

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DPTO. DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS AL APLICAR CEMENTO PORTLAND Y FIBRAS DE
CÁSCARA DE COCO COMO AGENTE ESTABILIZADOR”**

Por:

FREDDY CHIRINOS FLORES

Proyecto presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II - 2018

TARIJA – BOLIVIA

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

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS AL
APLICAR CEMENTO PORTLAND Y FIBRAS DE CÁSCARA DE COCO
COMO AGENTE ESTABILIZADOR”**

Por:

FREDDY CHIRINOS FLORES

SEMESTRE II - 2018

TARIJA – BOLIVIA

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

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

.....
Ing. Wilson Yucra Rivera

.....
Ing. Moisés E. Díaz Ayarde

.....
Ing. Andrea Shimura Méndez

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 lo dedico primeramente a Dios por permitirme alcanzar este objetivo, y por brindarme sabiduría, paciencia, fuerza y voluntad para realizar esta tesis, y estar siempre conmigo en cada momento de mi vida.

A mis padres: Crispin Chirinos M. y Claudina Flores S. por brindarme su apoyo en todas las etapas de mi vida y haber sabido guiarme por el camino del bien, e inculcarme el espíritu de lucha para alcanzar mis metas.

A mis hermanos (as): por todo su apoyo y porque siempre he contado con ellos en todo momento.

A mis amigos y compañeros por los gratos momentos que pasamos en los estudios y en las aulas.

AGRADECIMIENTO:

A DIOS primeramente por permitirme la gracia de la vida y por las fuerzas que me brindó para levantarme en los momentos difíciles, finalmente por permitirme concluir esta meta.

A mis padres: por inculcarme los valores que me han permitido lograr esta meta. Por apoyarme incondicionalmente, este logro es gracias a ustedes, gracias por la confianza que han tenido y depositado en mí.

Un agradecimiento especial al: Ing. Marcelo Segovia Cortez y al Msc. Ing. Luis Alberto Yurquina Flores a ambos docentes por sus enseñanzas y guías impartidas en mi Proyecto de Grado.

A la Empresa Consultora S.A.H.: En especial al Tec. Mario Reinoso Estrada por brindarme su laboratorio, compartir sus conocimientos y ayuda en cada uno de los ensayos realizados en su laboratorio.

PENSAMIENTO:

“La única manera de hacer un trabajo
GENIAL es AMAR lo que haces.”

STEVE JOBS.

ÍNDICE

Advertencia
Dedicatoria
Agradecimiento
Pensamiento
Resumen

CAPÍTULO I FUNDAMENTO TEÓRICO

	Página
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	1
1.3. SITUACIÓN PROBLÉMICA	5
1.4. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.5. OBJETIVOS	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
1.6. HIPÓTESIS	3
1.7. ALCANCE	7
1.8. PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES A UTILIZAR.....	7
1.9. DEFINICIÓN DE VARIABLES	8
1.9.1. Variables dependientes (Xi)	8
1.9.2. Variables independientes (Yi)	8
1.9.3. Conceptualización y operacionalidad de las variables	8
1.10. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.10.1. Unidad de estudio.....	9

1.10.2. Población	9
1.10.3. Muestra	9
1.10.4. Selección de las técnicas de muestreo	10
1.11. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS	11
1.11.1. Listado de actividades a realizar	11
1.11.2. Esquema de actividades en función al procedimiento definido por la perspectiva	13
1.11.3. Cronograma de actividades.....	14
1.11.4. Productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva	14
1.11.5. Resultados esperados.....	15
1.11.6. Análisis de resultados.....	15

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

	Página
2.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS	17
2.1.1. Clasificación de mezcla asfáltica	17
2.1.2. Características de la mezcla (analizando el método Marshall).....	18
2.1.2.1. Densidad	18
2.1.2.2. Vacíos de aire.....	18
2.1.2.3. Vacíos en el agregado mineral (VAM)	19
2.1.2.4. Contenido de asfalto	19
2.1.2.5. Vacíos llenos de asfalto (RBV).....	20
2.1.3. Propiedades de las mezclas asfálticas	21
2.1.3.1. Estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas.....	21

2.1.3.2. Durabilidad	21
2.1.3.3. Flexibilidad	21
2.1.3.4. Resistencia a la fatiga	21
2.1.3.5. Resistencia al fracturamiento por baja temperatura	22
2.1.3.6. Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad	22
2.1.3.7. Resistencia al deslizamiento	22
2.1.3.8. Trabajabilidad	22
2.1.4. Componentes de las mezclas asfálticas	22
2.1.4.1. Cemento asfáltico	22
2.1.4.2. Ensayos realizados al asfalto para determinar sus propiedades	23
2.1.4.2.1. Ensayo de penetración de materiales bituminosos (AASHTO T49-97; ASTM D5).....	23
2.1.4.2.2. Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos (AASHTO T51-00; ASTM D113).....	24
2.1.4.2.3. Ensayo de punto de inflamación mediante el vaso abierto de Cleveland (AASHTO T48; ASTM D22).....	24
2.1.4.2.4. Ensayo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (AASHTO T53-92; ASTM D36-89)	24
2.1.5.2.5. Ensayo para determinar la gravedad específica de materiales bituminosos (AASHTO T228-93; ASTM D70-76).....	24
2.1.5.2.6. Película delgada (AASHTO T179-05; ASTM D 17-54).....	24
2.1.4.3. Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración.	25
2.1.4.4. Agregados pétreos	25
2.1.4.5. Clasificación de los agregados pétreos.....	25
2.1.4.6. Propiedades de los agregados pétreos	26

2.1.4.7. Ensayos realizados a los agregados.....	26
2.1.4.7.1. Análisis granulométrico de los agregados (AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136).....	26
2.1.4.7.2. Peso unitario de los agregados gruesos y finos (AASHTO T19; ASTM C 29M-97)	26
2.1.4.7.3. Peso específico y absorción del agregado grueso (AASHTO T85; ASTM C127)	26
2.1.4.7.4. Peso específico y absorción del agregado fino (AASHTO T84; ASTM C128)	27
2.1.4.7.5. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D5821-95).....	27
2.1.4.7.6. Ensayo de desgaste de los agregados por medio de la Maquina de los Ángeles (AASHTO T96; ASTM C131)	27
2.1.4.7.7. Método para determinar el equivalente de arena (AASHTO T176; ASTM D2419).....	27
2.1.4.7.8. Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado grueso y fino (AASHTO T104-99; ASTM E88).....	27
2.1.4.7.9. Método para determinar el índice de lajas (AASHTO C142).....	28
2.1.4.7.10. Finura del cemento (ASTM C 184 - 66).....	28
2.1.4.8. Especificaciones que deben cumplir los agregados	28
2.1.4.8.1. Agregado grueso	28
2.1.4.8.2. Agregado fino.....	29
2.1.4.9. Filler (llenante mineral)	29
2.1.4.9.1. Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas	30
2.1.4.9.2. Efecto del filler como componente de las mezclas asfálticas	30
2.1.4.10. Especificaciones del filler	31
2.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS	17

2.1.1. Clasificación de mezcla asfáltica	17
2.1.2. Características de la mezcla (analizando el método Marshall)	18
2.1.2.1. Densidad	18
2.1.2.2. Vacíos de aire.....	18
2.1.2.3. Vacíos en el agregado mineral (VAM)	19
2.1.2.4. Contenido de asfalto	19
2.1.2.5. Vacíos llenos de asfalto (RBV).....	20
2.1.3. Propiedades de las mezclas asfálticas	21
2.1.3.1. Estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas.....	21
2.1.3.2. Durabilidad	21
2.1.3.3. Flexibilidad	21
2.1.3.4. Resistencia a la fatiga	21
2.1.3.5. Resistencia al fracturamiento por baja temperatura	22
2.1.3.6. Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad	22
2.1.3.7. Resistencia al deslizamiento	22
2.1.3.8. Trabajabilidad	22
2.1.4. Componentes de las mezclas asfálticas	22
2.1.4.1. Cemento asfáltico	22
2.1.4.2. Ensayos realizados al asfalto para determinar sus propiedades	23
2.1.4.2.1. Ensayo de penetración de materiales bituminosos (AASHTO T49-97; ASTM D5).....	23
2.1.4.2.2. Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos (AASHTO T51-00; ASTM D113).....	24
2.1.4.2.3. Ensayo de punto de inflamación mediante el vaso abierto de Cleveland (AASHTO T48; ASTM D22).....	24

2.1.4.2.4. Ensayo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (AASHTO T53-92; ASTM D36-89)	24
2.1.5.2.5. Ensayo para determinar la gravedad especifica de materiales bituminosos (AASHTO T228-93; ASTM D70-76).....	24
2.1.5.2.6. Película delgada (AASHTO T179-05; ASTM D 17-54).....	24
2.1.4.3. Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración.	25
2.1.4.4. Agregados pétreos	25
2.1.4.5. Clasificación de los agregados pétreos.....	25
2.1.4.6. Propiedades de los agregados pétreos	26
2.1.4.7. Ensayos realizados a los agregados.....	26
2.1.4.7.1. Análisis granulométrico de los agregados (AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136).....	26
2.1.4.7.2. Peso unitario de los agregados gruesos y finos (AASHTO T19; ASTM C 29M-97)	26
2.1.4.7.3. Peso específico y absorción del agregado grueso (AASHTO T85; ASTM C127)	26
2.1.4.7.4. Peso específico y absorción del agregado fino (AASHTO T84; ASTM C128)	27
2.1.4.7.5. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D5821-95).....	27
2.1.4.7.6. Ensayo de desgaste de los agregados por medio de la Maquina de los Ángeles (AASHTO T96; ASTM C131)	27
2.1.4.7.7. Método para determinar el equivalente de arena (AASHTO T176; ASTM D2419).....	27
2.1.4.7.8. Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado grueso y fino (AASHTO T104-99; ASTM E88).....	27
2.1.4.7.9. Método para determinar el índice de lasjas (AASHTO C142).....	28

2.1.4.7.10. Finura del cemento (ASTM C 184 - 66).....	28
2.1.4.8. Especificaciones que deben cumplir los agregados	28
2.1.4.8.1. Agregado grueso	28
2.1.4.8.2. Agregado fino.....	29
2.1.4.9. Filler (llenante mineral)	29
2.1.4.9.1. Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas	30
2.1.4.9.2. Efecto del filler como componente de las mezclas asfálticas	30
2.1.4.10. Especificaciones del filler	31
2.1.5. Fibras	31
2.1.5.1. Definición de fibras	31
2.1.5.2. Fibra de coco.....	32
2.1.5.3. Características de la fibra de coco.....	33
2.1.5.4. Fibra agente estabilizador para el pavimento asfáltico	33
2.1.5.5. Propiedades del pavimento asfáltico con fibras	33
2.1.5.6. Especificaciones de las fibras	34
2.2. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, MÉTODO MARSHALL.....	34
2.2.1. Metodología	34
2.2.2 Propósito de la metodología	35
2.2.3 Descripción general.....	35
2.2.4 Especificaciones de la metodología	37
2.2.4.1. Granulometría	37
2.2.4.2. Golpes de compactación.....	38
2.2.4.3. Parámetros volumétricos de diseño Marshall	38
2.2.5. Ensayos realizados a la mezcla asfáltica compactada.....	39

2.2.5.1. Determinación de la gravedad específica bulk	39
2.2.5.2. Ensayo de estabilidad y fluencia	40
2.2.5.3. Análisis de densidad y vacíos	40

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

	Página
3.1. IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	42
3.2. PROCEDENCIA DEL CEMENTO PORTLAND Y LA FIBRA DE COCO	44
3.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	46
3.3.1. Agregado grueso	46
3.3.2. Agregado fino	48
3.3.3. Resultados de la caracterización de agregados	50
3.4. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO	51
3.5.1. Resultados de la caracterización de cemento asfáltico.....	51

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Página
4.1. PREDISEÑO PARA OBTENER EL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO Y DE FIBRA DE COCO	52
4.1.1. Mezclas para obtener el diseño óptimo de cemento asfáltico.....	52
4.1.2. Dosificaciones de los especímenes	56
4.1.3. Resultados de las muestras	59
4.1.4. Gráficos de ensayos marshall vs cemento asfáltico para un diseño normal con un 0.04% de fibra de coco	62

4.2. DISEÑO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND Y FIBRAS DE COCO	66
4.2.1. Mezclas para obtener el diseño óptimo de cemento asfáltico.....	66
4.2.2. Dosificación de los especímenes (modificados).....	69
4.2.3. Resultados de las muestras modificadas con cemento Portland y fibras de coco	72
4.2.4. Gráficos de ensayos marshall vs cemento asfáltico para un diseño modificado con 1% de filler (cemento Portland)	76
4.3. DISEÑO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA NORMAL CON FILLER NATURAL	80
4.3.1. Mezclas para obtener el diseño óptimo de cemento asfáltico.....	80
4.3.2. Dosificación de los especímenes (normales)	83
4.3.3. Resultados de las muestras normales con filler natural.....	86
4.3.4. Gráficos de ensayos marshall vs cemento asfáltico para un diseño normal con 1% de filler natural.....	90
4.4. CONTENIDOS ÓPTIMOS DE LOS DISEÑOS NORMALES PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO	94
4.5. CONTENIDOS ÓPTIMOS DE LOS DISEÑOS MODIFICADOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO	95
4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	96
4.6.1. Estadística descriptiva	96
4.6.2. Estadística inferencial.....	96
4.6.2.1. Variable estabilidad	97
4.6.2.1.1. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas modificadas con 1.71% de filler y 0.066% de fibra de coco	97
4.6.2.2. Variable fluencia	97

4.5.2.2.1. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas modificadas con 1.71% de filler y 0.066% de fibra de coco	97
4.6.2.3. Variable densidad	98
4.6.2.1.1. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas modificadas con 1.71% de filler y 0.066% de fibra de coco	98
4.6.2.4. Variable porcentaje de vacíos	98
4.5.2.2.1. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas modificadas con 1.71% de filler y 0.066% de fibra de coco	96
4.7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	99
4.7.1. Comparación del contenido óptimo del cemento asfáltico	99
4.7.2. Comparación de la densidad	99
4.7.3. Comparación del % de vacíos totales en la mezcla	100
4.7.4. Comparación del porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% VAM)	101
4.7.5. Comparación del % RBV	101
4.7.6. Comparación de la estabilidad de las mezclas	102
4.7.7. Comparación del flujo o fluencia de las mezclas	103
4.8. ANÁLISIS DE PRECIOS DE PRODUCCIÓN PARA LAS DIFERENTES MEZCLAS ASFÁLTICAS	103
4.8.1. Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica normal	104
4.8.2. Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica con adición de cemento Portland y fibras de coco	105
4.8.3. Análisis del precio de los materiales para las mezclas asfálticas estudiadas.	106

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. CONCLUSIONES	107
5.2. RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍAS	110
ANEXOS.....	

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Cómputos métricos, análisis de precio unitario y presupuesto total

Anexo B: Extracción de materiales, caracterización de los materiales y diseño
de las mezclas asfálticas

Anexo C: Tabla para la corrección de la estabilidad

Anexo D: Documentos de respaldo

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Esquema de actividades en función al procedimiento de la perspectiva..	13
Figura 2.1. Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica	20
Figura 2.2. Proceso de trituración de la cáscara de coco a fibras	20
Figura 3.1. Zona de muestreo 1	42
Figura 3.2. Zona de muestreo 2	43
Figura 3.3. Zona de muestreo 3	43
Figura 3.4. Agregado pétreo.....	44
Figura 3.5. Fábrica de cemento el puente	44
Figura 3.6. Mercado abasto del sur.....	45
Figura 3.7. Cáscara de coco.....	45
Figura 4.1. Curva granulométrica de los agregados con 0.04% de fibra de coco	53
Figura 4.2. Curva granulométrica de los agregados con 0.08% de fibra de coco	54
Figura 4.3. Curva granulométrica de los agregados con 0.12% de fibra de coco	55
Figura 4.4. % asfalto vs densidad del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% de fibra	62
Figura 4.5. % asfalto vs % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% de fibra	63
Figura 4.6. % asfalto vs % RBV del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% de fibra	63
Figura 4.7. % asfalto vs estabilidad del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% de fibra	64
Figura 4.8. % asfalto vs % VAM del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% de fibra	64

Figura 4.9. % asfalto vs flujo del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% de fibra	65
Figura 4.10. % Óptimo de cemento asfáltico vs % fibra de coco.....	65
Figura 4.11. Curva granulométrica de los agregados con 1% de filler (cemento Portland)	66
Figura 4.12. Curva granulométrica de los agregados con 2% de filler (cemento Portland)	67
Figura 4.13. Curva granulométrica de los agregados con 3% de filler (cemento Portland)	68
Figura 4.14. % asfalto vs densidad del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland).....	76
Figura 4.15. % asfalto vs % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland).....	76
Figura 4.16. % asfalto vs % RBV del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland)	77
Figura 4.17. % asfalto vs estabilidad del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland).....	77
Figura 4.18. % asfalto vs % VAM del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland).....	78
Figura 4.19. % asfalto vs flujo del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland).....	78
Figura 4.20. % Óptimo de cemento asfáltico vs % filler (cemento Portland).....	79
Figura 4.21. Curva granulométrica de los agregados con 1% de filler natural	80
Figura 4.22. Curva granulométrica de los agregados con 2% de filler natural	81
Figura 4.23. Curva granulométrica de los agregados con 3% de filler natural	82
Figura 4.24. % asfalto vs densidad del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler natural.....	90

Figura 4.25. % asfalto vs % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler natural.....	90
Figura 4.26. % asfalto vs % RBV del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler natural.....	91
Figura 4.27. % asfalto vs estabilidad del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler natural.....	91
Figura 4.28. % asfalto vs % VAM del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler natural.....	92
Figura 4.29. % asfalto vs flujo del diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler natural.....	92
Figura 4.30. % Óptimo de cemento asfáltico vs % filler natural.....	93
Figura 4.31. Comparación del contenido óptimo cemento asfáltico	99
Figura 4.32. Comparación de la densidad de las mezclas asfálticas	100
Figura 4.33. Comparación del % de vacíos de las mezclas asfálticas	100
Figura 4.34. Comparación del % de VAM de las mezclas asfálticas	101
Figura 4.35. Comparación del % de RBV de las mezclas asfálticas	102
Figura 4.36. Comparación de la estabilidad de las mezclas asfálticas.....	102
Figura 4.20. Comparación de la fluencia de las mezclas asfálticas.....	103
Figura 4.20. Comparación del precio de las mezclas asfálticas	106

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Conceptualización y operacionalidad de las variables	8
Tabla 1.2. Nivel de confianza.....	9
Tabla 1.3. Muestra estratificada por afijación proporcional	10
Tabla 1.4. Cronograma de actividades.....	14
Tabla 2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas	17
Tabla 2.2. Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración	25
Tabla 2.3. Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría	28
Tabla 2.4. Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso	28
Tabla 2.5. Especificaciones que debe cumplir el agregado fino	29
Tabla 2.6. Graduación del agregado fino de acuerdo a AASHTO M 29	29
Tabla 2.7. Granulometría que debe cumplir el filler de acuerdo a la norma ASTM ..	31
Tabla 2.8. Propiedades de fibra celulosa, AASHTO MP8	34
Tabla 2.9. Granulometría que deben cumplir los agregados para el diseño Marshall.....	38
Tabla 2.10. Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo.....	38
Tabla 2.11. Requisitos para la mezcla asfáltica Marshall (AASHTO T 2459).....	39
Tabla 2.12. Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral (VMA).....	39
Tabla 3.1. Granulometría de grava de 3/4" (AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136).....	46
Tabla 3.2. Granulometría de gravilla de 3/8" (AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136).....	46
Tabla 3.3. Peso unitario del agregado 3/4" (AASHTO T19; ASTM C 29M-97).	46
Tabla 3.4. Peso unitario del agregado 3/8" (AASHTO T19; ASTM C 29M-97)	46

Tabla 3.5. Peso específico y absorción del agregado de 3/4" (AASHTO T85; ASTM C127).....	47
Tabla 3.6. Peso específico y absorción del agregado de 3/8" (AASHTO T85; ASTM C127).....	47
Tabla 3.7. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados de 3/4" (ASTM D5821-95).....	47
Tabla 3.8. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados de 3/8" (ASTM D5821-95).....	47
Tabla 3.9. Ensayo de desgaste de los agregados de 3/4" por medio de la Maquina de los Ángeles (AASHTO T96; ASTM C131).....	47
Tabla 3.10. Ensayo de desgaste de los agregados de 3/8" por medio de la Maquina de los Ángeles (AASHTO T96; ASTM C131).....	47
Tabla 3.11. Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado grueso (AASHTO T104-99; ASTM E88).....	48
Tabla 3.12. Método para determinar el índice de lajas en los agregados de 3/4" (AASHTO C142).....	48
Tabla 3.13. Método para determinar el índice de lajas en los agregados de 3/8" (AASHTO C142).....	48
Tabla 3.14. Granulometría de la arena (AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136).....	48
Tabla 3.15. Granulometría de la arena lavada (AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136).....	48
Tabla 3.16. Granulometría del filler natural (ASTM E 40).....	49
Tabla 3.17. Peso unitario de la arena (AASHTO T19; ASTM C 29M-97).....	49
Tabla 3.18. Peso específico y absorción del agregado fino (AASHTO T84; ASTM C128).....	49
Tabla 3.19. Método para determinar el equivalente de arena (AASHTO T176; ASTM D2419).....	49

Tabla 3.20. Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado fino (AASHTO T104-99; ASTM E88).....	49
Tabla 3.21. Porcentaje de finura del cemento (ASTM E 117 - AASHTO T 11).....	50
Tabla 3.22. Resultados finales de la caracterización de los agregados.....	50
Tabla 3.23. Resultados de la caracterización de cemento asfáltico	51
Tabla 4.1. Dosificación de los agregados con 0.04% de fibra de coco	52
Tabla 4.2. Dosificación de los agregados con 0.08% de fibra de coco	53
Tabla 4.3. Dosificación de los agregados con 0.12% de fibra de coco	54
Tabla 4.4. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% de fibra de coco.	56
Tabla 4.5. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 0.08% de fibra de coco	57
Tabla 4.6. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 0.12% de fibra de coco	58
Tabla 4.7. Resultados de la dosificación para el diseño con 0.04% de fibra de coco	59
Tabla 4.8. Resultados de la dosificación para el diseño con 0.08% de fibra de coco	59
Tabla 4.9. Resultados de la dosificación para el diseño con 0.12% de fibra de coco	59
Tabla 4.10. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 0.04% de fibra de coco	60
Tabla 4.11. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 0.08% de fibra de coco	60
Tabla 4.12. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 0.12% de fibra de coco	60
Tabla 4.13. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 0.04% de fibra de coco	61

Tabla 4.14. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 0.08% de fibra de coco	61
Tabla 4.15. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 0.12% de fibra de coco	62
Tabla 4.16. Dosificación de los agregados con 1% de filler (cemento Portland)	66
Tabla 4.17. Dosificación de los agregados con 2% de filler (cemento Portland)	67
Tabla 4.18. Dosificación de los agregados con 3% de filler (cemento Portland)	68
Tabla 4.19. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco..	69
Tabla 4.20. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% de filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco.	70
Tabla 4.21. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco.	71
Tabla 4.22. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland).....	72
Tabla 4.23. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% de filler (cemento Portland).....	72
Tabla 4.24. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de filler (cemento Portland).....	73
Tabla 4.25. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 1% de filler (cemento Portland).....	73
Tabla 4.26. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 2% de filler (cemento Portland).....	73
Tabla 4.27. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 3% de filler (cemento Portland).....	74
Tabla 4.28. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland)	74

Tabla 4.29. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 2% de filler (cemento Portland)	75
Tabla 4.30. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 3% de filler (cemento Portland)	75
Tabla 4.31. Dosificación de los agregados con 1% de filler natural	80
Tabla 4.32. Dosificación de los agregados con 2% de filler natural	81
Tabla 4.33. Dosificación de los agregados con 3% de filler natural	82
Tabla 4.34. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler natural.	83
Tabla 4.35. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% de filler natural.	84
Tabla 4.36. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de filler natural.	85
Tabla 4.37. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler natural.....	86
Tabla 4.38. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% de filler natural.....	86
Tabla 4.39. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de filler natural.....	87
Tabla 4.40. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 1% de filler natural	87
Tabla 4.41. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 2% de filler natural.	87
Tabla 4.42. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 3% de filler natural	88
Tabla 4.43. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 1% de filler natural.....	88
Tabla 4.44. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 2% de filler natural	89

Tabla 4.45. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 3% de filler natural.....	89
Tabla 4.46. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica normal con 1.85% de filler natural.....	94
Tabla 4.47. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 1.71% de filler (cemento Portland)	95
Tabla 4.48. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica normal con 1.85% de filler natural	96
Tabla 4.49. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 1.71% de filler (cemento Portland)	96
Tabla 4.50. Dosificación para 1 m ³ mezcla asfáltica normal con 1% de filler natural.	104
Tabla 4.51. Precio de los materiales para 1 m ³ de mezcla asfáltica normal con 1% filler natural.....	104
Tabla 4.52. Resumen de precio unitario para 1 m ³ de la mezcla asfáltica normal con 1% filler natural..	104
Tabla 4.53. Dosificación para 1 m ³ mezcla asfáltica modificada con 1% de filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco.	105
Tabla 4.54. Precio de los materiales para 1 m ³ de mezcla asfáltica modificada con 1% filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco.	105
Tabla 4.55. Resumen de precio unitario para 1 m ³ de la mezcla asfáltica modificada con 1% filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco.....	106