

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO

DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“EVALUACIÓN DEL APOORTE ESTRUCTURAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
POROSAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES”**

Por:

MANUEL ALEJANDRO BARRIOS QUIROGA

SEMESTRE I - 2019

TARIJA – BOLIVIA

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

**“EVALUACIÓN DEL APORTE ESTRUCTURAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
POROSAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES”**

Por:

MANUEL ALEJANDRO BARRIOS QUIROGA

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 - 2019

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

.....
M. Sc. Ing. Ernesto Roberto Álvarez Gozalvez

DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

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

VICEDECANA
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

TRIBUNAL

.....
Ing. Laura Karina Soto Salgado

.....
Ing. Trinidad Cinthia Baldiviezo Montalvo

.....
Ing. Weimar Adolfo Mejía Mogrovejo

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 se lo dedico a mis padres Nelsy Quiroga y Freddy Barrios, aunque ya no se encuentren aquí siempre fueron mi motor principal para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y permitir que llegue a cumplir este anhelado objetivo.

A mis tíos Never Quiroga, Dionisio Quiroga y Gladys Quiroga que fueron como mis segundos padres siempre apoyándome en todo momento.

A toda mi familia en especial a mi abuelita y primas porque siempre conté con ellos y creyeron en mí.

A todos mis docentes que cariñosamente y desinteresadamente me impartieron todos sus conocimientos.

A la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho por acogerme en todo este tiempo de formación académica.

PENSAMIENTO

La preparación es clave, la mayoría de las cosas que nos pasan en la vida no controlamos, pero entre más fuertes tengamos los cimientos, se podrá confrontar los obstáculos de la vida. La preparación es el arma que cualquiera puede tener.

(Anónimo).

Dedicatoria
Agradecimientos
Pensamiento
Resumen

ÍNDICE GENERAL
CAPÍTULO I
DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

	Pág.
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3.1 Situación Problemática	3
1.3.2 Problema	4
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 HIPÓTESIS	5
1.6 PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN	5
1.7 ALCANCE DEL TRABAJO.....	6

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

	Pág.
2.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS	8
2.1.1 Estructura de los pavimentos	8

2.1.2	Características de un pavimento	9
2.2	TIPOS DE PAVIMENTOS	9
2.2.1	Pavimentos rígidos.....	10
2.2.2	Pavimentos flexibles.....	11
2.2.3	Diferencias entre pavimentos de hormigón y asfalto	12
2.3	CEMENTO ASFÁLTICO	13
2.3.1	Características del cemento asfáltico.....	14
2.3.2	Aplicación y transporte.....	14
2.3.3	Obtención.....	15
2.4	DEFINICIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	16
2.5	TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	16
2.6	MEZCLA ASFÁLTICA POROSA	18
2.6.1	Ventajas de las mezclas porosas	19
2.6.2	Desventajas de las mezclas porosas.....	20
2.6.3	Métodos empleados en el diseño de mezclas asfálticas porosas	20
2.6.4	Metodología para la caracterización de asfaltos mediante el empleo del ensayo cántabro.	22
2.6.5	Especificaciones de la metodología.....	25
2.6.6	Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño	26
2.6.7	Procedimiento de diseño de la fórmula de trabajo de la mezcla porosa	27
2.7	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS	29
2.7.1	Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422; AASHTO T88)	29
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).....	34

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).....	38
2.7.4	Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D2419)	42
2.7.5	Método de prueba estándar para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en agregado grueso (ASTM D 5821-13).....	47
2.7.6	Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E 131; AASHTO T96-99)	51
2.8	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL BETUMEN.....	55
2.8.1	Método de ensayo de penetración (ASTM D5; AASHTO T49-97).....	55
2.8.2	Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de cleveland (ASTM D1310-01; AASHTO T79.96)	60
2.8.3	Método para determinar la ductilidad (ASTM D 113; AASHTO T51-00)	65
2.8.4	Método para determinar la densidad (ASTM D71-94; AASHTO T 229-97)	68
2.9	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL	70
2.9.1	Metodología.....	70
2.9.2	Procedimiento e instrumentos para la realización del diseño Marshall.....	71
2.9.3	Especificaciones de la metodología.....	72
2.9.4	Criterios de diseño normalizados.....	73
2.9.5	Requisitos del agregado pétreo.....	76

CAPÍTULO III

ANÁLISIS EMPÍRICO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Pág.	
3.1	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	77
3.1.1	Materiales pétreos.....	77
3.1.2	Cemento asfáltico	77

3.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	78
3.2.1	Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422; AASHTO T88)	78
3.2.2	Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM E 127; AASHTO T85-91).....	82
3.2.3	Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM E 128 AASHTO T84-00).....	83
3.2.4	Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D2419)	85
3.2.5	Método de prueba estándar para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en agregado grueso (ASTM D 5821-13).....	86
3.2.6	Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E 131; AASHTO T96-99)	87
3.2.7	Tabla resumen de la caracterización de los agregados a utilizarse.....	89
3.3	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO	90
3.3.1	Ensayo de penetración (ASTM D5; AASHTO T49-97)	90
3.3.2	Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01; AASHTO T79.96)	91
3.3.3	Ductilidad de materiales bituminosos (AASHTO T 51-93; ASTM: D 113-79)..	92
3.3.4	Método para determinar la densidad (ASTM D71-94; AASHTO T 229-97)	93
3.3.5	Método para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D 36; AASHTO T53-96).....	94
3.3.6	Tabla resumen de la caracterización de asfalto a utilizarse	95
3.4	DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	95
3.4.1	Metodología.....	95
3.4.2	Curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica para el diseño Marshall	96
3.4.3	Procedimiento de ensayo realizado en laboratorio	101

3.4.4	Determinación de la cantidad de la densidad, estabilidad y fluencia Marshall .	103
3.4.5	Determinación del porcentaje óptimo de betumen	113
3.4.6	Elaboración de briquetas de pavimento flexible.....	115
3.5	DISEÑO DE LA MEZCLA POROSA.....	117
3.5.1	Introducción	117
3.5.2	Dosificación de los agregados	117
3.5.3	Diseño de la mezcla asfáltica porosa	122

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO

	Pág.	
4.1	ADICIÓN DE LA CAPA POROSA AL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	138
4.1.1	Porcentajes de agregados y porcentaje de cemento asfáltico a utilizar	138
4.1.2	Procedimiento de la adición de mezcla porosa.....	139
4.1.3	Determinación del contenido de vacíos y permeabilidad	141
4.1.4	Ensayo de compresión inconfiada de las mezclas con adición de mezcla porosa.....	145
4.1.1	Ensayo de estabilidad Marshall para las briquetas combinadas	150
4.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	156
4.3	EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS	157

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Pág.	
5.1	CONCLUSIONES	158
5.2	RECOMENDACIONES.....	161

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

ANEXO II CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

ANEXO II DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE BETUMEN

ANEXO IV ENSAYOS DE CÁNTABRO

ANEXO VI ENSAYOS DE ESTABILIDAD

ANEXO VII ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Tipos de pavimento	10
Figura 2.2 Estructura de un pavimento rígido	10
Figura 2.3 Estructura de un pavimento flexible	11
Figura 2.4 Distribución de esfuerzos en un pavimento	13
Figura 2.5 Comportamiento visco elástico del cemento asfáltico	14
Figura 2.6 Obtención del cemento asfáltico	16
Figura 2.7 Probeta graduada, Sifón	46
Figura 2.8 Partículas fracturadas (orillas angulosas y superficie rugosa)	50
Figura 2.9 Partícula fracturada (orillas angulosas, superficie lisa).....	50
Figura 2.10 Partícula fracturada (orillas redondeadas, superficie rugosa)	50
Figura 2.11 Partícula fracturada (centro) acompañada por dos partículas no fracturadas.....	51
Figura 2.12 Máquina de los Ángeles	54
Figura 2.13 Aguja para ensayo de penetración.....	56
Figura 2.14 Copa abierta de Cleveland	63
Figura 2.15 Placa de calentamiento, Copa abierta de Cleveland.....	64
Figura 2.16 Molde para ductilidad de muestra de ensayo	68
Figura 2.17 Picnómetros.....	70
Figura 3.1 Chancadora para la provisión de material.....	77
Figura 3.2 Juego de tamices	78
Figura 3.3 Pesaje del material retenido en el tamiz N° 4.....	82
Figura 3.4 Muestra saturada dentro del agua y uso del cesto	82
Figura 3.5 Secado superficial con secadora.....	84

Figura 3.6 Muestra sumergida en agua 24 horas	84
Figura 3.7 matraz + agua + muestra	84
Figura 3.8 Verificación de la condición de la muestra saturada con superficie seca	84
Figura 3.9 Obtención del peso de la muestra seca.....	84
Figura 3.10 Contenido del matraz que será secada en el horno	84
Figura 3.11 Determinación del equivalente de arena	85
Figura 3.12 Máquina de los ángeles	87
Figura 3.13 Material que se obtuvo después del uso de la máquina de los ángeles	88
Figura 3.14 Muestras de asfalto sometidas a una temperatura de 25 °C	90
Figura 3.15 Ensayo de penetración.....	90
Figura 3.16 Ensayo punto de inflamación por el vaso abierto de Cleveland	91
Figura 3.17 Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos	92
Figura 3.18 Ensayo de gravedad específica con el uso de picnómetro	93
Figura 3.19 Ensayo punto de ablandamiento.....	94
Figura 3.20 Proceso de elaboración de briquetas	102
Figura 3.21 Briquetas finalizadas	102
Figura 3.22 Ensayos para determinar la densidad de la mezcla	103
Figura 3.23 Ensayo de Marshall	105
Figura 3.24 Material dosificado	121
Figura 3.25 Briquetas tipo Marshall de mezcla porosa	123
Figura 3.26 Proceso de mezclado	124
Figura 3.27 Proceso de compactación con el martillo Marshall	125
Figura 3.28 Ensayo de permeabilidad	129
Figura 3.29 Máquina de desgaste de Los Ángeles para el método cántabro.....	132

Figura 4.1 Riego de liga	140
Figura 4.2 Adición de la mezcla porosa	140
Figura 4.3 Briquetas con mezcla porosa.....	141
Figura 4.4 Ensayo de compresión inconfiada de las briquetas.....	145
Figura 4.5 Ensayo de estabilidad Marshall de las briquetas combinadas.....	152

ÍNDICE DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 3.1 Curva granulométrica agregado grueso	79
Gráfica 3.2 Curva granulométrica agregado grueso (gravilla)	80
Gráfica 3.3 Curva granulométrica agregado fino	81
Gráfica 3.4 Curva granulométrica pavimento flexible	98
Gráfica 3.5 Graficas generadas para verificación y obtención del contenido de cemento asfáltico óptimo	110
Gráfica 3.6 Granulometría mezcla porosa	120
Gráfica 3.7 Desgaste cántabro seco	134
Gráfica 3.8 Desgaste cántabro húmedo	136
Gráfica 4.1 Graficas de resultados	144
Gráfica 4.2 Histograma de valores de resistencia	148
Gráfica 4.3 Histograma de perdidas	149
Gráfica 4.4 Histograma de porcentaje de resistencia	150
Gráfica 4.5 Histograma de valores de estabilidad	154
Gráfica 4.6 Histograma de porcentaje de estabilidad	155
Gráfica 4.7 Histograma de porcentaje de pérdidas	155

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Clasificación de las mezclas asfálticas	18
Tabla 2.2 Requisitos del agregado grueso	27
Tabla 2.3 Franja granulométrica para la mezcla porosa	28
Tabla 2.4 Serie de tamices	30
Tabla 2.5 Cantidad mínima de muestra para granulometría según tamaño máximo absoluto del suelo	31
Tabla 2.6 Masa mínima de la muestra de prueba	48
Tabla 2.7 Grados de ensayo (definidos por sus rangos de tamaño, en mm)	54
Tabla 2.8 Condiciones para ensayos especiales	57
Tabla 2.9 Criterios de precisión	59
Tabla 2.10 Máxima entre mediciones	60
Tabla 2.11 Valores de corrección del punto de inflamación y de combustión	62
Tabla 2.12 Criterios de diseño de mezclas Marshall	73
Tabla 2.13 Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)	73
Tabla 2.14 Ensayos de laboratorio normalizados para agregados	74
Tabla 2.15 Ensayos de laboratorio normalizados para asfaltos	75
Tabla 2.16 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa	76
Tabla 3.1 Resultado de granulometría del agregado grueso	79
Tabla 3.2 Resultado de granulometría de la gravilla	80
Tabla 3.3 Resultado de granulometría de agregado fino	81
Tabla 3.4 Resultados densidad real del agregado grueso	83
Tabla 3.5 Resultados densidad real del agregado grueso (gravilla)	83

Tabla 3.6 Resultados peso específico del agregado fino (arena).....	85
Tabla 3.7 Resultados equivalente de arena (%).....	86
Tabla 3.8 Caras fracturadas $\frac{3}{4}$ " – $\frac{1}{2}$ "	86
Tabla 3.9 Caras fracturadas $\frac{1}{2}$ " – 3-8"	87
Tabla 3.10 Según el tamaño de material que se tenía.....	88
Tabla 3.11 Resultados obtenidos a través del método para determinación del desgaste	89
Tabla 3.12 Resultados de ensayo de penetración	91
Tabla 3.13 Resultados de punto de inflamación por el vaso abierto de Cleveland	92
Tabla 3.14 Resultados ensayo de ductilidad.....	93
Tabla 3.15 Resultados de gravedad específica	94
Tabla 3.16 Resultados punto de ablandamiento	95
Tabla 3.17 Selección de curva granulométrica para el diseño de mezclas asfálticas densas.....	97
Tabla 3.18 Márgenes aceptables de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa	99
Tabla 3.19 Datos para dosificación de testigos a 4.5 % de betumen.....	99
Tabla 3.20 Datos para dosificación de testigos a 5 % de betumen.....	100
Tabla 3.21 Datos para la dosificación de testigos a 5.5 % betumen.....	100
Tabla 3.22 Datos para la dosificación de testigos a 6% de betumen.....	100
Tabla 3.23 Datos para la dosificación de testigos a 6.5 % de betumen.....	100
Tabla 3.24 Datos para la dosificación de testigos a 7 % de betumen.....	101
Tabla 3.25 Cantidad de cemento asfáltico y agregado pétreo utilizado para obtener el porcentaje de cemento asfáltico optimo	101
Tabla 3.26 Peso específico de los agregados.....	106
Tabla 3.27 Peso específico del ligante asfáltico	107

Tabla 3.28	Peso específico total	107
Tabla 3.29	Tabla de resultados obtenidos de la práctica por el método Marshall.....	108
Tabla 3.30	Datos obtenidos	109
Tabla 3.31	Tabla de resultado del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.....	115
Tabla 3.32	Dosificación mezcla flexible con porcentaje óptimo de C.A.	115
Tabla 3.33	Valores de estabilidad y fluencia para las briquetas con contenido óptimo de pavimento flexible	116
Tabla 3.34	Franja granulométrica para la mezcla porosa.....	118
Tabla 3.35	Dosificación adoptada para realizar el diseño de la mezcla porosa	119
Tabla 3.36	Pesos de los agregados y cemento asfáltico para los diferentes porcentajes de cemento asfáltico.....	121
Tabla 3.37	Planilla de resultados de vacíos y permeabilidad.....	130
Tabla 3.38	Resultados de laboratorio para ensayo cántabro seco	133
Tabla 3.39	Resultados de laboratorio para ensayo cántabro húmedo.....	135
Tabla 3.40	Resumen de resultados de laboratorio de mezclas porosas	136
Tabla 3.41	Valores de estabilidad y fluencia para las briquetas con contenido óptimo de pavimento poroso	137
Tabla 4.1	Grupos de briquetas.....	137
Tabla 4.2	Pesos de los agregados y cemento asfáltico para los diferentes porcentajes de cemento asfáltico.....	139
Tabla 4.3	Porcentaje de vacíos promedio y permeabilidad.....	142
Tabla 4.4	Resistencia de las briquetas con adición de la mezcla porosa.....	147
Tabla 4.5	Dosificación mezcla flexible con porcentaje óptimo de C.A.	151
Tabla 4.6	Dosificación mezcla porosa con porcentaje óptimo de C.A.....	151

Tabla 4.7 Valores de estabilidad y fluencia para las briquetas combinadas con contenido óptimo de pavimento flexible y poroso.....	153
Tabla 4.8 Resultados de los ensayos de estabilidad Marshall	154

CAPÍTULO I
DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO III
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

CAPÍTULO IV
APLICACIÓN PRÁCTICA

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXOS I

CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS DE LOS

AGREGADOS PÉTREOS

ANEXOS II

CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO

ASFALTICO

ANEXOS III
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE
BETUMEN

ANEXOS IV
ENSAYOS DE CÁNTABRO

ANEXOS V

ENSAYOS DE ESTABILIDAD

ANEXOS VI

ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA