

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE  
COMUNICACIÓN**



**ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL GRADO DE DESEMPEÑO  
EN LA CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS EN NUESTRO MEDIO  
Y SU INFLUENCIA EN EL COSTO**

**POR:**

**JORGE MARCELO ROMERO GALLARDO**

**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**

**ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL GRADO DE DESEMPEÑO  
EN LA CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS EN NUESTRO MEDIO  
Y SU INFLUENCIA EN EL COSTO**

POR:

**JORGE MARCELO ROMERO GALLARDO**

Modalidad de graduación 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 -I- 2018**

**TARIJA-BOLIVIA**

V° B°

.....  
M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez

**DECANO  
FACULTAD CIENCIAS  
Y TECNOLOGÍA**

.....  
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANA  
FACULTAD CIENCIAS  
Y TECNOLOGÍA**

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

.....  
Ing. Moisés Eduardo Díaz A.

.....  
Ing. Laura K. Soto Salgado

.....  
Ing. Luis Alberto Yurquina F.

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

## DEDICATORIA

**A DIOS:** Por darme voluntad, fuerza y sabiduría para realizar este trabajo de graduación. Por permitirme culminar esta gran etapa y estar en cada momento junto a mí.

**A MI PADRE:** Seferino Romero, por darme la vida, por haberme brindado su apoyo, su cariño y estar junto a mí guiándome en muchos aspectos de formación de mi vida y por ser el motor económico para poder lograr este sueño anhelado.

**A MI MADRE:** Beatriz Gallardo Mancilla, por darme la vida, por ser esa persona que me brindo el apoyo incondicional durante toda mi vida, por estar en los momentos más difíciles, por haberme sabido guiar por el camino del bien, por luchar incansablemente para verme feliz y ser también al igual que mi padre el motor económico para culminar mi carrera profesional.

**A MIS HERMANOS Y HERMANAS:** Luly, Javier, Solanda y Carlos Romero, por brindarme su amor, sus consejos y los innumerables momentos de apoyo que me dieron cuando los necesite.

**A MI TIA:** Limbania Gallardo Mancilla, porque sé que le hubiera gustado verme triunfar profesionalmente y sé también que en algún lugar ella está feliz por este gran momento de mi vida.

**A MI TIO:** Ing. Jorge Ruiz Martínez, por ser una persona comprensiva, transmisor de sus mejores consejos y brindarme la oportunidad de poder trabajar en su empresa constructora y al mismo tiempo poder culminar mis estudios, dándome la oportunidad de ser el primer lugar en el que mi persona ingrese en el mundo de la ingeniería y en el que conocí compañeros de trabajo que me supieron apoyar.

**A MI NOVIA:** Karla Ivonne Gutiérrez, porque desde que la conocí siempre ha estado a mi lado apoyándome, brindándome su cariño y compartiendo conmigo grandes momentos de alegría y felicidad.

**A MIS AMIGOS:** Por haberme apoyado en las incontables jornadas de estudio que pasamos juntos, por ser comprensivos y llenar de alegría mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi profundo agradecimiento a Dios por darme la vida y me da sabiduría y así haber concluido este trabajo de graduación.

A mis asesores, Ing. Jhonny Orgaz, Ing. Trinidad Baldivieso, Ing. Wilson Yucra, quienes atendieron las consultas, haciéndome las correcciones necesarias y oportunas y en general me guiaron en este trabajo de graduación.

Al ing. Daniel Valdez, por poner a disposición el local y equipo de laboratorio de la Empresa Constructora Erika y por brindarme la información técnica necesaria solicitada.

A la Alcaldía municipal de la ciudad de Tarija, por brindarme la información técnica necesaria para este trabajo de investigación.

Al Servicio Departamental de Caminos, por brindarme y permitirme disponer del uso del equipo de laboratorio de asfaltos para las prácticas y a sus técnicos por el apoyo para la realización de las mismas.

A todos los ingenieros que en el transcurso de mi formación universitaria me brindaron el conocimiento necesario en las diferentes asignaturas, por los consejos humanos y profesionales brindados en clase y por su amistad.

A mi familia por su apoyo permanente e incondicional.

A todas aquellas personas que en un determinado momento me apoyaron de alguna u otra manera para el desarrollo y concretización de mi tesis.

## **PENSAMIENTO**

Los objetivos no son un destino, son una dirección. No son órdenes, son compromisos. No determinan el futuro; son medios para movilizar los recursos y la energía capaces de crear el futuro.

*PETER DRUKER*



## **SIGLAS**

ASTM :	American Society for testing Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)
AASHTO :	American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte)
MAC :	Mezcla Asfáltica en Caliente
NCHRP :	National Cooperative Highway Research Program (Programa Nacional Cooperativo para la investigación de Carreteras)
PG :	Performance Grade (Grado de desempeño)
SHRP :	Strategic Highway Research Program (Programa Estratégico para la Investigación de Carreteras)
SUPERPAVE :	Superior Performing Asphalt Pavements (Pavimentos Asfálticos de Rendimiento Superior)

## ÍNDICE GENERAL

Advertencia

Dedicatoria

Agradecimiento

Pensamiento

Resumen

**Página**

### CAPÍTULO I

#### DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1	Introducción.....	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Planteamiento del problema.....	3
1.3.1.1	Situación problemática.....	3
1.3.2	Problema.....	3
1.4	Objetivos de la investigación.....	4
1.4.1	Objetivo general.....	4
1.4.2	Objetivos específicos.....	4
1.5	Hipótesis de la investigación.....	4
1.6	Variables de la investigación.....	4
1.7	Alcance.....	5
1.8	Diseño metodológico.....	6
1.8.1	Unidad de estudio.....	6

1.8.2	Población.....	6
1.8.3	Muestra.....	6
1.8.4	Muestreo.....	6
1.9	Métodos.....	7
1.10	Técnicas.....	7
1.10.1	Mediciones.....	7
1.10.2	Ensayo.....	8
1.11	Evaluación.....	8
1.12	Medios.....	8
1.13	Metodología.....	8
1.13.1	Ubicación de los tramos carreteros.....	10
1.13.2	Obtención de información de temperaturas del Senamhi.....	10
1.13.3	Determinación de las temperaturas de servicio del pavimento.....	10
1.13.4	Influencia del costo por clasificación del ligante por PG respecto a la clasificación según los métodos tradicionales.....	11
1.13.5	Obtención de las muestras.....	11
1.13.6	Obtención de resultados y relación de valores obtenidos de PG con la caracterización de cementos y núcleos correspondientes a cada sector.....	12
1.13.7	Análisis de los resultados obtenidos.....	12
1.13.8	Conclusiones y recomendaciones.....	12
1.14	Tratamiento estadístico.....	12

## CAPÍTULO II

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2.1	Cementos asfálticos convencionales y modificados con polímeros.....	16
2.1.1	Asfaltos.....	16
2.1.2	Materiales asfálticos.....	16
2.1.3	Propiedades físicas y químicas del asfalto.....	16
2.1.3.1	Propiedades químicas del asfalto.....	17
2.1.3.2	Propiedades físicas del asfalto.....	19
2.1.4	Tipos de asfaltos.....	19
2.1.4.1	Cemento asfáltico.....	19
2.1.4.2	Asfalto emulsificado.....	20
2.1.4.3	Asfalto cutback.....	20
2.1.5	Asfaltos Modificados.....	20
2.1.5.1	Requisitos para asfaltos modificados.....	21
2.1.6	Asfaltos convencionales.....	22
2.1.6.1	Pruebas de calidad.....	22
2.2	Clasificación de los cementos asfálticos.....	25
2.2.1	Clasificación por penetración.....	25
2.2.1.1	Especificación por penetración.....	27
2.2.2	Clasificación por viscosidad.....	27
2.2.2.1	Especificaciones por viscosidad.....	28
2.2.3	Clasificación por grado de desempeño.....	29
2.2.3.1	El ligante SUPERPAVE.....	29

2.2.3.2 Elección del ligante asfáltico.....	31
2.2.3.3 Temperaturas del pavimento.....	32
2.3 Ensayos superpave del ligante.....	35
2.4 Envejecimiento del asfalto.....	37
2.4.1 Ensayo de película Fina en horno rotatorio, RTFO AASHTO T240 ó ASTM D 2872.....	37
2.4.2 Presión de envejecimiento Vessel, PAV. AASHTO PP1.....	40
2.5 Ensayos reológicos .....	41
2.5.1 Viscosímetro rotacional, RV. ASTM D4402.....	41
2.5.2 Reómetro de Corte Dinámico, DSR. AASHTO TP5.....	43
2.5.3 Reómetro de Viga de Flexión, BBR. AASHTO TP1.....	47
2.5.4 Ensayo de Tensión Directa, DTT. AASHTO TP3.....	50
2.6 Ejemplo de Aplicación.....	53
2.7 Especificaciones Superpave.....	55
2.7.1 Deformación permanente ( ahuellamiento).....	57
2.7.2 Fisuración por fatiga.....	60
2.7.3 Fisuración por bajas temperaturas.....	62
2.7.4 Criterios comunes de especificación.....	63

## **CAPÍTULO III**

### **RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

3.1 Ubicación de los sectores de la investigación.....	65
3.2 Características de temperaturas en las áreas de estudio.....	65
3.3 Relación de temperaturas en áreas de estudio.....	76
3.4 Ubicación de los agregados.....	84
3.5 Ubicación de los cementos asfálticos.....	84
3.6 Ubicación de los núcleos.....	86

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO, ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

4.0 Diseño.....	87
4.1 Determinación del PG en áreas de estudio.....	87
4.2 Clasificación del PG estimado en los sectores.....	92
4.3 Influencia del PG en el costo del cemento asfáltico y mezclas por áreas diferentes de PG.....	93
4.4 Ensayos complementarios al trabajo de investigación.....	104
4.4.1 Ubicación de los agregados.....	105
4.4.2 Ubicación de los cementos asfálticos.....	110
4.4.3 Características de los cementos asfálticos evaluados.....	112
4.4.4 Determinación del contenido de ligante en mezclas asfálticas por centrifugación-ensayo de extracción.....	114
4.4.5 Ensayos de estabilidad y deformación.....	116
4.5 Análisis de resultados.....	119
4.5.1 Grado de desempeño de los ligantes asfálticos.....	119
4.5.2 Influencia del PG en el costo del cemento asfáltico y mezclas por áreas diferentes de PG.....	122
4.5.3 Relación de PG con las características de los cementos asfálticos de los tramos.....	123
4.5.4 Trabajo de laboratorio para la verificación de la estabilidad y fluidez a la mezcla asfáltica de los tramos.....	126

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones.....	131
5.2 Recomendaciones.....	133

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Composición química el asfalto.....	18
Figura 2.2 Penetración de la aguja estándar en el cemento asfáltico.....	26
Figura 2.3 Ensayos de laboratorio superpave relacionados con su comportamiento.....	37
Figura 2.4 Operación del viscosímetro rotacional.....	42
Figura 2.5 Operación del reómetro de corte dinámico.....	43
Figura 2.6 Comportamiento Visco-elástico.....	44
Figura 2.7 Comportamiento esfuerzo-deformación de material viscoelástico: $0 < \delta < 90^\circ$ .....	46
Figura 2.8 Ensamblaje del espécimen de ensayo.....	48
Figura 2.9 Ensayo de viga de flexión, BBR.....	49
Figura 2.10 Deflexión y Valor “m” del BBR.....	50
Figura 2.11 Ensayo de tensión directa, DTT.....	51
Figura 2.12 Curva esfuerzo-deformación.....	52
Figura 2.13 Ejemplo de la especificación SUPERPAVE para ligantes.....	58
Figura 2.14 Requisitos del factor de ahuellamientos de la especificación SUPERPAVE.....	58
Figura 2.15 Control de ahuellamiento en la especificación SUPERPAVE.....	59
Figura 2.16 Requisitos del factor de agrietamiento de la especificación SUPERPAVE.....	60
Figura 2.17 Control del agrietamiento por fatiga en la especificación SUPERPAVE.....	61

Figura 2.18 Requisitos de la especificación SUPERPAVE para baja Temperatura.....	62
Figura 3.1 Temperaturas máximas extremas de las regiones analizadas.....	80
Figura 3.2 Temperaturas mínimas extremas de las regiones analizadas.....	83
Figura 4.1 Grado de desempeño para los cementos asfálticos analizados.....	120
Figura 4.2 Ligante 85/100 PG 70-10.....	124
Figura 4.3 Ligante 60/70 PG 76-10.....	125
Figura 4.4 Estabilidad de la mezcla asfáltica.....	127
Figura 4.5 Fluidez de la mezcla asfáltica.....	127
Figura 4.6 Relación PG con características de la mezcla asfáltica De los tramos.....	129

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 4.1 Distribución de los grados de desempeño calculados.....	92
--	----

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1 Ensayo de película fina en horno rotatorio.....	38
Fotografía 2.2 Envases para ensayo RTFO.....	39
Fotografía 2.3 Equipo para ensayo de presión de envejecimiento Vessel.....	40
Fotografía 2.4 Viscosímetro rotacional.....	41
Fotografía 3.1 Muestras de cemento asfáltico.....	86
Fotografía 3.2 Muestras de núcleos de pavimento flexible.....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Elementos constitutivos del asfalto.....	19
Tabla 2.2 Requisitos para asfaltos modificados.....	21
Tabla 2.3 Especificaciones para cementos asfálticos clasificados por su grado de penetración.....	27
Tabla 2.4 Especificaciones para cementos asfálticos clasificados por viscosidad a 60 ° C.....	28
Tabla 2.5 Selección del ligante en función de la velocidad y nivel de tráfico. AASHTO MP2.....	34
Tabla 2.6 Grados de ligante asfáltico SUPERPAVE.....	34
Tabla 2.7 Equipos para Ensayos Superpave.....	36
Tabla 2.8 Resultados de los ensayos de laboratorio.....	53
Tabla 2.9 Especificaciones del ligante Superpave.....	55
Tabla 2.10 Especificaciones del ligante Superpave (CONTINUACION).....	56
Tabla 3.1 Temperaturas máximas extremas registradas (Estación Aeropuerto Tarija).....	67
Tabla 3.2 Temperaturas máximas extremas registradas (Estación Aeropuerto Bermejo).....	69
Tabla 3.3 Temperaturas máximas extremas registradas (Estación Cenavit).....	70
Tabla 3.4 Temperaturas máximas extremas registradas (Estación San Andrés).....	71
Tabla 3.5 Temperaturas mínimas extremas registradas (Estación Aeropuerto Tarija).....	72

Tabla 3.6 Temperaturas mínimas extremas registradas	
(Estación Aeropuerto Bermejo).....	74
Tabla 3.7 Temperaturas mínimas extremas registradas (Estación Cenavit).....	75
Tabla 3.8 Temperaturas mínimas extremas registradas (estación San Andrés).....	76
Tabla 3.9 Temperaturas máximas extremas .....	78
Tabla 3.10 Temperaturas mínimas extremas.....	81
Tabla 3.11 Ubicación de los agregados.....	84
Tabla 3.12 Ubicación de los cementos asfálticos.....	85
Tabla 4.1 Temperaturas de diseño del pavimento.....	89
Tabla 4.2 Grados PG de los sectores.....	90
Tabla 4.3 Análisis de precio unitario con ligantes PG 70-16.....	93
Tabla 4.4 Análisis de precio unitario con ligante PG 76-22.....	96
Tabla 4.5 Análisis de precio unitario con ligante PG 76-28.....	98
Tabla 4.6 Análisis de precio unitario con ligante 85/100.....	100
Tabla 4.7 Análisis de precio unitario con ligante 60/70.....	102
Tabla 4.8 Caracterización del cemento asfáltico 85/100.....	106
Tabla 4.9 Caracterización del cemento asfáltico 85/100.....	107
Tabla 4.10 Caracterización del cemento asfáltico 60/70.....	108
Tabla 4.11 Caracterización del cemento asfáltico 85/100.....	109
Tabla 4.12 Determinación del contenido de cemento asfáltico.....	110
Tabla 4.13 Determinación del contenido de cemento asfáltico.....	111
Tabla 4.14 Ensayo de estabilidad y fluencia.....	112
Tabla 4.15 Ensayo de estabilidad y fluencia.....	114

Tabla 4.16 Grado de desempeño PG para cementos asfálticos en función de las temperaturas de los sectores.....	119
Tabla 4.17 Costo por m3 de mezcla asfáltica según ligante.....	122
Tabla 4.18 Caracterización para un ligante 85/100 PG 70-10.....	123
Tabla 4.19 Caracterización para un ligante 60/70 PG 76-10.....	124
Tabla 4.20 Estabilidad y fluidez de la mezcla asfáltica.....	126
Tabla 4.21 Estabilidad-fluidez-contenido asfáltico correspondientes a los grados de desempeño determinados para los sectores analizados....	128

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1 Croquis de ubicación de los tramos

Anexo 2 Ensayos de laboratorio

Anexo 3 Visita a los sectores de la investigación

Anexo 4 Cotización de ligantes asfálticos

Anexo 5 Método de ensayo de laboratorio de la investigación

Anexo 6 Características de ligantes asfálticos utilizados en los tramos

Anexo 7 Características de la mezcla asfáltica utilizada en los tramos