muestra de suelo.....	42
Figura 23. Muestra para obtener los límites líquido y plástico	43
Figura 24. Equipo de Casagrande para determinar el límite líquido.....	44
Figura 25. Gráfica límite líquido (LL)	45
Figura 26. Muestras para obtener la plasticidad del material (LP)	46

Figura 27. Muestra secada al horno en proceso de trituración de los trozos de arcilla....	50
Figura 28. Porcentajes retenidos en los tamices 3/4" y 3/8"	51
Figura 29. Molde de compactación más base y collarín	52
Figura 30. Peso del molde mas muestra.....	52
Figura 31. Termo balanza para determinar el contenido de Humedad del suelo.....	53
Figura 32. Curva de compactación Próctor modificado.....	54
Figura 33. Probeta de suelo ensayada a compresión simple	55
Figura 34. Ensayo de compresión inconfiada	56
Figura 35. Prensa de compresión inconfiada	57
Figura 36. Gráfica esfuerzo vs deformación molde 1	59
Figura 37. Resultados del ensayo de compresión inconfiada	60
Figura 38. Muestras pesadas y envueltas en papel film	60
Figura 39. Muestras extraídas del horno	61
Figura 40. Muestras en reposo para el ensayo de penetración.....	62
Figura 41. Proceso del ensayo de penetración	63
Figura 42. Moldes y equipo para medir la ductilidad del asfalto.....	64
Figura 43. Proceso del ensayo de ductilidad.....	65
Figura 44. Equipo para determinar el punto de Ignición	67
Figura 45. Copa de Cleveland con cemento asfáltico a ensayar.....	68
Figura 46. Proceso de vaciado del cemento asfáltico para determinar el tiempo.....	69
Figura 47. Anillos con asfalto caliente.....	71
Figura 48. Proceso de enfriamiento del asfalto en el equipo ensamblado.....	72
Figura 49. Descenso de las bolas después de someter a la temperatura de ablandamiento	73
Figura 50. Extractor de moldes, molde mini Harvard y martillo de compactación	75
Figura 51. Equipo de compresión inconfiada	76
Figura 52. Balanza de precisión 0.1gr.....	76
Figura 53. Equipo para obtener el asfalto espumado	76
Figura 54. Asfalto espumado con cierto porcentaje de agua inyectada.....	77
Figura 55. Asfalto calentado a temperatura para su posterior ensayo.....	78
Figura 56. Gráfica prueba Nro. 1 (temperatura 140°C)	79

Figura 57. Gráfica prueba Nro. 2 (temperatura 150°C)	80
Figura 58. Gráfica prueba Nro. 3 (temperatura 160°C)	81
Figura 59. Gráfica prueba Nro. 4 (temperatura 170°C)	82
Figura 60. Suelo tamizado malla Nro. 4. humedad óptima.....	85
Figura 61. Proceso de espumado del asfalto y mezclado con el suelo.....	85
Figura 62. Fabricación de moldes en aparato mini Harvard	86
Figura 63. Extracción de moldes y sellado con papel film	86
Figura 64. Proceso de ensayo de compresión de los moldes	87
Figura 65. Gráfica esfuerzo vs deformación molde 2 a 2% de A.E.....	89
Figura 66. Gráfica esfuerzo vs deformación molde 2 a 2% de A.E.....	90
Figura 67. Gráfica esfuerzo vs deformación molde 1 a 6% de A.E.....	92
Figura 68. Gráfica esfuerzo vs deformación molde 1 a 8% de A.E.....	93
Figura 69. Gráfica esfuerzo vs deformación molde 1 a 10% de A.E.....	95
Figura 70. Muestras pesadas y envueltas en papel film	96
Figura 71. Muestras extraídas del horno	96
Figura 72. Gráfica esfuerzo vs % de asfalto espumado	100