

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



**“MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL DRENAJE EN
MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE
PLASTÓMERO (PVC)”**

Por:

HENRY FELIX SIVILA MONTES

Proyecto de Aplicación presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar por el Grado Académico de Licenciatura en **INGENIERÍA CIVIL**.

SEMESTRE I - 2018

TARIJA - BOLIVIA

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

**“MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL DRENAJE EN
MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE
PLASTÓMERO (PVC)”**

Por:

HENRY FELIX SIVILA MONTES

SEMESTRE I - 2018
TARIJA – BOLIVIA

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

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

TRIBUNAL:

.....
Ing. Mabel Zambrana Velasco

.....
Ing. Nelson Rodríguez Lezana

.....
Ing. Marcelo Segovia Cortez

El Tribunal Calificador de la presente tesis, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIAS:

A mis padres Félix y Lucia, por su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Ismael, Gisela y Fabiola por ser mis compañeros de vida.

A mis profesores y docentes por forjar en mí el deseo de contribuir a esta sociedad con mi trabajo y conocimiento.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a mi creador por su infinito amor, bondad y misericordia, que se dió así mismo por aquéllos que estábamos apartados sin un rumbo.

A mis padres por haberme dado la oportunidad de tener una mejor educación, por haberme apoyado y motivado para que pudiera seguir adelante y poder culminar esta etapa de mi vida.

A mis docentes guías quienes me ayudaron y orientaron en la elaboración de la tesis.

PENSAMIENTO:

Cuando te entren dudas sobre tu futuro,
piensa hasta dónde has llegado, recuerda
todo lo que afrontaste, las batallas que
ganaste, y los miedos que superaste...

-Mario Ballón

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

	PÁGINA
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3.1 Situación problemática	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	5
1.5.1 Hipótesis	5
1.5.2 Identificación de variables	5
1.5.3 Conceptualización y operacionalización de las variables	6
1.6 ALCANCE DEL TRABAJO	7
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.7.1 Identificación del tipo del diseño de investigación	8
1.7.2 Unidades de estudio y decisión muestral por variable	8
1.7.3 Métodos y procedimientos lógicos	12
1.7.4 Tratamiento estadístico	13

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA	15
2.1.2 Clasificación de las mezclas asfálticas	15
2.1.3 Especificaciones	23
2.1.4 Componentes de la mezcla	27
2.1.5 Determinación del tipo de mezcla	32
2.1.6 Preparación de la mezcla	33
2.1.7 Métodos de dosificación	33
2.1.8 Dosificación	34
2.1.9 Transporte y puesta en obra	38
2.1.10 Asfalto modificado con polímeros	43
2.1.11 Propiedades generales de las mezclas asfálticas	44
2.1.12 Consideraciones para la selección y proyecto de una mezcla asfáltica	46
2.1.13 Funcionalidad de la mezcla asfáltica en los pavimentos	48
2.1.14 Propiedades de las mezclas asfálticas para las capas de rodadura	49
2.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES	50
2.2.1 Ventajas de las mezclas drenantes	52
2.2.2 Desventajas de las mezclas drenantes	54
2.2.3 Consideraciones generales para el diseño de mezclas drenantes	54
2.2.4 Métodos de diseño	56

2.2.5 Fabricación y puesta en obra de la mezcla drenante.....	58
2.2.6 Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño.....	59
2.3 ASFALTOS MODIFICADOS.....	59
2.3.1 Beneficios que se buscan con la modificación del asfalto.....	62
2.3.2 Las asociaciones asfalto-polímero asfalto.....	62
2.3.3 Estructura física.....	66
2.3.4 Compatibilidad asfalto-polímero.....	68
2.3.5 Caracterización de los asfaltos modificados con polímeros.....	71
2.3.6 Aplicaciones de los asfaltos modificados.....	73
2.3.6.1 Mezclas drenantes.....	74
2.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL POLICLORURO DE VINILO (PVC).....	74
2.4.1 Propiedades físico-químicas.....	74
2.4.2 Usos más frecuentes.....	75
2.4.3 Propiedades importantes del PVC.....	76
2.4.4 El PVC en la construcción.....	78
2.5 ENSAYOS DE LOS AGREGADOS.....	80
2.5.1 Ensayos de caracterización del cemento asfáltico.....	80
2.5.1.1 Ensayo de penetración.....	80
2.5.1.2 Ensayo de punto de inflamación basado en norma AASHTO: T 48 – 04 con equivalencia en ASTM: D 92 - 02b y norma IP: 36/84 (89).....	81
2.5.1.3 Ensayo de película delgada en horno basado	

en ASTM D 1754-97 (2002).....	82
2.5.1.4 Ensayo de ductilidad.....	83
2.5.1.5 Ensayo de viscosidad (Basado en ASTM D 2170-01a).....	85
2.5.1.6 Punto de ablandamiento (anillo y bola).....	89
2.5.1.7 Ensayo de peso específico.....	90
2.5.2 Ensayos de caracterización de los agregados pétreos.....	92
2.5.2.1 Ensayo de desgaste de los ángeles (Basado en ASTM C 131).....	93
2.5.2.2 Ensayo de sanidad de agregados por sulfato de sodio, basado en norma ASTM: C 88, con equivalencia en AASHTO: T 104.....	94
2.5.2.3 Determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso, basado en norma ASTM: D 5821-01.....	95
2.5.2.4 Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos basado en norma ASTM: D 4318.....	96
2.5.2.5 Ensayo del equivalente de arena, basado en norma ASTM: D 2419 con equivalencia en AASHTO: T 176.....	96
2.5.2.6 Granulometría agregado grueso y fino.....	97
2.5.2.7 Peso específico y absorción del agregado fino arena.....	100
2.5.2.8 Peso específico y absorción del agregado grueso.....	102

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS Y CEMENTO ASFÁLTICO

3.1. DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE	
EN LABORATORIO	104
3.1.1 Ubicación de las zonas de extracción de los materiales	104
3.1.2 Selección de materiales	105
3.2. ENSAYOS EN LABORATORIO	106
3.2.1 Peso específico grava y gravilla	107
3.2.2 Peso específico de la arena	113
3.2.3 Ensayo de durabilidad a sulfatos	117
3.2.4 Caras fracturadas	122
3.2.5 Granulometría	123
3.2.6 Conformación de la curva granulométrica de diseño	128
3.2.7 Desgaste de los Ángeles	131
3.2.8 Ensayo de equivalente de arena ASTM D-2419	137
3.2.9 Ensayo del índice de lajas	139
3.2.10 Ensayo de límites de Atterberg	142
3.2.11 Cuadro resumen de los ensayos de la caracterización de los agregados pétreos	143
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO	144
3.3.1 Ensayo de ductilidad	144
3.3.2 Ensayo de punto de ablandamiento	146
3.3.3 Ensayo de penetración	149

3.3.4 Ensayo de peso específico.....	151
3.3.5 Ensayo de punto de inflamación.....	151
3.4 ADICIÓN DEL PVC EN EL CEMENTO ASFÁLTICO	154

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA MEZCLA DRENANTE

4.1 DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DRENANTES (MARSHALL).....	157
4.2 PROCEDIMIENTO DE LA REALIZACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE DE DISEÑO	159
4.3 ROTURA DE LAS BRIQUETAS DE DISEÑO.....	165
4.4 ANÁLISIS DE LA MEZCLA DRENANTE NORMAL Y LA MODIFICADA.....	173
4.5 ENSAYO DE LA PERMEABILIDAD (permeámetro LCS de Carga variable).....	176
4.6 MEZCLA MODIFICADA CON PVC A PARTIR DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO.....	182
4.7 ENSAYO DE CÁNTABRO EN SECO.....	184
4.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN LA HIPÓTESIS DEL PROYECTO.....	190
4.8.1 Análisis de la porosidad.....	190

4.8.2 Análisis de la permeabilidad y eficiencia.....	194
4.8.3 Análisis estadístico.....	201

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.....	208
5.2 RECOMENDACIONES.....	210

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de agregados

Anexo 2. Caracterización del C.A. y C.A. modificado

Anexo 3. Dosificación de briquetas

Anexo 4. Ensayo de Marshall

Anexo 5. Ensayo de Cántabro

Anexo 6. Ensayo de Permeabilidad

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Fig. 2.1 Esquema del funcionamiento de una capa drenante.....	51
Fig. 2.2 Hidroplaneo de las ruedas con el pavimento.....	52
Fig. 2.3 Macro textura del pavimento.....	53
Fig. 2.4 Fenómeno "Splash" producido en superficies no drenantes.....	53
Fig. 2.5 Efecto de la incorporación de un polímero sobre la susceptibilidad técnica del asfalto.....	62
Fig. 2.6 Composición del asfalto.....	63
Fig. 2.7 Clasificación de polímeros.....	63
Fig. 2.8 Sistema amorfo (a), semi cristalino (b) y cristalino(c).....	66
Fig. 2.9 Resultados obtenidos por microscopia electrónica para determinación de compatibilidad de los polímeros en la mezcla (Aumento: 200x).....	69
Fig. 2.10 Análisis morfológico de un mismo tipo de asfalto con y sin modificación mediante Microscopia electrónica.....	72
Fig. 2.11 Esquema de los usos más frecuentes que le dan al PVC.....	76
Fig. 2.12 Ensayo de penetración.....	81
Fig. 2.13 Ensayo de punto de inflamación "Vaso abierto de Cleveland".....	82
Fig. 2.14 Ensayo de película delgada en horno.....	83
Fig. 2.15 Ensayo de ductilidad.....	84
Fig. 2.15.a Vista en planta del Ensayo de ductilidad.....	84
Fig. 2.15.b Vista en planta de la rotura del ensayo.....	85

Fig. 2.16 Viscosímetro de vacío del Asphalt Institute y Viscosímetro de vacío de Cannon- Manning.....	86
Fig. 2.16.a Viscosímetro en el “baño”.....	87
Fig. 2.16.b Viscosímetro de brazos cruzados y en el “baño”.....	88
Fig. 2.17.a Esquema del ensayo de punto de ablandamiento (anillo y bola).....	89
Fig. 2.17.b Vista del ablandamiento del cemento asfáltico	89
Fig. 2.18 Máquina de desgaste de los Ángeles.....	94
Fig. 2.19 Agregados en saturación con sulfato de sodio	95
Fig. 2.20 Copa de Casagrande para la medición del límite líquido	96
Fig. 2.21 Probeta graduada con material listo para reposar durante el ensayo del equivalente de arena.....	97
Fig. 3.1 Chancadora Garzón en la comunidad de San Mateo.....	104
Fig. 3.2 Pesaje de la muestra en laboratorio.....	107
Fig. 3.2.a Lavado del material para ser sumergido por 24 horas.....	107
Fig. 3.2.b Secado de la muestra en laboratorio.....	108
Fig. 3.2.c Pesado de la muestra después de haber sido secado superficialmente.....	109
Fig.3.2.d Pesado de la muestra sumergida en el canastillo.....	109
Fig. 3.2.e Secado de la muestra al horno, para luego ser pesada.....	110
Fig. 3.3.a Secado de la arena con secadora.....	113
Fig. 3.3.b Colocado de la muestra en el matraz.....	114
Fig. 3.3.c Determinación de la superficie seca de la muestra saturada.....	114
Fig. 3.3.d Pesado de la muestra, matraz y agua para llevarlo después al horno.....	115
Fig. 3.4.a Preparación de la solución de sulfato de sodio para los agregados.....	117

Fig. 3.4.b Pesaje del agregado después de ser tamizado para sumergirlos en sulfato de sodio.....	118
Fig. 3.4.c Muestras pesadas después de los 5 ciclos en sulfato de sodio.....	118
Fig. 3.5 Muestras tomadas de agregado grueso para realizar el ensayo.....	122
Fig. 3.6.a Máquina de desgaste de los Ángeles.....	132
Fig. 3.6.b Colocación de las muestras en la máquina de desgaste.....	132
Fig. 3.6.c Tamizado de las muestras por la malla N°12.....	133
Fig. 3.6.d Lavado de las muestras después del tamizado.....	133
Fig. 3.6.e Pesado de las muestras después del secado en el horno.....	133
Fig. 3.7 Ensayo de equivalente de arena.....	138
Fig. 3.8 Agregado grueso para el ensayo de índice de lasjas.....	140
Fig. 3.9.a Vaselina líquida y talco para untar los moldes.....	144
Fig. 3.9.b Vaciado del cemento asfáltico en los moldes.....	145
Fig. 3.9.c Medida de las muestras en el ductilímetro.....	145
Fig. 3.10.a Equipo de Baño María a temperatura de 5°C.....	146
Fig. 3.10.b Pequeños moldes para verter el cemento asfáltico.....	147
Fig. 3.10.c Control de temperatura del punto de ablandamiento.....	147
Fig. 3.10.d Cemento asfáltico fluyendo a incremento de temperatura.....	148
Fig. 3.11.a Vertido del cemento asfáltico en las taras.....	149
Fig. 3.11.b Colocado de las muestras en baño maría durante 30 min.....	149
Fig. 3.11.c Medición de la penetración del cemento asfáltico.....	150
Fig. 3.12.a Vaciado del cemento asfáltico en la copa de Cleveland.....	152
Fig. 3.12.b Control de la temperatura en la copa de Cleveland.....	152
Fig. 3.12.c Punto de inflamación en la copa de Cleveland.....	153

Fig. 4.19 Asegurar el permeámetro con la muestra.....	179
Fig. 4.20 Vertido de la carga de agua en el permeámetro.....	179
Fig. 4.21 Volumen de agua filtrada a través de la muestra.....	180
Fig. 4.22 Muestras a llevar a la máquina de los Ángeles.....	184
Fig. 4.23 Colocado de las muestras en la máquina de los Ángeles.....	184
Fig. 4.24 Pesaje de las muestras después del ensayo de Cántabro.....	185

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Operacionalidad de variables.....	6
Tabla 1.2 Selección del nivel de confianza.....	8
Tabla 1.3 Proporción y varianzas de ensayos.....	9
Tabla 1.4 Ensayos a realizar.....	10
Tabla 1.5 Planilla de muestra estratificada 1.....	10
Tabla 2.1 Resumen clasificación de Mezclas asfálticas.....	22
Tabla 2.2 Descripción de tipo de mezclas asfálticas.....	25
Tabla 2.3 Especificaciones Marshall.....	26
Tabla 2.4.a Dosificación de mezclas en caliente empleando el método Marshall.....	37
Tabla 2.4.b Relaciones ponderales filler/betún recomendadas para Mezclas D, S y G.....	38
Tabla 2.5 Resumen de las propiedades funcionales en las mezclas asfálticas.....	50
Tabla 2.6 Resumen propiedades técnicas de las mezclas asfálticas.....	50
Tabla 2.7 Contenido de vacíos aceptado por algunos países	52
Tabla 2.8 Temperatura de transición vítrea y de fusión de los polímeros de uso frecuente.....	67
Tabla 2.9 Mejoras en asfaltos debido a la utilización de polímeros.....	70
Tabla 2.10 Cemento asfáltico modificado con plastómero.....	72
Tabla. 2.11 Propiedades del PVC.....	77

Tabla 2.12 Requisitos fracción gruesa.....	98
Tabla 2.13 Requisitos para la fracción fina.....	98
Tabla 2.14 Requisitos para áridos combinados.....	99
Tabla 2.15 Bandas granulométricas.....	100
Tabla 3.1.a Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de la grava.....	111
Tabla 3.1.b Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de la gravilla.....	112
Tabla.3.2 Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de la arena.....	116
Tabla 3.3.a Cuadro de pérdidas por sulfato de sodio de la grava.....	119
Tabla.3.3.b Cuadro de pérdidas por sulfato de sodio de la gravilla	120
Tabla.3.3.c Cuadro de pérdidas por sulfato de sodio de la arena.....	121
Tabla 3.4 Cálculo de cantidad de caras fracturadas que tiene la muestra.....	122
Tabla 3.5.a Cálculo granulométrico de la arena a utilizar chancadora de San Mateo.....	124
Tabla 3.5.b Cálculo granulométrico de la grava a utilizar chancadora de San Mateo.....	125
Tabla 3.5.c Cálculo granulométrico de la gravilla a utilizar chancadora de San Mateo.....	127
Tabla.3.6. Cálculo de la curva granulométrica conformada	128
Tabla 3.7.a Resumen de la granulometría conformada.....	130
Tabla 3.8.a Gradación tipo A, N° de esferas: 12.....	134
Tabla 3.8.b Gradación tipo B, N° de esferas: 11.....	135

Tabla 3.8.c Gradación Tipo C, N° de esferas: 8	136
Tabla 3.9 Cálculo del equivalente de arena	138
Tabla 3.10 Ensayo de índice de lajas	141
Tabla 3.11 Límites de Atterberg	142
Tabla 3.12 Cuadro resumen caracterización agregados pétreos	143
Tabla 3.13 Ensayo de ductilidad	146
Tabla 3.14 Ensayo de punto de ablandamiento	148
Tabla 3.15 Ensayo de penetración	150
Tabla 3.16 Ensayo de peso específico	151
Tabla 3.17 Ensayo punto de inflamación	153
Tabla 4.1 Porcentaje de agregado según las fajas granulométricas	157
Tabla.4.2 Dosificación del contenido de asfalto y agregados para las briquetas	159
Tabla 4.3 Ensayo de permeabilidad	181
Tabla 4.4 Ensayo de permeabilidad con muestra modificada con PVC	182
Tabla 4.5 Ensayo de Cántabro	185
Tabla 4.6 Ensayo de Cántabro a muestra modificada con PVC	187
Tabla 4.7 Relación de porcentaje de vacíos en una mezcla modificada y una sin modificar	189
Tabla 4.8 Relación de porcentaje de mezcla asfáltica y porosidad	190
Tabla 4.9 Relación de porcentaje de mezcla asfáltica modificada y porosidad	192
Tabla 4.10 Resumen de ensayo de permeabilidad	194

Tabla 4.11 Resumen de ensayo de permeabilidad mezcla modificada.....	197
Tabla.4.12 Intervalos de valores de K (cm/s) en función a la drenabilidad.....	200
Tabla 4.13 Tiempos de evacuación de agua a través de la mezcla asfáltica drenante sin modificar.....	201
Tabla 4.14 Grado de representatividad de datos según el coeficiente de variabilidad.....	203
Tabla 4.15 Tiempos de evacuación de agua a través de la mezcla asfáltica drenante modificado con PVC.....	204
Tabla 4.16 Análisis estadístico de la permeabilidad de la mezcla asfáltica sin modificar.....	205
Tabla 4.17 Análisis estadístico de la permeabilidad de la mezcla asfáltica modificada con PVC.....	206

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 3.1.a Curva Granulométrica de la arena.....	124
Gráfico 3.1.b Curva Granulométrica de la grava.....	126
Gráfico 3.1.c Curva granulométrica de la gravilla.....	127
Gráfico 3.2 Curva granulométrica conformada.....	130
Gráfico 4.1 Curva granulométrica diseño Marshall.....	158
Gráfico 4.2 Densidad vs. Contenido de cemento asfáltico.....	173
Gráfico 4.3 Estabilidad vs. Contenido de cemento asfáltico.....	174
Gráfico 4.4 Fluencia vs. Contenido de cemento asfáltico.....	174
Gráfico 4.5 Porcentaje de vacíos vs. Contenido de cemento asfáltico.....	175
Gráfica 4.6 Porcentaje de vacíos del agregado vs. C.A.....	175
Gráfica 4.7 Porcentaje de relación de betún-vacíos vs. C.A.....	176
Gráfico 4.8 Porcentaje de vacíos vs. Porcentaje de C.A.....	186
Gráfico 4.9 Porcentaje de pérdidas vs. Porcentaje de C.A.....	186
Gráfico 4.10 Porcentaje de vacíos vs. Permeabilidad.....	187
Gráfico 4.11 Porcentaje de pérdidas vs. Porcentaje de C.A.....	188
Gráfico 4.12 Relación de porcentaje de cemento asfáltico sin modificar vs. Porosidad.....	191
Gráfico 4.13 Relación de porcentaje de cemento asfáltico modificado con PVC vs. Porosidad.....	193
Gráfico 4.14 Tiempo vs. Porcentaje de C.A.....	195
Gráfico 4.15 Permeabilidad vs. Porcentaje de C.A.....	195

Gráfico 4.16 Permeabilidad vs. Porcentaje de C.A en barras.....	196
Gráfico 4.17 Tiempo vs. Porcentaje de C.A modificado.....	197
Gráfico 4.18 Permeabilidad vs. Porcentaje de C.A modificado.....	198
Gráfico 4.19 Permeabilidad vs. Porcentaje de C.A modificado en barras.....	198