

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



“EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA BASADA EN EL SILICIO
PARA SELLOS EN EL PAVIMENTO DE HORMIGÓN”

Por:

LIBIA GABRIELA SANCHEZ GUTIERREZ

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 I – 2019
TARIJA-BOLIVIA

ADVERTENCIA

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



DEDICATORIA

A mi pequeña hija Libia Fabiana por ser esa lucecita que hace que mis días sean brillantes y dignos de lucha.

A mi mamita María Olga Gutierrez por todo su amor, comprensión, apoyo incondicional y transmisión de fortaleza en mi vida.

A mi abuelita por todo su amor y apoyo incondicional.



AGRADECIMIENTO:

A Dios por la vida.

A toda mi “FAMILIA” por estar en las buenas y en las malas durante todos estos años, a todas esas personas de las cuales aprendí el coraje y tesón con que tengo que afrontar todos los días de mi vida.

A todos los docentes que hicieron posible mi formación como profesional.

A mi docente guía y docentes tribunales por apoyarme con ideas para concluir mi trabajo.

A las personas que me facilitaron materiales e información para mi trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

	Páginas
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3.1 Situación problemática.....	4
1.3.2 Problema.....	5
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivo específicos.....	5
1.5 HIPÓTESIS.....	6
1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTE Y DEPENDIENTE.....	6
1.6.1 Variable independiente	6
1.6.2 Variable dependiente.....	8
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO.....	8
1.7.1 Componentes: Unidades de estudio y decisión muestral, decisión muestral....	8
1.7.1.1 Unidades de estudio y decisión muestral.....	8
1.7.1.2 Decisión muestral.....	8
1.7.1.3 Población de estudio.....	9

1.7.1.4 Unidades de estudio.....	9
1.8 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.....	9
1.8.1 Método inductivo.....	9
1.8.2 Técnica empleada: Técnica de diseño experimental.....	10
1.8.3 Medios e instrumento.....	11
1.8.4 Procedimiento de aplicación.....	15
1.8.4.1 Descripción.....	16
1.9 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	17
1.9.1 Media.....	18
1.10 ALCANCE.....	18

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN Y LOS SELLOS

	Páginas
2.1 CONSIDERACIONES EN EL PAVIMENTO DE HORMIGÓN.....	20
2.1.1 Geología, morfología.....	21
2.1.2 Hidráulica e hidrogeología.....	22
2.1.3 Topografía.....	22
2.2 PAVIMENTO DE HORMIGÓN.....	23
2.2.1 Procedimiento constructivo del pavimento de hormigón.....	24
2.2.2 Dosificación, mezclado y colocación del pavimento de hormigón.....	25
2.3 COMPONENTES DEL PAVIMENTO DE HORMIGÓN.....	25

2.3.1 Subrasante.....	25
2.3.2 Subbase granular.....	26
2.3.3 Superficie de rodadura.....	27
2.3.3.1 Espesor de losa.....	28
2.4 JUNTAS.....	31
2.4.1 Diseño de juntas.....	34
2.4.1.1 Junta longitudinal.....	35
2.4.1.2 Junta transversal.....	36
2.4.2 Clasificación de juntas según la función que cumple.....	38
2.4.2.1 Juntas de contracción o retracción.....	38
2.4.2.2 Juntas de alabeo.....	43
2.4.2.3 Juntas de construcción.....	44
2.4.2.4 Juntas de expansión o aislamiento.....	49
2.5 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA GESTIÓN DE CONSERVACIÓN	52
2.5.1 Mantenimiento periódico.....	54
2.5.1. Índice de servicialidad.....	54
2.5.1.1 Servicialidad funcional.....	58
2.5.1.2 Servicialidad estructural.....	58
2.5.2 Rugosidad.....	58
2.5.3 Índice de condición del pavimento (PCI).....	59
2.5 FALLAS EN EL PAVIMENTO DE HORMIGÓN.....	62
2.5.1 Deficiencias de juntas en estructuras de pavimento de hormigón.....	63

2.5.2 Tipo de fisuramiento en las losas de pavimento de hormigón	64
2.5.2.1 Fisuras transversales.....	65
2.5.2.2 Fisuras longitudinales.....	67
2.5.3 Tipo de agrietamientos en las losas de pavimento de hormigón.....	69
2.5.3.1 Grietas transversales	69
2.5.3.2 Grietas longitudinales.....	70
2.6 SELLOS.....	70
2.6.1 Clasificación de sellos.....	74
2.6.1.1 Sellador asfáltico.....	77
2.6.1 Cemento asfáltico.....	77
2.7 ADITIVO	79

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DE LOS SELLOS EN LOSAS DEL PAVIMENTO DE HORMIGÓN

	Páginas
3.1 MATERIAL DE LOSA DE PAVIMENTO DE HORMIGÓN.....	82
3.1.1 Agregados Pétreos.....	82
3.1.1.1 Grava.....	82
3.1.1.2 Gravilla.....	82
3.1.1.3 Arena.....	83
3.1.1.4 Cemento.....	83

3.2 ENSAYOS PARA ELABORAR LOSA DE HORMIGÓN.....	83
3.2.1 Ensayos de caracterización para losa.....	83
3.2.1.1 Granulometría de agregados (AASHTO: T 27) (ASTM: C-136).....	83
3.2.1.2 Método para determinar el equivalente de arena (ASTM: D2419).....	86
3.2.1.3 Determinación del peso específico de los áridos.....	88
3.2.1.4 Peso unitario de los agregados (ASTM: C 29 M) (AASHTO T 19).....	91
3.2.1.5 Ensayo de desgaste de los ángeles (ASTM : C131) (AASHTO: T96).....	95
3.3 DOSIFICACIÓN DE LOSAS DE HORMIGÓN.....	96
3.3.1 Molde de losa.....	99
3.4 MATERIAL PARA LA COMBINACIÓN DEL SELLADOR ASFÁLTICO...	102
3.4.1 Cemento asfáltico.....	102
3.4.2 Silicio en polvo.....	103
3.4.3 Agregado fino como componente para sellos.....	106
3.5 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.....	108
3.5.1 Ensayo de penetración de asfalto (ASTM: D5) (AASHTO: T49-97).....	109
3.5.2 Ensayo de ductilidad (ASTM D113, AASHTO T51-00).....	112
3.5.3 Ensayo del punto de ablandamiento (ASTM: D36-89).....	117
3.6 PREPARACION Y DOSIFICACIÓN DEL SELLADOR ASFÁLTICO.....	119
3.6.1 Preparación del sellador asfáltico.....	119
3.6.2 Dosificación del sellador asfáltico.....	120
3.6.2.1 Sellado de juntas, grietas y fisuras en el laboratorio.....	125
3.7 ENSAYOS CON SELLADOR EN JUNTAS, GRIETAS Y FISURAS.....	130

3.7.1. Ensayo para determinar la textura en juntas, grietas y fisuras.....	130
3.7.2 Ensayo para determinar la adherencia del sellador en juntas, grietas y fisuras..	133
3.7.2.1 Adherencia en selladores asfálticos.....	151
3.7.3 Trabajabilidad en juntas, grietas y fisuras.....	158
3.7 COSTOS Y PRESUPUESTO.....	164

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Páginas
4.1 CONCLUSIONES.....	166
4.2 RECOMENDACIONES	167

ÍNDICE DE TABLA

	Páginas
Tabla 1.1 Componente de la variable independiente.....	6
Tabla 1.2 Componente de la variable dependiente.....	8
Tabla 2.3 Pasajuntas para estacionamientos, calles de ciudad y carreteras.....	42
Tabla 2.4 Espaciamiento de juntas de acuerdo al tipo de agregados.....	51
Tabla 2.5 Dimensiones en pasajuntas en pavimentos urbanos.....	51
Tabla 2.4 Calificación del índice de servicialidad presente según AASHTO.....	59
Tabla 2.5 Rangos de calificación del PCI.....	59
Tabla 2.6 Valores de IRI según su tipo de superficie.....	61

Tabla 2.7 Valores límites del IRI para considerar una intervención en m/ km.....	61
Tabla 2.8 Características de los sellos de acuerdo a su deformación admisible.....	75
Tabla 2.9 Cementos asfálticos graduados por penetración en función al clima.....	78
Tabla 3.1 Resultado de granulometría del agregado grueso (grava triturada).....	84
Tabla 3.2 Resultado de granulometría del agregado grueso (gravilla triturada).....	85
Tabla 3.3 Resultado de granulometría de agregado fino (arena triturada lavada)....	86
Tabla 3.4 de valores del equivalente de arena para el sellador.....	88
Tabla 3.5 Resultados del peso específico de la arena.....	89
Tabla 3.6 Resultados promedios del peso específico de la arena.....	90
Tabla 3.7 Resultados peso específico del agregado grueso.....	91
Tabla 3.8 Resultados peso específico del agregado grueso (gravilla).....	91
Tabla 3.9 Resultados peso unitario del agregado grueso (suelto).....	92
Tabla 3.10 Resultados peso unitario del agregado grueso (compactado).....	93
Tabla 3.11 Resultados peso unitario de gravilla (suelto).....	93
Tabla 3.12 Resultados peso unitario de gravilla (compactado).....	93
Tabla 3.13 Resultados peso unitario del agregado fino (suelto).....	94
Tabla 3.14 Resultados peso unitario del agregado fino (compactado)	94
Tabla 3.15 Número de esferas para ensayo de agregados gruesos.....	95
Tabla 3.16 Resultados promedio del ensayo de grava.....	96
Tabla 3.17 Resultados promedio del ensayo de gravilla.....	96
Tabla 3.18 Asentamiento.....	97
Tabla 3.19 Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción.....	97

Tabla 3.20 Relación asentamientos y tamaños máximos de agregados.....	98
Tabla 3.21 Relación de resistencia a la compresión y agua-cemento.....	98
Tabla 3.22 Relación del tamaño máximo nominal y módulo de finura de la arena...	98
Tabla 3.23 Pesos secos de las proporciones de material por (m ³) de concreto.....	99
Tabla 3.24 Resultado de proporciones de mezcla para 5 briquetas cubicas.....	99
Tabla 3.25 Ficha técnica del cemento asfáltico de valores de producción.....	103
Tabla 3.26 Valores característicos de silicio en polvo.....	106
Tabla 3.27 Resultados de granulometría del agregado pétreo (arena triturada).....	107
Tabla 3.28 de valores del equivalente de arena para el sellador.....	108
Tabla 3.29 Ensayos de caracterización del cemento asfáltico y el aditivo.....	109
Tabla 3.30 Resultados de penetración del asfalto.....	110
Tabla 3.31 Resultados de penetración del asfalto más el 1 % de silicio.....	110
Tabla 3.32 Resultados de penetración del asfalto más el 3 % de silicio.....	110
Tabla 3.33 Resultados de penetración del asfalto más el 6 % de silicio.....	111
Tabla 3.34 Resultados de penetración del asfalto el 8 % de silicio en polvo.....	111
Tabla 3.35 Resultados de penetración del asfalto el 10 % de silicio en polvo.....	112
Tabla 3.36 Resultados de ductilidad del asfalto 85-100.....	114
Tabla 3.37 Resultados de ductilidad del asfalto más el 1 % de silicio.....	114
Tabla 3.38 Resultados de ductilidad del asfalto más el 3 % de silicio.....	115
Tabla 3.39 Resultados de ductilidad del asfalto más el 6 % de silicio.....	115
Tabla 3.40 Resultados de ductilidad del asfalto más el 8 % de silicio.....	116
Tabla 3.41 Resultados de ductilidad del asfalto más el 10 % de silicio.....	116

Tabla 3.42 Resultados de ablandamiento del asfalto en condiciones normales.....	117
Tabla 3.43 Resultados de ablandamiento del asfalto más el 1 % de silicio.....	117
Tabla 3.44 Resultados de ablandamiento del asfalto más el 3 % de silicio.....	118
Tabla 3.45 Resultados de ablandamiento del asfalto más el 6 % de silicio.....	118
Tabla 3.46 Resultados de ablandamiento del asfalto más el 8 % de silicio.....	118
Tabla 3.47 Resultados de ablandamiento del asfalto más el 10 % de silicio.....	118
Tabla 3.48 Detalle del número de muestras de ensayos.....	120
Tabla 3.49 Porcentajes propuestos para la elaboración del sellador asfáltico.....	121
Tabla 3.50 Pesos de material al 0 % de silicio.....	121
Tabla 3.51 Pesos de material al 1 % con aditivo.....	122
Tabla 3.52 Pesos de material al 3 % con aditivo.....	123
Tabla 3.53 Pesos de material al 6 % con aditivo.....	123
Tabla 3.54 Pesos de material al 8 % con aditivo.....	124
Tabla 3.55 Pesos de material al 10 % con aditivo.....	125
Tabla 3.56 Textura de caras en la losa de pavimento de hormigón.....	132
Tabla 3.57 Lecturas en juntas con asfalto en condiciones normales.....	134
Tabla 3.58 Resultados en juntas con dosificación (0.5:0.01:0.49).....	135
Tabla 3.59 Resultados en juntas con dosificación (0.5:0.03:0.47).....	135
Tabla 3.60 Resultados en juntas con dosificación (0.5:0.06:0.44).....	136
Tabla 3.61 Resultados en juntas con dosificación (0.5:0.08:0.42).....	137
Tabla 3.62 Resultados en juntas con dosificación (0.5:0.1:0.4).....	138
Tabla 3.63 Lecturas en briquetas con fisuras con asfalto en condiciones normales..	139

Tabla 3.64 Lecturas en briquetas con fisuras con dosificación (0.5:0.01:0.49).....	140
Tabla 3.65 Lecturas en briquetas con fisuras con dosificación (0.5:0.03:0.47).....	141
Tabla 3.66 Lecturas en briquetas con fisuras con dosificación (0.5:0.06:0.44).....	142
Tabla 3.67 Lecturas en briquetas con fisuras con dosificación (0.5:0.08:0.42).....	143
Tabla 3.68 Lecturas en briquetas con fisuras con dosificación (0.5:0.1:0.4).....	144
Tabla 3.69 Lecturas en briquetas con grietas con asfalto en condiciones normales..	145
Tabla 3.70 Lecturas en briquetas con grietas con dosificación (0.5:0.01:0.49).....	146
Tabla 3.71 Lecturas en briquetas con grietas con dosificación (0.5:0.03:0.47).....	147
Tabla 3.72 Lecturas en briquetas con grietas con dosificación (0.5:0.06:0.44).....	148
Tabla 3.73 Lecturas en briquetas con grietas con dosificación (0.5:0.08:0.42).....	149
Tabla 3.74 Lecturas en briquetas con grietas con dosificación (0.5:0.1:0.4).....	150
Tabla 3.70 Resumen del resultado del ensayo de recuperación elástica.....	161
Tabla 3.71 Lectura de resultado de la capacidad de expansión de los selladores...	163

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1.1 Tamiz.....	11
Figura 1.2 Horno de secado.....	12
Figura 1.3 Instrumentos de laboratorio.....	12
Figura 1.4 Procedimiento para el ensayo de penetración.....	13
Figura 1.5 Penetrómetro.....	13
Figura 1.6 Equipo de ensayo de punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola.....	14
Figura 1.7. Ensayo de ductilidad.....	14

Figura 1.8 Ensayo en equipo de corte directo.....	14
Figura 2.1 Mecanismo de distribución de esfuerzos en pavimentos rígidos.....	24
Figura 2.2 Identificación de la capa subrasante.....	26
Figura 2.3 Identificación de la capa subbase granular.....	27
Figura 2.4 Identificación de la superficie de rodadura.....	28
Figura 2.5 Pavimento de concreto simple sin pasadores.....	29
Figura 2.6 Pavimento de concreto simple con pasadores.....	30
Figura 2.7 Pavimento de concreto reforzados con juntas.....	30
Figura 2.8 Pavimento con refuerzo continuo.....	31
Figura 2.9 Losa tipo de pavimento de hormigón.....	32
Figura 2.10 Sistema de losas.....	34
Figura 2.11 División de juntas en calles de pavimento de hormigón.....	35
Figura 2.12 Junta longitudinal en la calle de pavimento de hormigón.....	36
Figura 2.13. Junta transversal.....	36
Figura 2.14 Junta transversal de contracción/ construcción.....	37
Figura 2.15 Juntas de pavimento.....	39
Figura 2.16 Ensamble de pasajuntas.....	43
Figura 2.17 Ensamble de pasajuntas.....	43
Figura 2.18 Losa en estado ideal y con elementos alabeados por temperatura.....	44
Figura 2.19 Junta transversal de construcción.....	45
Figura 2.20 Trabajos en junta transversal de construcción.....	45
Figura 2.21 Tipos de juntas de construcción.....	46

Figura 2.22. Junta transversal de construcción.....	46
Figura 2.23 Junta transversal de construcción.....	47
Figura 2.24 Junta longitudinal de construcción.....	47
Figura 2.25 Localización de las juntas longitudinales de doble sentido.....	48
Figura 2.26 Junta longitudinal de construcción en la calle Padilla.....	48
Figura 2.27 Junta de expansión.....	49
Figura 2.28 Localización de juntas en un cruce de vía.....	50
Figura 2.29 Índice de servicialidad.....	55
Figura 2.30 Comportamiento de un pavimento: Funcional – Estructural.....	55
Figura 2.31 Relación de comportamiento – estructura.....	56
Figura 2.32 Comparación de comportamiento – estructura.....	57
Figura 2.33 Comportamiento en función a la vida.....	57
Figura 2.34 Indicadores de Calidad.....	61
Figura 2.35 Tipos de juntas en pavimentos de concreto.....	62
Figura 2.36 Fisuramiento de losa.....	65
Figura 2.37 Vista frontal de fisura.....	66
Figura 2.38 Fisuras en calles.....	66
Figura 2.39 Fisura transversal en la calle Padilla.....	67
Figura 2.40 Fisura longitudinal en la calle Padilla.....	68
Figura 2.41 Grietas en intersección de calles.....	69
Figura 2.42 Grietas longitudinales en calles.....	70
Figura 2.43 Variación del crudo del petróleo.....	79

Figura 2.44 Silicio en polvo.....	80
Figura 3.1 Material acopiado de la clasificadora.....	82
Figura 3.2 Material acopiado de la gravilla.....	83
Figura 3.3 Tamices para determinar la granulometría de árido grueso.....	84
Figura 3.4 Preparación de material.....	87
Figura 3.5 Adicionando la arena a las probetas.....	87
Figura 3.6 Pasos seguidos en la obtención del peso específico de arena.....	89
Figura 3.7 Pesaje del material.....	90
Figura 3.8 Muestra saturada.....	90
Figura 3.9 Muestras para peso específico de agregado grueso.....	91
Figura 3.10 Procedimiento del ensayo de peso unitario del material fino.....	94
Figura 3.11 Máquina de los ángeles en el proceso del ensayo.....	96
Figura 3.12 Molde de ensayo.....	100
Figura 3.13 Mezclado de material.....	101
Figura 3.14 Moldes con la mezcla.....	101
Figura 3.15 Asfalto en tambor de 200 Kg.....	102
Figura 3.16 Presentación de sílice en polvo.....	103
Figura 3.17 Escala de dureza de los minerales.....	104
Figura 3.18 Granulometría de silicio en polvo.....	106
Figura 3.19 Procedimiento del ensayo de ductilidad.....	113
Figura 3.20 Muestras en el ductilímetro.....	113
Figura 3.21 Briquetas con 0 % de adición de silicio.....	114

Figura 3.22 Muestras en el ductilímetro del asfalto más el 10 % de silicio.....	116
Figura 3.23 Preparado de la losa para vaciar el sellador.....	126
Figura 3.24 Medido e identificado del ancho de junta.....	126
Figura 3.25 Aserrado en la superficie de la grieta.....	127
Figura 3.26 Proceso de preparación de grietas y fisuras.....	127
Figura 3.27 Tirilla de respaldo.....	128
Figura 3.28 Briqueta con sellador.....	128
Figura 3.29 Colocado del sellador a grietas y fisuras.....	129
Figura 3.30 Colocado del sellador a juntas.....	129
Figura 3.31 Muestras de juntas, grietas y fisuras dosificadas.....	129
Figura 3.32 Ensayo de adherencia de los selladores.....	133
Figura 3.33 Esfuerzo deformación de los selladores en juntas.....	152
Figura 3.34 Barras comparativas entre selladores en juntas.....	153
Figura 3.35 Esfuerzo deformación de los sellos en grietas.....	154
Figura 3.36 Comportamiento de los selladores en grietas.....	155
Figura 3.37 Esfuerzo deformación de los sellos en fisuras.....	156
Figura 3.38 Comportamiento de los selladores en las fisuras.....	157
Figura 3.39 Ensayo de recuperación elástica.....	159
Figura 3.40 Barras comparativas de recuperación elástica de los sellos.....	161

BIBLIOGRAFIA

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Planillas de cálculo de caracterización de los áridos.

ANEXO 2 Planillas de resumen de la caracterización del cemento asfáltico y aditivo.

ANEXO 3 Documentos complementarios.

