

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



**“ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN
CUANTITATIVA DEL CONTENIDO DE BETUMEN EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE”**

Por:

CLAUDIA LORENA CHOQUE CONDORI

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 LOS MÉTODOS DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN
CUANTITATIVA DEL CONTENIDO DE BETUMEN EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE”**

Por:

CLAUDIA LORENA CHOQUE CONDORI

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

ADVERTENCIA

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:

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios, que fue el que me permitió culminar con éxito esta hermosa etapa de mi vida, etapa en la cual pude entender y valorar cada una de las bendiciones con las cuales él me rodea.

A mi hijo Esteban, que más que el motor de mi vida fue parte muy importante de lo que hoy puedo presentar como tesis, a el dedico todas las bendiciones que de parte de Dios vendrán a nuestras vidas como recompensa de tanta dedicación, tanto esfuerzo y fe en la causa misma, gracias por ser la motivación para cada día llegar más lejos sólo por ti hijo amado.

A mis padres; Wilfredo Choque Martínez y Nelly Condori Humerez por el apoyo incondicional, por inculcarme el espíritu de lucha para alcanzar mis metas propuestas.

A mis hermanos; Paola. Diego y Ronald y amigas porque siempre he contado con ellos para todo y creyeron en mí.

AGRADECIMIENTO:

A DIOS por darme fuerzas, perseverancia para seguir adelante a pesar de todas las adversidades. Gracias DIOS...

A MI FAMILIA quienes han estado siempre a mi lado, por su paciencia, comprensión, sacrificio, compañía y sobre todo apoyo incondicional en todo momento.

A LOS DOCENTES que me transmitieron grandes conocimientos durante mi preparación profesional.

PENSAMIENTO

“Aprendí que el coraje no era la ausencia de miedo, sino el triunfo sobre él.

El valiente no es el que no siente miedo, sino el que vence ese temor”.

Nelson Mandela

ÍNDICE

Advertencia
Dedicatoria
Agradecimiento
Pensamiento
Resumen

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	ANTECEDENTE.....	2
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4	DISEÑO TEÓRICO.....	3
1.4.1	Planteamiento del problema.....	3
1.4.2	Objetivos de investigación.....	4
1.4.3	Hipótesis.....	5
1.4.4	Definición de variables independientes y dependientes.....	5
1.5	DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.5.1	Componentes.....	7
1.5.2	Métodos y técnicas empleadas.....	7
1.5.3	Selección de las técnicas de muestreo para la obtención de % óptimo.....	9
1.5.4	Justificación de factibilidad recursos insumos y medios utilizados.....	9
1.5.5	Procedimiento de aplicación.....	12

1.5.6	Procedimiento de aplicación para el tramo elegido.....	19
1.5.7	Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.....	20
1.6	ALCANCE DE INVESTIGACIÓN.....	20

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1	INTRODUCCIÓN.....	23
2.2	ASPECTOS GENERALES SOBRE PAVIMENTOS.....	23
2.3	PAVIMENTO FLEXIBLE.....	24
2.3.1	Capaz de un pavimento flexible.....	25
2.3.2	Duración de un pavimento flexible.....	26
2.3.3	Características de un pavimento flexible.....	26
2.4	DEFINICIÓN DE ASFALTO.....	27
2.4.1	Tipos de Asfalto.....	27
2.4.2	Materiales bituminosos.....	30
2.5	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	33
2.5.1	Características y comportamiento de la mezcla.....	34
2.5.2	Propiedades consideradas en el diseño.....	36
2.5.3	Criterios de diseño normalizados.....	38
2.5.4	Requisitos del agregado pétreo.....	41
2.6	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL BETUMEN.....	42
2.6.1	Método de ensayo de penetración (ASTM D5 AASHTO T49-97).....	42
2.6.2	Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79.96).....	47
2.6.3	Método Para Determinar La Ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00).....	53

2.6.4	Método para determinar la densidad (ASTM D71-94 AASHTO T 229-97)...	57
2.7	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS.....	60
2.7.1	Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 AASHTO T88).....	60
2.7.2	Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM E 127 AASHTO T85-91).....	67
2.7.3	Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM E 128 AASHTO T84-00).....	76
2.7.4	Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D2419).....	81
2.7.5	Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (AASHTO T96-99).....	86
2.8	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE BETUMEN.....	90
2.8.1	Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall.....	90
2.9	ENSAYOS EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE BETUMEN.....	95
2.9.1	Extractor centrífugo (Método A).....	95
2.9.2	Extractor de vacío (Método E).....	98
2.9.3	Extractor de reflujo (Método B).....	101
2.9.4	Reactivos para los métodos de extracción.....	104
2.9.5	Precauciones para la determinación del uso de los tres métodos.....	105
2.9.6	Precisión y sesgo para los métodos de extracción.....	106
2.9.7	Método de extracción de testigos en pavimentos terminados (I.N.V. E 7-58 - 07).....	107

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

3.1 INTRODUCCIÓN.....	111
3.2 SELECCIÓN DE MATERIALES.....	111
3.3 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL BETUMEN.....	112
3.3.1 Ensayo de penetración (ASTM D5 AASHTO T49-97).....	112
3.3.2 Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79.96).....	115
3.3.3 Ductilidad de materiales bituminosos (AASHTO: T 51-93).....	116
3.3.4 Método para determinar la densidad (ASTM D71-94 AASHTO T 229)....	117
3.3.5 Método para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo bola (ASTM D 36 AASHTO T53-96).....	118
3.4 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO PÉTREO.....	119
3.4.1 Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 AASHTO T88).....	120
3.4.2 Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM E 127 AASHTO T85-91).....	124
3.4.3 Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM E 128 AASHTO T84-00).....	126
3.4.4 Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D2419).....	128
3.4.5 Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (AASHTO T96-99).....	129
3.5 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE BETUMEN.....	132
3.5.1 Metodología.....	132
3.5.2 Curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica para el diseño Marshall.....	132

3.5.3	Determinación de la cantidad de la densidad, estabilidad y fluencia Marshall.....	140
3.5.4	Determinación del porcentaje óptimo de betumen.....	148

CAPÍTULO IV

APLICACIÓN PRACTICA

4.1	ENSAYOS EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE BETUMEN.....	150
4.1.1	Extractor centrífugo (Método A).....	150
4.1.2	Extractor de reflujo (Método B).....	159
4.1.3	Extractor de Vacío (Método E).....	168
4.1.4	Método de extracción de testigos en pavimentos terminados (I.N.V. E -758-07).....	176

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	185
5.2	RECOMENDACIÓN.....	188
	BIBLIOGRAFIA	189

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 Conceptualización y operación de variables.....	6
TABLA 1.2 Cantidad de ensayos.....	8
TABLA 1.3 Actividades a Realizar.....	10
TABLA 1.4 Márgenes aceptables de granulometría del material pétreo.....	16
TABLA 2.1 Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.....	37
TABLA 2.2 Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento.....	38
TABLA 2.3 Ensayos de laboratorio normalizados para agregados.....	39
TABLA 2.4 Ensayos de laboratorio normalizados para asfaltos.....	40
TABLA 2.5 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.....	41
TABLA 2.7 Condiciones para ensayos especiales.....	44
TABLA 2.8 Criterios de precisión.....	46
TABLA 2.9 Máxima entre mediciones.....	47
TABLA 2.10 Valores de corrección del punto de inflamación y de combustión.....	50
TABLA 2.11 Serie de tamices.....	60
TABLA 2.12 Cantidad mínima de muestra para granulometría según tamaño máx. absoluto del suelo.....	62
TABLA 2.13 Grados de ensayo (definidos por sus rangos de tamaño, en mm).....	89
TABLA 2.15 Criterios de diseño de mezclas Marshall.....	93
TABLA 2.16 Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA).....	94
TABLA 2.17 Desviación estándar y rango aceptable para una absorción menor a 1.25%.....	106
TABLA 2.18 Desviación estándar y rango aceptable para una absorción mayor a 2.5%.....	106

TABLA 3.1	Resultados de ensayo de penetración.....	114
TABLA 3.2	Resultados de punto de inflamación, vaso abierto de Cleveland.....	115
TABLA 3.3	Resultados ensayo de ductilidad.....	116
TABLA 3.4	Resultados de gravedad específica.....	117
TABLA 3.5	Resultados punto de ablandamiento.....	118
TABLA 3.6	Resultado de granulometría del agregado grueso.....	121
TABLA 3.7	Resultado de granulometría de la gravilla.....	122
TABLA 3.8	Resultado de granulometría de agregado fino.....	123
TABLA 3.9	Resultados densidad real del agregado grueso.....	125
TABLA 3.10	Resultados densidad real del agregado grueso (gravilla).....	125
TABLA 3.11	Resultados peso específico del agregado grueso (gravilla).....	127
TABLA 3.12	Resultados equivalente de arena (%).....	128
TABLA 3.13	Según el tamaño de material que se tenía.....	130
TABLA 3.14	Resultados obtenidos a través del método para determinación del desgaste.....	131
TABLA 3.15	Selección de curva granulométrica el diseño de mezclas asfálticas densas	133
TABLA 3.16	Márgenes aceptables de granulometría del material pétreo.....	135
TABLA 3.17	Datos para dosificación de testigos a 4.5% de betumen.....	135
TABLA 3.18	Datos para Dosificación de testigos a 5% de betumen.....	136
TABLA 3.19	Datos para la dosificación de testigos a 5.5.% betumen.....	136
TABLA 3.20	Datos para la dosificación de testigos a 6% de betumen.....	137
TABLA 3.21	Datos para la dosificación de testigos a 6.5 % de betumen.....	137
TABLA 3.22	Datos para la dosificación de testigos a 7% de betumen.....	138

TABLA 3.23 Cantidad de cemento asfáltico y agregado pétreo para obtener el porcentaje de cemento asfáltico óptimo.....	138
TABLA 3.24 Peso específico de los agregados.....	144
TABLA 3.25 Peso específico del ligante asfáltico.....	144
TABLA 3.26 Peso específico total.....	144
TABLA 3.27 Tabla de resultados obtenidos de la práctica, método Marshall.....	145
TABLA 3.28 Datos obtenidos.....	146
TABLA 3.29 Tabla de resultado del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.....	148
TABLA 4.1 Datos para 4.5 % de betumen.....	151
TABLA 4.2 Análisis de referencia 4.5 % de betumen.....	151
TABLA 4.3 Datos para 5 % de betumen.....	152
TABLA 4.4 Análisis de referencia 5 % de betumen.....	152
TABLA 4.5 Datos para 5.5 % de betumen.....	153
TABLA 4.6 Análisis de referencia 5.5 % de betumen.....	153
TABLA 4.7 Datos para 6 % de betumen.....	154
TABLA 4.8 Análisis de referencia 6 % de betumen.....	154
TABLA 4.9 Datos para 6.5 % de betumen.....	155
TABLA 4.10 Análisis de referencia 6.5 % de betumen.....	155
TABLA 4.11 Datos para 7 % de Betumen.....	156
TABLA 4.12 Análisis de referencia 7 % de betumen.....	156
TABLA 4.13 Curva de calibración.....	157
TABLA 4.14 Datos para 4.5 % de betumen.....	160
TABLA 4.15 Análisis de referencia 4.5 % de betumen.....	160
TABLA 4.16 Datos para 5 % de betumen.....	161

TABLA 4.17 Análisis de referencia 5 % de betumen.....	161
TABLA 4.18 Datos para 5.5 % de betumen.....	162
TABLA 4.19 Análisis de referencia 5.5 % de betumen.....	162
TABLA 4.20 Datos para 6 % de betumen.....	163
TABLA 4.21 Análisis de referencia 6 % de betumen.....	163
TABLA 4.22 Datos para 6.5 % de betumen.....	164
TABLA 4.23 Análisis de referencia 6.5 % de betumen.....	164
TABLA 4.24 Datos para 7 % de betumen.....	165
TABLA 4.25 Análisis de referencia 7 % de betumen.....	165
TABLA 4.26 Curva de calibración.....	166
TABLA 4.27 Datos para 4.5 % de betumen.....	168
TABLA 4.28 Análisis de referencia 4.5 % de betumen.....	169
TABLA 4.29 Datos para 5 % de betumen.....	169
TABLA 4.30 Análisis de referencia 5 % de betumen.....	170
TABLA 4.31 Datos para 5.5 % de betumen.....	170
TABLA 4.32 Análisis referencial 5.5 % de betumen.....	171
TABLA 4.33 Datos para 6 % de betumen.....	171
TABLA 4.34 Análisis referencial 6 % de betumen.....	172
TABLA 4.35 Datos para 6.5 % de betumen.....	172
TABLA 4.36 Análisis referencial 6.5 % de betumen.....	173
TABLA 4.37 Datos para 7 % de betumen.....	173
TABLA 4.38 Análisis referencial 7 % de betumen.....	174
TABLA 4.39 Curva de calibración.....	174

TABLA 4.40	Dosificación del diseño Marshall Santa Ana – Yesera.....	177
TABLA 4.41	Datos para 5.30 % de Betumen.....	177
TABLA 4.42	Resultados de betumen post extraer con el centrífugo.....	178
TABLA 4.43	Datos para verificar la correlación de la curva de calibración del extractor centrífugo.....	178
TABLA 4.44	Resultados de la ecuación de la curva de calibración.....	179
TABLA 4.45	Datos para 5.30 % de betumen.....	180
TABLA 4.46	Resultados de betumen post extraer con el reflujó.....	180
TABLA 4.47	Datos para verificar la correlación de la curva de calibración del extractor de reflujó.....	181
TABLA 4.48	Resultados de la ecuación de la curva de calibración.....	182
TABLA 4.49	Datos para 5.30 % de betumen.....	183
TABLA 4.50	Resultados de betumen post extraer de vacíos.....	183
TABLA 4.51	Datos para verificar la correlación de la curva de calibración del extractor de vacíos.....	183
TABLA 4.52	Resultados de la ecuación de la curva de calibración.....	184

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA 1.1 Horno a gas.....	12
FIGURA 1.2 Balanza eléctrica.....	12
FIGURA 1.3 Juego de tamices.....	13
FIGURA 1.4 Penetrómetro.....	13
FIGURA 1.5 Cleveland de copa abierta.....	14
FIGURA 1.6 Ductilómetro.....	14
FIGURA 1.7 Picnómetro.....	15
FIGURA 1.8 Marshall.....	17
FIGURA 1.9 Extractor centrifugo.....	17
FIGURA 1.10 Extractor de reflujo.....	18
FIGURA 1.11 Extractor de vacío.....	18
FIGURA 2.1 Pavimento flexible.....	25
FIGURA 2.2 Sección transversal.....	26
FIGURA 2.3 Aguja para ensayo de penetración.....	43
FIGURA 2.4 Copa abierta de Cleveland.....	51
FIGURA 2.5 Copa abierta de Cleveland.....	51
FIGURA 2.6 Placa de calentamiento, Fig. 2 Copa abierta de Cleveland.....	52
FIGURA 2.7 Molde para ductilidad de muestra de ensayo.....	56
FIGURA 2.8 Formulario tipo, análisis granulométrico.....	66
FIGURA 2.9 fig. 1 Probeta graduada, fig. 2 Sifón.....	85
FIGURA 2.10 Máquina de los ángeles.....	89
FIGURA 2.11 Taza de la unidad de extracción.....	97
FIGURA 2.12 Extractor de vacío.....	100

FIGURA 2.13 Extractor reflujo.....	102
FIGURA 2.14 Extractor de núcleo.....	110
FIGURA 3.1 Chancadora para la provisión de material.....	112
FIGURA 3.2 Muestras de asfalto sometidas a una temperatura de 25°C.....	113
FIGURA 3.3 Ensayo de penetración.....	113
FIGURA 3.4 Ensayo punto de inflamación por el vaso abierto de Cleveland.....	115
FIGURA 3.5 Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos.....	116
FIGURA 3.6 Ensayo de gravedad específica con el uso de picnómetro.....	117
FIGURA 3.7 Ensayo punto de ablandamiento.....	118
FIGURA 3.8 Obtención del material pétreo nuevo.....	119
FIGURA 3.9 Juego de tamices.....	120
FIGURA 3.10 Tamizado de los agregados.....	120
FIGURA 3.11 Material sumergido en agua en un periodo de 24 horas.....	124
FIGURA 3.12 Pesaje del material retenido en el tamiz N°4.....	124
FIGURA 3.13 Muestra saturada con superficie seca.....	124
FIGURA 3.14 Muestra saturada dentro del agua y uso del cesto.....	124
FIGURA 3.15 Secado superficial con secadora.....	126
FIGURA 3.16 Muestra sumergida en agua 24 horas.....	126
FIGURA 3.17 Verificación de la condición de la muestra saturada con superficie seca	126
FIGURA 3.18 Matraz + agua + muestra.....	126
FIGURA 3.19 Obtención del peso de la muestra seca.....	127
FIGURA 3.20 Contenido del matraz que será secada en el horno.....	127
FIGURA 3.21 Determinación del equivalente de arena.....	128

FIGURA 3.22 Máquina de los ángeles.....	129
FIGURA 3.23 Material que se obtuvo después de la máquina de los ángeles que será tamizada en el tamiz N° 12.....	129
FIGURA 3.24 Mezclado constante hasta alcanzar la temperatura deseada.....	139
FIGURA 3.25 Mezclado constante hasta alcanzar la temperatura deseada.....	139
FIGURA 3.26 Compactación con martillo con 75 golpes por cara.....	139
FIGURA 3.27 Elaboración de briquetas por el método Marshall.....	139
FIGURA 3.28 Testigos elaborados a distintos porcentajes de betumen.....	140
FIGURA 3.29 Pesaje de cada briqueta en su estado seco al aire libre.....	140
FIGURA 3.30 Briquetas en baño maría a 25°C por un mínimo de 10 min.....	141
FIGURA 3.31 Pesaje de briquetas saturadas con superficie.....	141
FIGURA 3.32 Determinación del peso sumergido en el agua.....	142
FIGURA 3.33 Briquetas en baño maría a 60°C por 35 minutos.....	142
FIGURA 3.34 Colocado de briquetas en aparato Marshall.....	143
FIGURA 3.35 Lectura del dial de estabilidad (dentro del anillo de Marshall) y de deformación para el flujo.....	143
FIGURA 4.1 Máquina extractor centrífugo.....	150
FIGURA 4.2 Máquina extractor de reflujo.....	159
FIGURA 4.3 Máquina extractor de vacíos.....	168
FIGURA 4.4 Extractor de núcleos.....	176

ÍNDICE DE GRÁFICA

GRÁFICA 3.1 Curva granulométrica agregado grueso.....	121
GRÁFICA 3.2 Curva granulométrica agregado grueso (gravilla).....	122
GRÁFICA 3.3 Curva granulométrica agregado fino.....	123
GRÁFICA 3.4 Curva granulométrica en función al tamaño nominal y las líneas de control.....	134
GRÁFICA 3.5 Graficas generadas para verificación y obtención del contenido de cemento asfáltico optimo.....	147
GRÁFICA 4.1 Curva de calibración extractor centrifugo.....	157
GRÁFICA 4.2 Curva de calibración extractor de reflujo.....	166
GRÁFICA 4.3 Curva de calibración extractor de vacíos.....	175

ANEXO I

CARACTERIZACIÓN DEL BETUMEN

ANEXO II

CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS DE LOS MATERIALES PÉTREOS

ANEXO III

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE BETUMEN

ANEXOS IV

ENSAYOS DE EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL BETUMEN