

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



**“COMPARACIÓN DE PROCESOS DE REHABILITACIÓN EN  
PAVIMENTOS FLEXIBLES EN VÍAS DE TRÁFICO LIVIANO DE  
LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**

**UNIV. BRIAND ERLAND CHOQUE CRUZ**

Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura de Ingeniería Civil.

**SEMESTRE II - 2022**

**TARIJA – BOLIVIA**

### **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, hermanas, hermanos y sobrinita por apoyarme siempre, por haber confiado en mí e inculcarme la perseverancia para cumplir con mis metas e ideales.

**ÍNDICE**  
**CAPÍTULO I**  
**GENERALIDADES**

	Página
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.2.1. Situación problemática.....	2
1.2.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Formulación de la hipótesis.....	4
1.5.1. Hipótesis.....	4
1.5.2. Identificación de variables.....	4
1.5.3. Conceptualización y operacionalización de las variables.....	4
1.6. Alcance del estudio de aplicación.....	5

**CAPÍTULO II**  
**COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE REHABILITACIÓN**

	Página
2.1. Definición de pavimentos.....	7
2.1.1. Clasificación de pavimentos.....	8
2.2. Pavimentos urbanos flexibles.....	10
2.2.1. Conceptos y funciones de las capas.....	10
2.3. Fallas en pavimentos flexibles.....	12
2.3.1. Fisuras.....	12
2.3.2. Deformaciones.....	17

2.3.3. Perdida de las capas estructurales.....	19
2.3.4. Daños superficiales.....	20
2.3.5. Otros daños.....	23
2.4. Métodos o procesos de rehabilitación.....	24
2.4.1. Tratamientos de preparación.....	24
2.4.2. Restauración.....	26
2.4.3. Refuerzo.....	34
2.4.4. Reciclado.....	35
2.4.5. Reconstrucción.....	36
2.4.6. Corrección de fallas localizadas.....	37
2.5. Procedimientos de construcción de métodos para rehabilitación de pavimentos flexibles.....	38
2.6. Alternativas para la rehabilitación de pavimentos flexibles.....	45
2.6.1. Sobrecapa delgada.....	45
2.6.2. Tratamientos superficiales dobles.....	47

### CAPÍTULO III

#### CARACTERIZACIÓN, DISEÑO Y CÁLCULOS

	Página
3.1. Ensayos de caracterización de los agregados.....	52
3.1.1. Granulometría.....	52
3.1.2. Peso específico.....	58
3.1.3. Desgaste de los ángeles.....	61
3.1.4. Equivalente de arena.....	63
3.1.5. Peso unitario.....	64
3.1.6. Partículas largas y achatadas.....	68
3.2. Ensayos de caracterización del cemento asfáltico convencional (85-100).....	70
3.2.1. Peso específico del asfalto.....	70

3.2.2. Punto de inflamación del asfalto.....	71
3.2.3. Penetración del asfalto.....	72
3.2.4. Ductilidad del asfalto.....	73
3.2.5. Punto de ablandamiento del asfalto.....	75
3.2.6. Película delgada del asfalto.....	76
3.2.7. Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C del asfalto.....	77
3.3. Caracterización y diseño de una mezcla asfáltica.....	78
3.3.1. Diseño granulométrico- método Marshall (ASTM D-3515) .....	78
3.3.2. Determinación del contenido mínimo de asfalto por el procedimiento del área superficial.....	80
3.3.3. Determinación del número de muestras.....	82
3.3.4. Dosificación según diseño granulométrico.....	82
3.4. Características Marshall de la mezcla asfáltica tradicional con cemento asfáltico convencional 85-100.....	84
3.4.1. Curvas método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico.....	85
3.4.2. Resumen de las características Marshall.....	88
3.5. Dosificación de la mezcla con asfalto convencional (85-100).....	88
3.6. Procedimiento del cálculo y elaboración de la dosificación para las alternativas de rehabilitación.....	89
3.6.1. Extracción de núcleos.....	89
3.6.2. Métodos de rehabilitación.....	94
3.7. Resumen de resultados de las alternativas de rehabilitación.....	111
3.8. Aplicación del ensayo a compresión.....	112
3.9. Datos obtenidos del ensayo a compresión.....	113
3.9.1. Deformaciones de núcleos sin rehabilitación.....	114
3.9.2. Deformaciones de los núcleos con sobrecapa.....	115
3.9.3. Deformaciones de los núcleos con tratamiento superficial doble.....	116

CAPÍTULO IV  
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

	Página
4.1. Análisis e interpretación de la comparación de los resultados.....	117
4.2. Análisis y comparación de precios de la aplicación de los métodos de rehabilitación.....	134
4.2.1. Análisis del precio de producción para una sobrecapa delgada.....	135
4.2.2. Análisis del precio de producción para un tratamiento superficial doble.....	136
4.2.3. Resumen de precios unitarios.....	137
4.2.4. Comparación mediante gráficas de los precios unitarios.....	137
4.3. Análisis e interpretación de los resultados de los agregados y cemento asfáltico.....	139
4.3.1. De los agregados.....	139
4.3.2. Del cemento asfáltico.....	140

CAPÍTULO V  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones.....	141
5.2. Recomendaciones.....	144

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexos A: Reporte Fotográficos

Anexos B: Cálculos

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1: Conceptualización de variable independiente.....	4
Tabla 1.2: Conceptualización de variable dependiente.....	5
Tabla 2.1: Técnicas de restauración de pavimentos asfálticos.....	28
Tabla 2.2: Procedimiento de construcción del bacheo superficial con mezcla en caliente.....	38
Tabla 2.3: Procedimiento de construcción del bacheo profundo.....	39
Tabla 2.4: Procedimiento de construcción del sellado de fisuras y grietas.....	40
Tabla 2.5: Procedimiento de construcción del riego de imprimación.....	41
Tabla 2.6: Procedimiento de construcción de la capa asfáltica de refuerzo.....	42
Tabla 2.7: Procedimiento de construcción del fresado superficial de carpeta asfáltica.....	43
Tabla 2.8: Procedimiento de construcción del reciclado de pavimento en caliente en planta.....	44
Tabla 3.1: Resumen de la granulometría de la grava.....	53
Tabla 3.2: Resumen de la granulometría de la gravilla.....	55
Tabla 3.3: Resumen de la granulometría de la arena.....	57
Tabla 3.4: Resumen del peso específico de la grava (3/4") .....	59
Tabla 3.5: Resumen del peso específico de la gravilla (3/8").....	60
Tabla 3.6: Resumen del peso específico de la arena.....	61
Tabla 3.7: Resultados del desgaste de los ángeles de la grava (3/4").....	62
Tabla 3.8: Resultados del desgaste de los ángeles de la gravilla (3/8").....	63
Tabla 3.9: Resultado del equivalente de arena.....	64
Tabla 3.10: Resultado del peso unitario de la grava (3/4") .....	65
Tabla 3.11: Resultado del peso unitario de la gravilla (3/8").....	66
Tabla 3.12: Resultado del peso unitario de la arena.....	67
Tabla 3.13: Resultado de las partículas largas y achatadas de la grava (3/4") .....	68

Tabla 3.14: Resultado de las Partículas largas y achatadas de la gravilla (3/8").....	69
Tabla 3.15: Resultado de la penetración asfalto convencional.....	71
Tabla 3.16: Resultado del punto de inflamación asfalto convencional.....	72
Tabla 3.17: Resultado de la penetración asfalto convencional.....	73
Tabla 3.18: Resultado de la ductilidad asfalto convencional.....	74
Tabla 3.19: Resultado del punto de ablandamiento asfalto convencional.....	76
Tabla 3.20: Resultado de la película delgada del asfalto convencional.....	77
Tabla 3.21: Resultado de la Viscosidad Saybolt-Furol del asfalto convencional.....	78
Tabla 3.22: Curva de dosificación ASTM.....	79
Tabla 3.23: Constantes de área correspondientes al material retenido.....	80
Tabla 3.24: Índice asfáltico.....	81
Tabla 3.25: Contenido mínimo de asfalto.....	82
Tabla 3.26: Dosificación mezcla asfáltica.....	83
Tabla 3.27: Planilla Marshall con asfalto convencional.....	84
Tabla 3.28: Porcentaje óptimo del asfalto convencional.....	88
Tabla 3.29: Resumen características Marshall con asfalto convencional.....	88
Tabla 3.30: Dosificación del cemento asfáltico en la mezcla.....	89
Tabla 3.31: Tramos de las extracciones de núcleos.....	90
Tabla 3.32: Dosificación de la mezcla asfáltica en caliente para una sobrecapa delgada.....	95
Tabla 3.33: Granulometría utilizada para el diseño del tratamiento superficial.....	98
Tabla 3.34: Datos de densidades de la grava y gravilla.....	100
Tabla 3.35: Factor de Desperdicio.....	102
Tabla 3.36: Factor de tránsito T.....	104
Tabla 3.37: Corrección por textura.....	104
Tabla 3.38: Resultados de dosis de áridos y ligantes.....	106
Tabla 3.39: Distribución de la dosis total de ligante.....	106

Tabla 3.40: Cantidad de ligantes por capa.....	106
Tabla 3.41: Cantidad de material de agregados y ligantes asfálticos para m2.....	107
Tabla 3.42: Interpolación de variables.....	107
Tabla 3.43: Dosificación de tratamiento superficial doble para un área de briqueta de Marshall.....	108
Tabla 3.44: Dosificación de las alternativas de rehabilitación.....	111
Tabla 3.45: Deformaciones de los núcleos sin rehabilitación.....	114
Tabla 3.46: Deformaciones de los núcleos con Sobrecapa.....	115
Tabla 3.47: Deformaciones de los núcleos con Tratamiento Superficial Doble.....	116
Tabla 4.1: Deformación (mm), Tramo No 1.....	117
Tabla 4.2: Deformación (mm), Tramo No 2.....	119
Tabla 4.3: Deformación (mm), Tramo No 3.....	120
Tabla 4.4: Deformación (mm), Tramo No 4.....	122
Tabla 4.5: Deformación (mm), Tramo No 5.....	123
Tabla 4.6: Deformación (mm), Tramo No 6.....	125
Tabla 4.7: Deformación (mm), Tramo No 7.....	126
Tabla 4.8: Deformación (mm), Tramo No 8.....	128
Tabla 4.9: Deformación (mm), Tramo No 9.....	129
Tabla 4.10: Deformación (mm), Tramo No 10.....	131
Tabla 4.11: Precio unitario para 1 m2 de sobrecapa delgada.....	135
Tabla 4.11: Precio unitario para 1 m2 de tratamiento superficial doble.....	136

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1: Estructura típica del pavimento flexible.....	8
Figura 2.2: Estructura típica del pavimento rígido.....	9
Figura 2.3: Estructura típica del pavimento híbrido.....	9
Figura 2.4: Distribución de la carga en pavimentos flexibles (izquierda) y rígidos (derecha).....	12
Figura 2.5: Fisuras longitudinales y transversales.....	12
Figura 2.6: Fisuras longitudinales y transversales en juntas de construcción.....	13
Figura 2.7: Fisuras por reflexión de juntas.....	13
Figura 2.8: Fisuras en media luna.....	14
Figura 2.9: Fisuras de borde.....	14
Figura 2.10: Fisuras en bloque.....	15
Figura 2.11: Piel de cocodrilo.....	15
Figura 2.12: Fisuras por deslizamiento de capas.....	16
Figura 2.13: Fisuración incipiente.....	16
Figura 2.14: Ondulaciones.....	17
Figura 2.15: Abultamiento.....	17
Figura 2.16: Hundimiento.....	18
Figura 2.17: Ahuellamiento.....	18
Figura 2.18: Descascaramiento.....	19
Figura 2.19: Baches.....	19
Figura 2.20: Parche.....	20
Figura 2.21: Desgaste superficial.....	20
Figura 2.22: Pérdida de agregado.....	21
Figura 2.23: Pulimiento de agregado.....	21
Figura 2.24: Cabezas duras.....	22

Figura 2.25: Exudación.....	22
Figura 2.26: Surcos.....	23
Figura 2.27: Hectómetro de pavimento con 237 metros de fisuras.....	24
Figura 2.28: Excavación para el parcheo de un pavimento asfáltico.....	25
Figura 2.29: Capa de nivelación previa a una capa de refuerzo.....	25
Figura 2.30: Fresado de un pavimento asfáltico.....	26
Figura 2.31: Riego en negro.....	29
Figura 2.32: Sello de arena- asfalto.....	30
Figura 2.33: Restauración de un pavimento asfáltico con un tratamiento superficial.....	30
Figura 2.34: Restauración de un pavimento con una lechada asfáltica.....	31
Figura 2.35: Diferencia de visibilidad en instantes de lluvia, al circular sobre una superficie de concreto asfáltico y una de mezcla drenante.....	33
Figura 2.36: Pavimento asfáltico para reconstruir.....	36
Figura 2.37: Colocación de la sobrecapa asfáltica.....	45
Figura 2.38: Tratamiento superficial simple (A: árido y L: ligante).....	48
Figura 2.39: Tratamiento superficial doble (A: árido y L: ligante).....	48
Figura 2.40: Tratamiento superficial múltiple (A: árido y L: ligante).....	49
Figura 2.41: Distribución de los agregados.....	50
Figura 2.42: Procedimiento de construcción del tratamiento superficial doble.....	51
Figura 3.1: Granulometría del agregado grueso.....	52
Figura 3.2: Granulometría del agregado grueso.....	54
Figura 3.3: Granulometría del agregado fino.....	56
Figura 3.4: Saturación de la grava.....	58
Figura 3.5: Lectura del peso en la balanza con canastillo.....	59
Figura 3.6: Eliminación de vacíos de la muestra.....	60
Figura 3.7: Introduciendo la grava a la máquina de desgaste de los ángeles.....	62
Figura 3.8: Alistando la máquina de desgaste de los ángeles.....	63

Figura 3.9: Agitando y eliminando vacíos de la muestra.....	64
Figura 3.10: Compactando la muestra.....	65
Figura 3.11: Vaciando la muestra en el molde.....	66
Figura 3.12: Pesando la muestra en la balanza.....	67
Figura 3.13: Calibrador de alargamiento.....	68
Figura 3.14: Calibrando la muestra en aplanamiento y alargamiento.....	69
Figura 3.15: Reposo de las muestras durante 30 min.....	70
Figura 3.16: Ajustando el termómetro para el punto de inflamación.....	71
Figura 3.17: Ajuste de la aguja para ensayar la penetración.....	73
Figura 3.18: Vertiendo el asfalto en los moldes.....	74
Figura 3.19: Controlando la temperatura para el punto de ablandamiento.....	75
Figura 3.20: Pesando los platillos circulares.....	76
Figura 3.21: Observando la caída del asfalto y controlando el tiempo.....	77
Figura 3.22: Unas de las calles seleccionadas para la extracción de núcleos.....	91
Figura 3.23: Cierre de calles.....	92
Figura 3.24: Extracción de núcleos en calles urbanas.....	92
Figura 3.25: Suministrando agua al extractor de núcleos.....	93
Figura 3.26: Preparación del material y llenado del lugar de extracción.....	93
Figura 3.27: Nivelando los núcleos con amoladora.....	96
Figura 3.28: Aplicación del riego de liga.....	96
Figura 3.29: Alistando los moldes.....	97
Figura 3.30: Preparación de la mezcla.....	97
Figura 3.31: Vaciando la mezcla.....	97
Figura 3.32: Compactando la sobrecapa.....	98
Figura 3.33: Núcleos con sobrecapa.....	98
Figura 3.34: Alistando la amoladora.....	108
Figura 3.35: Pintando los núcleos con riego de liga.....	109

Figura 3.36: Aplicando el cemento asfáltico.....	109
Figura 3.37: Segunda capa de gravilla.....	110
Figura 3.38: Compactando el tratamiento superficial doble.....	110
Figura 3.39: Moldes con tratamientos ya compactados.....	111
Figura 3.40: Equipo AMSLER.....	112
Figura 4.41: Lectura del deformímetro.....	113

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfica 3.1: Curva granulométrica promedio del agregado grueso (3/4").....	53
Gráfica 3.2: Curva granulométrica promedio del agregado gravilla (3/8").....	55
Gráfica 3.3: Curva granulométrica promedio del agregado fino.....	57
Gráfica 3.4: Curva de diseño granulométrico - Método Marshall (ASTM D 3515).....	80
Gráfica 3.5: Densidad vs % C.A. asfalto convencional.....	85
Gráfica 3.6: Estabilidad vs % C.A. asfalto convencional.....	85
Gráfica 3.7: Fluencia vs % C.A. asfalto convencional.....	86
Gráfica 3.8: V.A.M vs % C.A. asfalto convencional.....	86
Gráfica 3.9: R.B.V. vs % C.A. asfalto convencional.....	87
Gráfica 3.10: % vacíos mezcla vs % C.A. asfalto convencional.....	87
Gráfica 4.1: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo No 1.....	118
Gráfica 4.2: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo No 2.....	119
Gráfica 4.3: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo No 3.....	121
Gráfica 4.4: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo No 4.....	122
Gráfica 4.5: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo No 5.....	124
Gráfica 4.6: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo No 6.....	125
Gráfica 4.7: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo No 7.....	127
Gráfica 4.8: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo No 8.....	128
Gráfica 4.9: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo No 9.....	130
Gráfica 4.10: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo No 10.....	131
Gráfica 4.11: Diagrama de las deformaciones del núcleo sin rehabilitación de todos los tramos.....	132
Gráfica 4.12: Diagrama comparativa de las deformaciones por capas (sobrecapa) de todos los tramos.....	133
Gráfica 4.13: Diagrama comparativa de las deformaciones por capas (tratamiento superficial doble) de todos los tramos.....	133

Gráfica 4.14: Comparación de precios unitarios (barras).....	137
Gráfica 4.15: Tabla comparativa de la sobrecapa delgada ( $h= 3$ cm).....	138
Gráfica 4.16: Tabla comparativa del tratamiento superficial doble.....	138