

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DPTO. DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION**



**“ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD  
TERMICA DE MEZCLAS ASFALTICAS”**

**POR:**

**ERIKA TATIANA VALDEZ VACA**

Proyecto presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTONOMA**  
**“JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico  
de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**SEMESTRE II – 2019**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DPTO. DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION**

**“ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD  
TERMICA DE MEZCLAS ASFALTICAS”**

**POR:**

**ERIKA TATIANA VALDEZ VACA**

Proyecto presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTONOMA**  
**“JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico  
de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**SEMESTRE II – 2019**  
**TARIJA – BOLIVIA**

### **AGRADECIMIENTO:**

En primer lugar doy gracias a dios por el don de la vida y permitirme realizar este trabajo, a mi familia por su amor y apoyo en cada decisión, a cada docente que colaboro con su compromiso e impartir sus conocimientos en este proceso integral de formación.

### **DEDICATORIA:**

Mis padres Ronald Valdez y Eva Luz Vaca por mostrarme el camino hacia la superación que en la vida todo es posible con voluntad y esfuerzo, a mis hermanas por su apoyo incondicional en especial a mi hijo Santiago que es mi orgullo y motivación para luchar cada día.

**PENSAMIENTO:**

No importa lo lento que vayas, siempre  
y cuando no te detengas.

**Confucio.**

## INDICE

AGRADECIMIENTO.

DEDICATORIA.

PENSAMIENTO.

RESUMEN.

## CAPITULO I INTRODUCCION

	<b>Página</b>
1.1. NTRODUCCION.....	1
1.2. JUSTIFICACION .....	2
1.3. DISEÑO TEORICO.....	3
1.3.1. Situación problemática.....	3
1.3.1. Problema. ....	4
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	4
1.4.1. Objetivo general. ....	4
1.4.1. Objetivos específicos. ....	4
1.5. HIPOTESIS.....	5
1.6. DEFINICION DE VARIABLES INDEPENDIENTE Y DEPENDIENTES. ....	5
1.6.1. Independiente. ....	5
1.6.2. Dependientes. ....	6
1.7. ALCANCE DE INVESTIGACION. ....	7
1.8. Análisis estadístico.....	8

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

	<b>Página</b>
2.1. ASFALTO.....	9
2.1.1. Definición. ....	9
2.1.2. Propiedades físicas del asfalto. ....	11
2.1.2.1. Durabilidad.....	11
2.1.2.2. Adhesión y cohesión. ....	11
2.1.2.3. Susceptibilidad a la temperatura. ....	12
2.1.2.4. Endurecimiento y envejecimiento.....	12
2.1.3. Ensayo de caracterización del cemento asfáltico.....	14
2.1.3.1. Ensayos de penetración. ....	14
2.1.3.2. Ensayos de punto de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland.....	14
2.1.3.3. Ensayos de punto de ablandamiento mediante el aparato anillo y bola.....	15
2.1.3.4. Ensayos de peso específico.....	15
2.1.3.5. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol. ....	16
2.2. AGREGADO EN MEZCLAS ASFALTICA.....	16
2.2.1. Propiedades de los agregados.....	16
2.2.2. Tipos de agregados utilizados en mezclas asfálticas. ....	17
2.2.2.1. Agregado grueso. ....	17
2.2.2.2. Agregado fino.....	17
2.2.3. Ensayos de caracterización de los agregados.....	18
2.2.3.1. Granulometría. ....	18
2.2.3.2. Peso específico y absorción del agregado grueso. ....	19
2.2.3.3. Peso específico y absorción del agregado fino. ....	19
2.2.3.4. Resistencia al desgaste por abrasión. ....	19
2.2.3.5. Equivalente de arena. ....	19
2.3. MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL.....	20
2.3.1. Definición.....	20

2.3.2. Contenido de asfalto.....	20
2.3.3. Propiedades de mezclas asfálticas.....	21
2.3.4. Tipos de elaboración de mezclas asfálticas convencionales.....	22
2.3.4.1. Mezcla asfáltica en caliente.....	22
2.4. MEZCLA ASFALTICA MODIFICADAS CON POLIMEROS.....	22
2.4.1. Definición de polímero.....	22
2.4.2. Definición de asfalto modificado.....	23
2.4.3. Principales modificadores utilizados en el asfalto.....	24
2.4.4. Importancia de las mezclas modificadas con polímeros.....	24
2.4.5. Propiedades del asfalto modificado.....	24
2.5. CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	25
2.5.1. Densidad efectiva.....	25
2.5.2. Huecos en la mezcla ó vacíos de aire (Va).....	26
2.5.3. Vacíos en el agregado mineral (VAM).....	27
2.5.4. Relación betún - vacíos (%).....	27
2.6. DISEÑO DE MEZCLAS POR EL METODO MARSHALL.....	29
2.6.1. Descripción del método de Marshall.....	30
2.6.2. Procedimiento resumido del ensayo Marshall.....	30
2.7. SUSCEPTIBILIDAD TERMICA DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS.....	32
2.7.1. Definición.....	32
2.7.2. Susceptibilidad en el cemento asfáltico convencional y modificado.....	33
2.8. NORMATIVA A UTILIZAR EN EL PROYECTO DE EXPERIMENTACION.....	35



**CAPITULO III**  
**PREPARACION DE MATERIALES PARA LA INVESTIGACION**

	<b>Página</b>
3.1. Componentes.....	36
3.1.1. Unidad de estudio o muestreo.....	36
3.1.2. Población.....	36
3.1.3. Muestra.....	36
3.1.4. Muestreo.....	36
3.2. METODOS Y TECNICAS EMPLEADAS.....	37
3.3. INSTRUMENTOS PARA REALIZAR LA CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES. ....	37
3.4. INSTRUMENTOS PARA REALIZAR EL TRABAJO DE INVESTIGACION.....	39
3.5. SELECCIÓN DE MATERIAL.....	40
3.5.1. Agregados .....	40
3.5.2. Cemento asfaltico.....	41
3.6. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS ASFALTOS .....	42
3.7. CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS. ....	44
3.7.1. Granulometría de los agregados (ASTM E-40; AASHTO T27-99).....	44
3.7.2. Mezcla de agregados.....	45
3.7.3. Resultados de la caracterización de los agregados pétreos .....	47
3.8. CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL Y CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO.....	47
3.8.1. Resultados de la caracterización del cemento asfaltico convencional .....	48
3.8.2. Resultados de la caracterización del cemento asfaltico modificado con SBS 60-85 .....	49
3.9. DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO.....	50
3.10. DESARROLLO DE LAS BRIQUETAS.....	50

**CAPITULO IV**  
**ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD**  
**TERMICA DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS**

	<b>Página</b>
4.1. VISCOSIDAD (MEDICION DE LA SUSCEPTIBILIDAD TERMICA). .....	55
4.1.1. Viscosidad del cemento convencional 85-100.....	55
4.1.2. Viscosidad del cemento modificado con polímero SBS 60-85.....	56
4.1.3. Análisis de comparación de la viscosidad con asfalto convencional y asfalto modificado.....	57
4.2. ANALISIS DE RESULTADOS. ....	59
4.2.1. Diseño de la mezcla de trabajo con cemento asfaltico convencional 85-100. ....	59
4.2.1.1. Determinación del contenido óptimo. ....	59
4.2.1.2. Selección de rango de temperaturas.....	62
4.2.1.3. Elaboración de briquetas con mezcla convencional. ....	63
4.2.1.4. Estudio experimental sobre la susceptibilidad térmica de mezclas asfálticas convencionales. ....	64
4.2.1.5. Análisis de la cantidad de cemento asfaltico en la mezcla asfáltica. ....	66
4.2.1.6. Estadística. ....	67
4.2.1.6.1. Análisis estadístico de la densidad real.....	68
4.2.1.6.2. Análisis estadístico de % de vacíos en la mezcla (Vv). ....	73
4.2.1.6.3. Análisis estadístico de % de vacíos de agregado mineral (V.A.M.). ....	78
4.2.1.6.4. Análisis estadístico de relación betumen vacíos (R.B.V.). ....	83
4.2.1.6.5. Análisis estadístico de la estabilidad.....	87
4.2.1.6.6. Análisis estadístico de la fluencia. ....	92
4.2.2. Diseño de la mezcla de trabajo con cemento asfaltico modificado con SBS 60 - 85. ....	97
4.2.2.1. Determinación del contenido óptimo. ....	97
4.2.2.2. Selección de rango de temperaturas.....	100
4.2.2.3. Elaboración de briquetas con mezcla modificada.....	101
4.2.2.4. Estudio experimental sobre la susceptibilidad térmica de mezclas	

asfálticas modificada.....	102
4.2.2.5. Análisis de la cantidad de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica .....	104
4.2.2.6. Estadística. ....	105
4.2.2.6.1. Análisis estadístico de la densidad real. ....	106
4.2.2.6.2. Análisis estadístico de % de vacíos en la mezcla (Vv). ....	111
4.2.2.6.3. Análisis estadístico de % de vacíos de agregado mineral (V.A.M.). ....	116
4.2.2.6.4. Análisis estadístico de relación betumen vacíos (R.B.V.). ....	121
4.2.2.6.5. Análisis estadístico de la estabilidad.....	125
4.2.2.6.6. Análisis estadístico de la fluencia. ....	130
4.2.3. ANALISIS COMPARATIVO ENTRE EL CEMENTO ASFALTICO	
CONVENCIONAL 85-100 Y CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO	
60-85.....	135
4.2.3.1. Densidad real.....	135
4.2.3.2. % vacíos en la mezcla (Vv).....	136
4.2.3.3. % vacíos de agregado mineral (V.A.M).....	138
4.2.3.4. Relación betumen vacíos (R.B.V.).....	139
4.2.3.5. Estabilidad (Libras).....	141
4.2.3.6. Fluencia (0,01 Pulg).....	142
4.2.4. ANALISIS ESTADISTICO DE LA SUSCEPTIBILIDAD TERMICA. ....	144
4.2.4.1. CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL.....	144
4.2.4.1.1. Estadística descriptiva e inferencial. ....	145
4.2.4.2. CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO. ....	151
4.2.4.3. PRUEBA DE LA HIPOTESIS PARA LA MEDIA Vv. ....	158
4.2.5. Precios unitarios.....	160

**CAPITULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Página</b>
5.1. Conclusiones.....	162
5.2. Recomendaciones.....	164

**BIBLIOGRAFIA.**

**ANEXOS:**

ANEXO 1: Caracterización de los agregados.

ANEXO 2: Caracterización del cemento asfáltico convencional y modificado.

ANEXO 3: Método de diseño Marshall.

ANEXO 4: Susceptibilidad térmica.

ANEXO 5: Precios unitarios del cemento convencional y modificado.

## INDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla N° 1.1: Conceptualización y operacionalización de la variable independiente .....	5
Tabla N° 1.2: Conceptualización y operacionalización de la variable dependiente .....	6
Tabla N° 3.1: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico BETUNEL. ....	42
Tabla N° 3.2: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico BETUFLEX. ....	43
Tabla N° 3.3: Granulometría de la grava, gravilla y arena. ....	44
Tabla N° 3.4: Planilla de granulometría formada. ....	45
Tabla N° 3.5: Especificaciones de la granulometría proyectada. ....	45
Tabla N° 3.6: Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados.....	47
Tabla N° 3.7: Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico convencional.....	48
Tabla N° 3.8: Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico modificado. ....	49
Tabla N° 3.9: Dosificación con el cemento asfáltico.....	50
Tabla N° 4.1: Viscosidad del cemento convencional. ....	55
Tabla N° 4.2: Viscosidad del cemento modificado.....	56
Tabla N° 4.3: Tabla comparativa de viscosidad. ....	57
Tabla N° 4.4 Diseño Marshall de mezcla convencional .....	59
Tabla N° 4.5: Resumen de propiedades de diseño Marshall.....	61
Tabla N° 4.6: Dosificación para un contenido óptimo de 5,4.....	63
Tabla N° 4.7: Ensayo Marshall. ....	64
Tabla N° 4.8: Porcentaje del cemento.....	66
Tabla N° 4.9: Datos obtenidos de las propiedades mecánicas.....	67
Tabla N° 4.10: Depuración de datos de la densidad real. ....	69
Tabla N° 4.11: Densidad real promedio con datos no depurados. ....	70

Tabla N° 4.12: Resultados finales de la densidad real. ....	71
Tabla N° 4.13: Depuración de datos de % de vacíos en la mezcla (Vv). ....	74
Tabla N° 4.14: % de vacíos en la mezcla (Vv) promedio con datos no depurados. ....	75
Tabla N° 4.15: Resultados finales de % de vacíos en la mezcla (Vv). ....	76
Tabla N° 4.16: Depuración de datos de % de vacíos de agregado mineral. ....	78
Tabla N° 4.17: % de vacíos de agregado mineral promedio con datos no depurados. ....	80
Tabla N° 4.18: Resultados finales de % de vacíos de agregado mineral. ....	81
Tabla N° 4.19: Depuración de datos de relación betumen vacíos (R.B.V.). ....	83
Tabla N° 4.20: Relación betumen vacíos promedio con datos no depurados. ....	85
Tabla N° 4.21: Resultados finales de la relación betumen vacíos. ....	86
Tabla N° 4.22: Depuración de datos de la estabilidad. ....	88
Tabla N° 4.23: Estabilidad promedio con datos no depurados. ....	89
Tabla N° 4.24: Resultados finales de la estabilidad. ....	90
Tabla N° 4.25: Depuración de datos de la fluencia. ....	92
Tabla N° 4.26: Fluencia promedio con datos no depurados. ....	94
Tabla N° 4.27: Resultados finales de la fluencia. ....	95
Tabla N° 4.28: Diseño Marshall de mezcla modificada ....	97
Tabla N° 4.29: Resumen de propiedades de diseño Marshall. ....	99
Tabla N° 4.30: Dosificación para un contenido óptimo de 5,72. ....	101
Tabla N° 4.31: Ensayo Marshall. ....	102
Tabla N° 4.32: Porcentaje del cemento. ....	104
Tabla N° 4.33: Datos obtenidos de las propiedades mecánicas. ....	105
Tabla N° 4.34: Depuración de datos de la densidad real. ....	107
Tabla N° 4.35: Densidad real promedio con datos no depurados. ....	108
Tabla N° 4.36: Resultados finales de la densidad real. ....	109
Tabla N° 4.37: Depuración de datos de % de vacíos en la mezcla (Vv). ....	111
Tabla N° 4.38: % de vacíos en la mezcla (Vv) promedio con datos no depurados. ....	113
Tabla N° 4.39: Resultados finales de % de vacíos en la mezcla (Vv). ....	114

Tabla N° 4.40: Depuración de datos de % de vacíos de agregado mineral. ....	116
Tabla N° 4.41: % de vacíos de agregado mineral promedio con datos no depurados. ....	118
Tabla N° 4.42: Resultados finales de % de vacíos de agregado mineral. ....	119
Tabla N° 4.43: Depuración de datos de relación betumen vacíos (R.B.V.). ....	121
Tabla N° 4.44: Relación betumen vacíos promedio con datos no depurados. ....	122
Tabla N° 4.45: Resultados finales de la relación betumen vacíos. ....	124
Tabla N° 4.46: Depuración de datos de la estabilidad. ....	126
Tabla N° 4.47: Estabilidad promedio con datos no depurados. ....	127
Tabla N° 4.48: Resultados finales de la estabilidad. ....	128
Tabla N° 4.49: Depuración de datos de la fluencia. ....	130
Tabla N° 4.50: Fluencia promedio con datos no depurados. ....	131
Tabla N° 4.51: Resultados finales de la fluencia. ....	133
Tabla N° 4.52: Resultados de la densidad del cemento convencional y modificado. ....	135
Tabla N° 4.53: Resultados del % de vacíos en la mezcla del cemento convencional y modificado. ....	136
Tabla N° 4.54: Resultados del % de vacíos de agregado mineral del cemento convencional y modificado. ....	138
Tabla N° 4.55: Resultados de la relación betumen vacíos del cemento convencional y modificado. ....	139
Tabla N° 4.56: Resultados de la estabilidad del cemento convencional y modificado. ....	141
Tabla N° 4.57: Resultados de la fluencia del cemento convencional y modificado. ....	142
Tabla N° 4.58: Datos de T, Susc. Térmica, % Vv y % VAM. ....	145
Tabla N° 4.59: Resultados de la prueba de la normalidad. ....	145
Tabla N° 4.60: Prueba de Kolmogorov y Shapiro. ....	145
Tabla N° 4.61: Datos de la estadística descriptiva. ....	150
Tabla N° 4.52: Tabla de correlaciones. ....	150

Tabla N° 4.63: Tabla de resumen de modelo <sup>b</sup> . .....	151
Tabla N° 4.64: Datos de T, Susc. Térmica, % Vv y % VAM.....	152
Tabla N° 4.65: Resultados de la prueba de la normalidad. ....	153
Tabla N° 4.66: Prueba de Kolmogorov y Shapiro. ....	154
Tabla N° 4.67: Tabla de correlaciones.....	157
Tabla N° 4.68: Tabla de resumen de modelo <sup>b</sup> . ....	157
Tabla N° 4.69: Datos de % de vacíos de la mezcla para la prueba de la hipótesis. ....	158
Tabla N° 4.70: Tabla de la estadística para una prueba. ....	158
Tabla N° 4.71: Tabla de la prueba de una muestra. ....	159

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura N° 2.1: Diagrama de compactación. ....	28
Figura N° 2.2: Medidor de estabilidad.....	31
Figura N° 2.3: Efecto de la susceptibilidad térmica del asfalto. ....	32
Figura N° 2.4: Curva de variación de consistencia con la temperatura. ....	34
Figura N° 3.1 Mapa político de Tarija .....	40
Figura N° 3.2 Mapa político del municipio Uriondo. ....	41
Figura N° 3.3 Ubicación planta de alcaldía. ....	41
Figura N° 3.4 Mezcla de los agregados más el cemento asfáltico. ....	51
Figura N° 3.5 Muestra compactada de ambas caras. ....	52
Figura N° 3.6 Extracción de briquetas con un gato hidráulico. ....	52
Figura N° 3.7 Briquetas desmoldadas. ....	53
Figura N° 3.8 Briqueta en prensa Marshall.....	54
Figura N° 3.9 Briquetas después de pasar por la prensa Marshall.....	54
Figura N° 4.1 Mezcla convencional.....	73



## INDICE DE GRAFICAS

	<b>Página</b>
Grafica N° 3.1: Curva granulométrica formada.....	46
Grafica N° 4.1: Curva patrón viscosidad VS temperatura del cemento convencional .....	55
Grafica N° 4.2: Curva patrón viscosidad VS temperatura del cemento modificado.....	56
Grafica N° 4.3: Curva comparativa de la susceptibilidad térmica.....	57
Grafica N° 4.4: Curvas método Marshall de mezcla convencional. ....	60
Grafica N° 4.5: Porcentaje del cemento.....	66
Grafica N° 4.6: Densidad VS temperatura.....	72
Grafica N° 4.7: % de vacíos de la mezcla Vs. Temperatura. ....	77
Grafica N° 4.8: % de vacíos de agregado mineral Vs. Temperatura. ....	82
Grafica N° 4.9: E.B.V. Vs. Temperatura. ....	87
Grafica N° 4.10: Estabilidad Vs. Temperatura. ....	91
Grafica N° 4.11: Fluencia Vs. Temperatura. ....	96
Grafica N° 4.12: Curvas método Marshall de mezcla modificada.....	98
Grafica N° 4.13: Porcentaje de cemento. ....	104
Grafica N° 4.14: Densidad Vs. Temperatura. ....	110
Grafica N° 4.15: % de vacíos de la mezcla Vs. Temperatura. ....	115
Grafica N° 4.16: % de vacíos de agregado mineral Vs. Temperatura. ....	120
Grafica N° 4.17: R.B.V. Vs. Temperatura. ....	125
Grafica N° 4.18: Estabilidad Vs. Temperatura. ....	129
Grafica N° 4.19: Fluencia Vs. Temperatura. ....	134
Grafica N° 4.20: Grafica comparativa de la densidad. ....	135
Grafica N° 4.21: Grafica comparativa del % de vacíos en la mezcla. ....	137
Grafica N° 4.22: Grafica comparativa del % de vacíos del agregado mineral. ....	138
Grafica N° 4.23: Grafica comparativa de la relación betumen vacíos.....	140
Grafica N° 4.24: Grafica comparativa de la estabilidad. ....	141
Grafica N° 4.25: Grafica comparativa de la fluencia.....	143

Grafica N° 4.26: Curva de susceptibilidad térmica VS temperatura. ....	144
Grafica N° 4.27: Vv VS temperatura. ....	144
Grafica N° 4.28: (VAM) VS temperatura. ....	144
Grafica N° 4.29: Grafico Q-Q normal de (T°C). ....	148
Grafica N° 4.30: Grafico Q-Q normal de Susc. térmica. ....	148
Grafica N° 4.31: Grafico Q-Q normal de % de Vv. ....	149
Grafica N° 4.32: Grafico Q-Q normal de % de VAM. ....	149
Grafica N° 4.33: Curva de Suscep. térmica VS temperatura. ....	152
Grafica N° 4.34: % Vv. VS temperatura. ....	152
Grafica N° 4.35: % VAM VS temperatura. ....	152
Grafica N° 4.36: Grafico Q-Q normal de (T°C). ....	155
Grafica N° 4.37: Grafico Q-Q normal de Susc. térmica. ....	155
Grafica N° 4.38: Grafico Q-Q normal de % de Vv. ....	156
Grafica N° 4.39: Grafico Q-Q normal de % de VAM. ....	156