

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



**“EVALUACIÓN DEL MICROPAVIMENTO EN LAS  
VÍAS URBANAS DE LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**

**SEBASTIÁN MAURICIO OLGUÍN HUANCA**

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 – 2020**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“EVALUACIÓN DEL MICROPAVIMENTO EN LAS**  
**VÍAS URBANAS DE LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**  
**SEBASTIÁN MAURICIO OLGUÍN HUANCA**

**SEMESTRE II – 2020**  
**TARIJA – BOLIVIA**

V°B°

---

M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozávez  
**DECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y**  
**TECNOLOGÍA**

---

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa  
**VICEDECANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y**  
**TECNOLOGÍA**

**APROBADO POR EL TRIBUNAL:**

.....  
M.Sc. Ing. Trinidad C. Baldiviezo M.

.....  
M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

.....  
M.Sc. DAEN Ing. Antonio Calvimontes Calvimontes



### **ADVERTENCIA**

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad del autor.

## **DEDICATORIA**

**A MIS PADRES**, por haberme inculcado valores, por guiarme por el camino del bien, demostrándome siempre su amor, cariño y apoyo incondicional en todo momento, siendo ellos el motor fundamental en mi vida.

**A MIS HERMANOS**, por su gran cariño, comprensión y apoyo incondicional, sin ellos todo este momento de satisfacción y felicidad no habría sido posible.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser la luz que ilumina y guía mi camino.

A mis padres y mis hermanos que, a través de su amor, paciencia, apoyo, consejos y palabras de aliento, hicieron de mí una mejor persona y me acompañan en todos mis sueños y metas.

A los docentes de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, quienes supieron transmitir sus conocimientos y ayudaron en mi formación profesional.

A QUIMITEC ASFALTOS S.R.L., empresa la cual me abrió sus puertas, me apoyó con sus conocimientos y equipo logístico, lo que fue fundamental para la elaboración de la presente tesis.

## **PENSAMIENTO**

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado, un esfuerzo total es una victoria completa”

*Mahatma Gandhi*

# ÍNDICE GENERAL

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	<b>Pág.</b>
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 del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Hipótesis.....	6
1.6. Operacionalización de las variables.....	6
1.6.1. Variable independiente.....	6
1.6.2. Variable dependiente.....	6
1.7. Identificación del tipo de investigación.....	6
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral.....	7
1.8.1. Unidad de estudio.....	7
1.8.2. Población.....	7
1.8.3. Muestra.....	7
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo.....	9
1.9. Métodos y técnicas empleadas.....	9
1.9.1. Métodos a utilizar en la evaluación.....	9
1.9.2. Técnicas a utilizar en la evaluación.....	10
1.10. Procesamiento de la información.....	11
1.11. Alcance de la investigación.....	12

## CAPÍTULO II

### MICROPAVIMENTO

	<b>Pág.</b>
2.1. Introducción.....	14
2.2. Antecedentes.....	15
2.3. Importancia del micropavimento.....	16
2.4. Fundamentos del micropavimento.....	18
2.5. Ventajas y desventajas del micropavimento.....	21
2.5.1. Ventajas.....	21
2.5.2. Desventajas.....	22
2.6. Descripción y usos del micropavimento.....	22
2.7. Rotura, fraguado y curado de la mezcla.....	24
2.8. Micropavimento asfáltico en frío (MPAF).....	25
2.9. Componente de la mezcla para micropavimento.....	26
2.9.1. Emulsión asfáltica modificada.....	26
2.9.2. Agregado.....	28
2.9.3. Relleno mineral.....	29
2.9.4. Agua.....	30
2.9.5. Aditivos.....	31
2.10. Selección y control de calidad de los componentes de la mezcla para micropavimento.....	32
2.10.1. Pruebas sobre los agregados.....	32
2.10.2. Pruebas sobre la emulsión.....	34
2.10.3. Prueba sobre el residuo por evaporación.....	35
2.10.4. Prueba sobre el relleno mineral.....	35
2.11. Pruebas realizadas en la fabricación de mezclas para micropavimento.....	36
2.12. Parámetros de diseño.....	40
2.12.1. Parámetros sobre los componentes.....	40
2.12.1.1. Agregados.....	40
2.12.1.2. Emulsión y residuo asfáltico... ..	41
2.12.1.3. Relleno mineral.....	42

2.12.1.4. Agua.....	43
2.12.1.5. Aditivo.....	43
2.12.2. Parámetros de dosificación micropavimento.....	43
2.12.3. Parámetros de la mezcla para micropavimento.....	44
2.13. Diseño del micropavimento.....	44
2.13.1. Generalidades.....	44
2.13.2. Procedimiento de diseño de una mezcla para micropavimento.....	46
2.14. Consideraciones para la aplicación.....	55
2.14.1. Limitaciones para la aplicación – condiciones climáticas.....	55
2.14.2. Tolerancias en la aplicación.....	55
2.14.3. Equipo para aplicar micropavimento.....	56
2.15. Control de calidad en la aplicación.....	59
2.15.1. Verificación de la calibración de la máquina micropavimentadora.....	59
2.15.2. Control de calidad en la construcción.....	60

### **CAPÍTULO III**

#### **DISEÑO DE MICROPAVIMENTO**

	<b>Pág.</b>
3.1. Introducción.....	64
3.2. Ubicación de puntos evaluados con micropavimento.....	64
3.3. Diseño de mezcla en frío del micropavimento.....	67
3.4. Caracterización de los materiales.....	68
3.4.1. Caracterización del polvo de roca.....	68
3.4.1.1. Granulometría.....	68
3.4.1.2. Peso específico.....	70
3.4.1.3. Peso unitario.....	70
3.4.1.4. Equivalente de arena.....	71
3.4.1.5. Desgaste de los ángeles.....	73
3.4.1.6. Durabilidad por sulfatos.....	74
3.4.1.7. Azul de metileno.....	75
3.4.2. Caracterización del filler mineral.....	76

3.4.2.1. Granulometría del cemento portland.....	76
3.4.3. Caracterización de la emulsión asfáltica.....	77
3.4.3.1. Viscosidad Saybolt.....	77
3.4.3.2. Tamizado malla N°20.....	78
3.4.3.3. Sedimentación.....	79
3.4.3.4. Carga eléctrica de la partícula.....	80
3.4.3.5. PH.....	81
3.4.3.6. Residuo por evaporación.....	82
3.4.3.7. Penetración del residuo.....	82
3.4.3.8. Punto de ablandamiento del residuo.....	83
3.4.3.9. Viscosidad Brookfield del residuo.....	84
3.4.3.10. Recuperación elástica del residuo.....	85
3.5. Diseño granulométrico de la mezcla.....	85
3.6. Ensayos para determinar el contenido de emulsión asfáltica en laboratorio....	87
3.6.1. Abrasión por vía húmeda WTAT.....	87
3.6.2. Rueda cargada LWT.....	89
3.7. Contenido óptimo de emulsión asfáltica.....	92

## **CAPÍTULO IV**

### **EVALUACIÓN DE MICROPAVIMENTO**

	<b>Pág.</b>
4.1. Introducción.....	94
4.2. Evaluación de la mezcla del micropavimento (MPAF).....	94
4.2.1. Resultados de la mezcla de MPAF de diseño.....	94
4.2.2. Resultados de la mezcla de MPAF en obra.....	98
4.2.2.1. Resultados granulométricos.....	100
4.2.2.2. Resultados de % de asfalto residual de las muestras.....	103
4.2.2.3. Resultados de adherencia.....	103
4.3. Evaluación superficial del micropavimento.....	104
4.3.1. Evaluación con el densímetro PQI 380 del micropavimento.....	104
4.3.1.1. Uso del Densímetro PQI 380.....	104

4.3.1.2. Resultados del ensayo Densímetro PQI 380.....	107
4.3.1.3. Tratamiento estadístico de los valores de densímetro PQI 380.....	108
4.3.2. Evaluación IFI del micropavimento.....	109
4.3.2.1. Análisis estadístico del péndulo británico.....	114
4.3.2.2. Análisis estadístico de la mancha de arena.....	115

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Pág.</b>
5.1. Conclusiones.....	118
5.2. Recomendaciones.....	120

### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

Anexo 1. Ubicación de las muestras

Anexo 2. Respaldos de ensayos

Anexo 2.1. Solicitudes

Anexo 2.2. Planillas de Quimitec

Anexo 2.3. Planillas de U.A.J.M.S.

Anexo 3. Manual del equipo Densímetro PQI 380

Anexo 4. Respaldos fotográficos

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 2.1. Granulometrías para micropavimento recomendados.....	40
Tabla 2.2. Resumen de las pruebas y parámetros sobre agregados comúnmente utilizados para micropavimento.....	41
Tabla 2.3. Parámetros sobre emulsiones comúnmente utilizados para micropavimento.....	42
Tabla 2.4. Dosificación estándar de mezclas para micropavimento.....	43
Tabla 2.5. Parámetros de diseño para mezclas de micropavimento.....	44
Tabla 2.6. Cálculo de la superficie específica del agregado.....	48
Tabla 3.1. Ubicación de los puntos evaluados con micropavimento.....	64
Tabla 3.2. Granulometría del polvo de roca.....	69
Tabla 3.3. Peso específico del polvo de roca.....	70
Tabla 3.4. Peso unitario suelto del polvo de roca.....	71
Tabla 3.5. Peso unitario compactado del polvo de roca.....	71
Tabla 3.6. Equivalente de arena del polvo de roca.....	72
Tabla 3.7. Desgaste de los ángeles del polvo de roca.....	73
Tabla 3.8. Durabilidad del polvo de roca.....	74
Tabla 3.9. Azul de metileno del polvo de roca.....	75
Tabla 3.10. Granulometría del cemento Portland.....	76
Tabla 3.11. Viscosidad Saybolt de la emulsión asfáltica.....	78
Tabla 3.12. Tamizado por la malla N°20 de la emulsión asfáltica.....	79
Tabla 3.13. Sedimentación de la emulsión asfáltica.....	80
Tabla 3.14. Carga de las partículas de la emulsión asfáltica.....	81
Tabla 3.15. PH de la emulsión asfáltica.....	81
Tabla 3.16. Residuo por evaporación de la emulsión asfáltica.....	82
Tabla 3.17. Penetración del residuo de emulsión asfáltica.....	83
Tabla 3.18. Punto de ablandamiento del residuo de emulsión asfáltica.....	84
Tabla 3.19. Viscosidad Brookfield del residuo de emulsión asfáltica.....	84
Tabla 3.20. Recuperación del residuo de emulsión asfáltica.....	85

Tabla 3.21. Especificaciones de la granulometría de micropavimento.....	85
Tabla 3.22. Granulometría de la mezcla del micropavimento.....	86
Tabla 3.23. Adherencia de la arena por abrasión vía húmeda.....	89
Tabla 3.24. Adherencia de la arena con la rueda cargada.....	91
Tabla 4.1. Resultados de caracterización de los agregados.....	95
Tabla 4.2. Resultados de caracterización de la emulsión asfáltica.....	96
Tabla 4.3. Granulometría final de la mezcla.....	96
Tabla 4.4. Valores máximos y mínimos de adherencia de la arena.....	97
Tabla 4.5. Resultado granulométrico de muestra 1.....	100
Tabla 4.6. Resultado granulométrico de muestra 2.....	101
Tabla 4.7. Resultado granulométrico de muestra 3.....	102
Tabla 4.8. Contenido de asfalto residual de las muestras.....	103
Tabla 4.9. Resultados de adherencia vías WTAT y LWT.....	104
Tabla 4.10. Resultados obtenidos con el densímetro PQI 380.....	107
Tabla 4.11. Tratamiento estadístico de los valores de densímetro PQI 380.....	108
Tabla 4.12. Datos obtenidos de la evaluación IFI.....	111
Tabla 4.13. Resultados obtenidos de la evaluación IFI de cada punto.....	112
Tabla 4.14. Índice de fricción a diferentes velocidades.....	113
Tabla 4.15. Resultados finales de la evaluación IFI.....	113
Tabla 4.16. Tratamiento estadístico a los valores del péndulo británico.....	114
Tabla 4.17. Tratamiento estadístico a los valores de la mancha de arena.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2.1. Curva aproximada en deterioro del camino.....	16
Figura 2.2. Formación de grietas en el pavimento.....	18
Figura 2.3. Colocación de micropavimento.....	20
Figura 2.4. Componentes de micropavimento.....	23
Figura 2.5. Gradación del agregado para capas fina.....	28
Figura 2.6. Residuo asfáltico vs. superficie específica.....	49
Figura 2.7. Determinación del contenido óptimo de asfalto.....	52
Figura 2.8. Equipo para la colocación de capas delgadas en frío.....	56
Figura 2.9. Road Saber II (micropavimentadora).....	58
Figura 3.1. Punto 1: Av. Panamericana entre la av. Juan de Dios Mealla y calle s/n, barrio San Jorge II (carril del medio).....	66
Figura 3.2. Punto 2: Av. Panamericana entre la av. El Periodista y av. Ing. Renán Justiniano, barrio San Jorge II (carril del medio).....	66
Figura 3.3. Punto 3: Av. Panamericana entre la av. Cnel. Carlos Díaz Sossa y av. Camilo Moreno (carril del medio).....	67
Figura 3.4. Ensayo de granulometría del polvo de roca.....	68
Figura 3.5. Ensayo equivalente de arena.....	72
Figura 3.6. Ensayo de azul de metileno.....	75
Figura 3.7. Viscosidad Saybolt de la emulsión asfáltica.....	78
Figura 3.8. Ensayo carga eléctrica de la emulsión asfáltica.....	80
Figura 3.9. Ensayo residuo por evaporación.....	82
Figura 3.10. Equipo para el ensayo de penetración al residuo de emulsión asfáltica.....	83
Figura 3.11. Ensayo de abrasión por vía húmeda WTAT.....	88
Figura 3.12. Muestra después del ensayo rueda cargada LWT.....	91
Figura 4.1. Maquinaria y equipo durante el tendido de micropavimento.....	99
Figura 4.2. Acabado final del micropavimento.....	99

Figura 4.3. Campo eléctrico que transmite la placa sensora PQI 380.....	105
Figura 4.4. Uso del equipo densímetro no nuclear PQI 380.....	106
Figura 4.5. Evaluación de micro textura con el péndulo británico.....	110
Figura 4.6. Evaluación de macro textura con el ensayo círculo de arena.....	110

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 3.1. Curva granulométrica del polvo de roca.....	69
Gráfica 3.2. Curva granulométrica del cemento Portland.....	77
Gráfica 3.3. Curva granulométrica de la mezcla de micropavimento.....	87
Gráfica 3.4. Contenido mínimo de asfalto residual por abrasión húmeda WTAT...	89
Gráfica 3.5. Contenido máximo de asfalto residual por rueda de carga LWT.....	91
Gráfica 3.6. Criterios para el contenido óptimo de asfalto residual.....	92
Gráfico 4.1. Contenido óptimo de asfalto residual.....	98
Gráfico 4.2. Resultado granulométrico de la muestra 1.....	100
Gráfico 4.3. Resultado granulométrico de la muestra 2.....	101
Gráfico 4.4. Resultado granulométrico de la muestra 3.....	102
Gráfico 4.5. Curva de fricción vs. velocidad de deslizamiento.....	113