

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE VÍAS Y CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN



**“COMPARACIÓN DE PAVIMENTO UNICAPA COMO CAPA DE RODADURA
RESPECTO DE OTRAS ALTERNATIVAS”**

Por:

JAVIER ANDRÉS CUENCA MORALES

Proyecto 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

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación problemática	2
1.2.1. Formulación de problema	2
1.2.2. Delimitación de tiempo.....	2
1.2.3. Delimitación del espacio.....	3
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis	4
1.6. Operacionalización de las variables.....	4
1.7. Identificación del tipo de investigación	5
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral	5
1.9. Alcance	6

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO UNICAPA Y DE OTRAS ALTERNATIVAS DE CAPAS DE RODADURA

	Página
2.1. Pavimentos.....	7
2.2. Funciones de los pavimentos	8
2.3. Características de los pavimentos	8

2.4.	Tipos de pavimentos y tratamientos	9
2.4.1.	Pavimentos flexibles	9
2.4.2.	Pavimentos rígidos.....	10
2.4.3.	Pavimento unicapa	10
2.4.4.	Tratamiento superficial	12
2.4.5.	Afirmado	14
2.5.	Cemento asfáltico.....	15
2.6.	Emulsión asfáltica.....	15
2.6.1.	Tipos de emulsión asfáltica.....	16
2.7.	Agregados pétreos.....	17
2.8.	Diseño de mezclas asfálticas.....	18
2.9.	Clasificación de carreteras	18
2.9.1.	Clasificación por administración	19
2.9.2.	Clasificación técnica	19
2.9.3.	Clasificación por transitabilidad	20
2.10.	Suelo	20
2.10.1.	Tipos de suelo	20
2.10.2.	Propiedades físicas de los suelos	21
2.10.3.	Composición del suelo.....	22
2.10.4.	Propiedades mecánicas de los suelos	24
2.11.	Cemento	33
2.11.1.	Componentes del cemento	33
2.11.2.	Tipos de cemento en Bolivia.....	34
2.11.3.	Composición química del cemento.....	35

2.11.4.	Principales características de los cementos.....	38
2.12.	Conformación Suelo – Cemento.....	40
2.12.1.	Propiedades físicas suelo – cemento.....	41
2.13.	Experiencias en Bolivia	50
2.14.	Diseño del pavimento unicapa por método del UES – ISCYC en base a método Parmigiani - Di Pace	53
2.15.	Materiales utilizados en el pavimento unicapa	56
2.16.	Proceso constructivo del pavimento unicapa	58

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

	Página	
3.1.	Ubicación de la zona de muestreo	65
3.2.	Caracterización de los materiales empleados en el pavimento unicapa	66
3.2.1.	Caracterización del cemento	66
3.2.2.	Caracterización del suelo de la subrasante.....	67
3.3.	Elaboración de especímenes de pavimento unicapa	69
3.3.1.	Engrasar al molde de la probetas y vigas.....	69
3.3.2.	Preparación de la muestra de la subrasante.....	70
3.3.3.	Adición del agua a la mezcla de suelo - cemento	70
3.3.4.	Compactación en el moldeo de los especímenes	71
3.3.5.	Curado de las probetas y vigas de pavimento unicapa	72
3.4.	Rotura de las probetas a compresión	73

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

	Página
4.1. Diseño del pavimento unicapa	77
4.2. Diseño del pavimento flexible método AASHTO	83
4.3. Diseño del pavimento rígido método PCA	96
4.4. Diseño del tratamiento superficial simple método Linckenheyl.....	105
4.5. Diseño de afirmado método NAASRA.....	107
4.6. Análisis del precio unitario del pavimento unicapa	109
4.7. Análisis de precios unitarios del pavimento flexible	111
4.8. Análisis de precios unitarios del pavimento rígido.....	113
4.9. Análisis de precios unitarios del tratamiento superficial simple	115
4.10. Análisis de precios unitarios del afirmado.....	117
4.11. Análisis de espesores de capa de rodadura	118
4.12. Análisis comparativo de precios unitarios	119
4.13. Análisis de resistencia a compresión	120
4.14. Análisis de resistencia a flexión.....	121
4.15. Análisis valores de entrada	122
4.16. Análisis de ventajas y desventajas de las capas de rodadura	125

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	128
5.2. Recomendaciones	129

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO I – ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO II – ENSAYOS DE LABORATORIO DE HORMIGONES

ANEXO III – VOLUMEN DE TRÁFICO Y CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES

ANEXO IV – PRECIPITACIONES DIARIAS Y COEFICIENTE DE DRENAJE

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Pavimento de carretera.	7
Figura 2. Pavimento flexible.....	9
Figura 3. Pavimento rígido.	10
Figura 4. Procedimiento para la elaboración del pavimento unicapa.	11
Figura 5. Pavimento unicapa.	12
Figura 6. Elemento de tres fases del elemento del suelo.	23
Figura 7. Curva de distribución de tamaño de partícula.....	26
Figura 8. Límites de Atterberg.....	27
Figura 9. Carta de plasticidad.	28
Figura 10. Inclinación del plano de falla en el suelo con respecto al plano principal mayor.....	30
Figura 11. Curva CBR comparada con material triturado para la obtención de su valor.....	32
Figura 12. Curva de fraguado de un cemento Portland medio.	38
Figura 13. Aguja de Le Chetelier.	39
Figura 14. Dispositivo para ensayos a compresión de cementos y morteros.	40
Figura 15. Cemento Portland IP-30.	57
Figura 16. Suelo del lugar.....	57
Figura 17. Agua para pavimento unicapa.	58
Figura 18. Implementación de sistema de seguridad.....	59
Figura 19. Preparación del suelo existente para el pavimento unicapa.	59
Figura 20. Colocación del cemento para el pavimento unicapa.	60
Figura 21. Mezcla del suelo con el cemento del pavimento unicapa.	61

Figura 22. Aplicación de agua en la mezcla suelo – cemento del pavimento unicapa..	61
Figura 23. Compactación con rodillo pata de cabra del pavimento unicapa.	62
Figura 24. Compactación con rodillo liso del pavimento unicapa.	63
Figura 25. Curado del pavimento unicapa.	63
Figura 26. Apertura al tráfico.	64
Figura 27. Zona de muestreo Tablada – Turumayo.....	65
Figura 28. Engrasado al molde de probetas.....	69
Figura 29. Preparación de muestra suelo – cemento.	70
Figura 30. Compactación de las probetas.....	72
Figura 31. Curado de probetas.....	73
Figura 32. Pesaje de especímenes de pavimento unicapa.....	74
Figura 33. Rotura de probetas en prensa hidráulica.	75
Figura 34. Vista sección transversal pavimento unicapa.....	83
Figura 35. Estimación del coeficiente estructural de la capa superficial.....	87
Figura 36. Variación en el coeficiente estructural de la capa base (a2) con diferentes parámetros de resistencia.	88
Figura 37. Variación en el coeficiente estructural de la capa sub base (a3) con diferentes parámetros de resistencia.....	89
Figura 38. Vista sección transversal pavimento flexible.....	95
Figura 39. Análisis de fatiga ejes simples (repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con o sin apoyo lateral).....	100
Figura 40. Análisis de fatiga ejes tándem (repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con o sin apoyo lateral).....	101
Figura 41. Análisis de erosión ejes simples (repeticiones permisibles basadas en el factor de erosión, sin apoyo lateral).	102

Figura 42. Análisis de erosión ejes tándem (repeticiones permisibles basadas en el factor de erosión, sin apoyo lateral).	103
Figura 43. Vista sección transversal pavimento rígido.....	105
Figura 44. Vista transversal tratamiento superficial simple.	107
Figura 45. Vista sección transversal del afirmado.....	108
Figura 46. Comparación de espesores de capa de rodadura.	118
Figura 47. Comparación de precios unitarios.....	119
Figura 48. Análisis de esfuerzos a compresión.	120
Figura 49. Análisis de esfuerzos a flexión.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Tamaños estándar de los tamices.	25
Tabla 2. Componentes principales del cemento portland.....	36
Tabla 3. Compuestos principales del cemento Portland.....	37
Tabla 4. Rangos de resistencias a la compresión no confinada del suelo – cemento. 43	
Tabla 5. Permeabilidad del cemento	46
Tabla 6. Rangos de resistencias a la compresión no confinada del suelo – cemento. 49	
Tabla 7. Módulos de Poisson medios del suelo - cemento.....	50
Tabla 8. Módulos de Poisson de suelo - cemento.	50
Tabla 9. Resistencia a compresión promedio para diferentes cantidades de cemento.	52
Tabla 10. Resistencia a flexión promedio para diferentes cantidades de cemento.	52
Tabla 11. Resistencia al desgaste de Los Ángeles para diferentes cantidades de cemento.	53
Tabla 12. Coordenadas UTM inicio – fin del camino “La Tablada – Turumayo”.....	65
Tabla 13. Coordenadas UTM y clasificación de subrasante por punto de muestreo. ..	66
Tabla 14. Caracterización del cemento portland IP-30.	67
Tabla 15. Caracterización de la subrasante.	68
Tabla 16. Comparación de características exigidas del suelo empleado.....	69
Tabla 17. Ensayo de compactación en suelo con 16% de cemento.	71
Tabla 18. Valores de esfuerzo a flexión de vigas.....	75
Tabla 19. Valores de esfuerzo a compresión de probetas cilíndricas.....	76
Tabla 20. Vehículo tipo C3.	79
Tabla 21. Cálculo de espesor del pavimento unicapa con 16% de cemento.	82

Tabla 22.	Niveles de confiabilidad sugeridos para varias clasificaciones funcionales.	84
Tabla 23.	Nivel de confiabilidad y desviación estándar.....	84
Tabla 24.	Ejes equivalentes individuales.	96
Tabla 25.	Esfuerzo equivalente – sin apoyo lateral (eje sencillo / eje tándem / eje trídem).	98
Tabla 26.	Factor de erosión – sin pasa juntas – sin apoyo lateral (eje sencillo / eje tándem / eje trídem).....	99
Tabla 27.	Resultados del pavimento rígido calculado por el método PCA.....	104
Tabla 28.	Gradación de agregados para tratamientos superficiales.	105
Tabla 29.	Análisis de precios unitarios del pavimento unicapa.	109
Tabla 30.	Análisis de precios unitarios del pavimento flexible.	111
Tabla 31.	Análisis de precios unitarios del pavimento rígido.	113
Tabla 32.	Análisis de precios unitarios del tratamiento superficial simple.....	115
Tabla 33.	Análisis de precios unitarios del afirmado.	117
Tabla 34.	Análisis de valores de entrada del pavimento unicapa.....	122
Tabla 35.	Análisis de valores de entrada del pavimento flexible.....	123
Tabla 36.	Análisis de valores de entrada del pavimento rígido.....	124
Tabla 37.	Análisis de valores de entrada del tratamiento superficial simple.	124
Tabla 38.	Análisis de valores de entrada del afirmado.....	125
Tabla 39.	Ventajas y desventajas del pavimento unicapa.	125
Tabla 40.	Ventajas y desventajas del pavimento flexible.	126
Tabla 41.	Ventajas y desventajas del pavimento rígido.	126
Tabla 42.	Ventajas y desventajas del tratamiento superficial simple.....	127
Tabla 43.	Ventajas y desventajas del afirmado.	127