

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



**“ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS A PARTIR DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE
RAYOS-X”**

Por:

MARIA XIMENA ARMELLA

GESTIÓN 2015

TARIJA – BOLIVIA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS A PARTIR DE TOMOGRÁFIA
COMPUTARIZADA DE RAYOS-X”
TOMO I**

Por:

MARIA XIMENA ARMELLA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para
optar el grado Académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL.

Marzo de 2016

TARIJA - BOLIVIA

V°B°

.....
Ing. Jhonny Mario Orgaz Fernández
DOCENTE GUIA

Msc. Ing. Ernesto Roberto
Álvarez Gonzalves
DECANO
**FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA**

Msc. Ing. Silvana Sandra
Paz Ramírez
VICEDECANA
**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

.....
Msc. Ing. Mario Luis Ticona Copa

.....
Ing. Moisés Eduardo Díaz Ayarde

.....
Ing. Mabel Zambrana Velazco

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 mi mamita *Beatriz Fernández* (=), una mujer cariñosa y recta que aun sin estar presente es la fuerza que me alienta y la paz que apacigua mis tormentas.

A *Erik Gómez Blacutt* (=, un gran amigo y compañero de carrera a quien los días no le alcanzaron para coronar el anhelo de ser un Ingeniero.

Mas hoy hago una pausa con un nudo en la garganta y una lágrima que cae del alma; en medio del silencio puedo escuchar el aplauso de estos dos muy queridos seres a quienes recordare por siempre

AGRADECIMIENTOS:

A *Dios* a quien le debo todo lo que soy y tengo; y siempre le estaré agradecida, por el don de la vida; por su provisión constante, por la sabiduría e inteligencia, por su amor incondicional con el que cubre cada uno de mis días.

AGRADECIMIENTOS:

A mi madre *Gloria Armella Fernández*;
por ser la persona que siempre está a mi
lado sujetando mi mano con amor y
firmeza, enseñándome que con la mirada
puesta en ÉL creador, esfuerzo y dedicación
todo es posible; GRACIAS por ser más que
una mamá, una amiga y compañera de vida

A mi papá *Asunción Armella Miranda*;
por ser mi ejemplo de empuje valor y
constancia; por enseñarme que no importa
cuántas veces puedas caer, sino cuantas te
levantes; por ser mi amigo y regalarme su
cariño.

AGRADECIMIENTOS:

Al *Ing. Jhonny Orgaz*, Docente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”; por dedicarme su tiempo, confianza y mucho de su conocimiento en la elaboración del Presente Proyecto de Investigación, hoy puedo decir que fue un Hombre generoso e inteligente.

Al *Ing. Alex E. Álvarez* Director Grupo integrado de Investigación en Ingeniería Civil Universidad de Magdalena (Santa Marta – Colombia), por su generosidad en cuanto a tiempo, ideas y conocimientos; por enseñarme que aun sin conocernos personalmente que los hombres de mentes brillantes nacen en medio de la humildad y se forman en los ideales y se perpetúan en la confianza de dar sin mezquindad.

AGRADECIMIENTOS:

A la *Empresa Vial Copacabana* a través del Director de obra *Sr. Juan Carlos Robledo*, que me brindo su confianza abriéndome las puertas de sus laboratorios para la elaboración de los ensayos del presente proyecto de investigación, por lo con humildad y respeto les digo MIL GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS:

A los *Docentes* de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma " Juan Misael Saracho", por brindarme sus conocimientos, por compartir con ellos una etapa de mi vida; a quienes les deberé siempre mi respeto, consideración y cariño y creo que a muchos puedo llamarlos Amigos.

A mis *amigos y compañeros*, por brindarme su amistad, comprensión, respeto y cariño, por compartir momentos buenos y malos que están grabados en mi mente y alma

“ PARA DIOS NO EXISTEN CASUALIDADES,
EXISTEN PROPÓSITOS”

Jehová cumplirá su propósito en mí.

Salmos 138:8

ÍNDICE

Página

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. SITUACIÓN PROBLEMICA.....	2
1.2.2. PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. ALCANCE.....	4
1.5. DISEÑO TEÓRICO	5
1.5.1. OBJETIVOS	6
1.5.1.1. Objetivo general	6
1.5.1.2. Objetivos específicos	6
1.6. HIPÓTESIS.....	7
1.7. DEFINICIÓN DE VARIABLES	7
1.8. DISEÑO METODOLÓGICO.....	7
1.8.1. UNIDADES DE ESTUDIO	7
1.8.2. POBLACIÓN	7
1.8.3. MUESTRA.....	8
1.8.4. MUESTREO.....	8
1.8.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	9
1.8.6. TÉCNICAS DE MUESTREO	10
1.8.7. PROCESO DE OBTENCIÓN DE DATOS	11
1.8.8. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO	12

CAPITULO II. ESTADO DE CONOCIMIENTO DEL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS A PARTIR DE TOMOGRAFÍAS COMPUTARIZADAS DE RAYOS-X

2. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS DE PAVIMENTOS

FLEXIBLES	14
2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTO	14
2.2. PAVIMENTO FLEXIBLE	14
2.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS	15
2.3.1. CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	16
2.3.1.1. Por fracciones de agregado pétreo empleado.....	16
2.3.1.2. Por temperatura de puesta en obra	16
2.3.1.3. Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica	17
2.3.1.4. Por el tamaño máximo de agregado pétreo	17
2.3.1.5. Por la estructura del agregado pétreo	18
2.3.1.6. Por la granulometría.....	18
2.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	18
2.3.2.1. Densidad de la mezcla.....	18
2.3.2.2. Vacíos de aire.....	19
2.3.2.3. Vacíos en el agregado mineral	19
2.3.2.4. Contenido de asfalto.....	20
2.3.3. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	22
2.3.3.1. Estabilidad.....	23
2.3.3.2. Resistencia a las deformaciones plásticas	23
2.3.3.3. Resistencia a la fatiga.....	24
2.3.3.4. Durabilidad.....	25
2.3.3.5. Flexibilidad	27
2.3.3.6. Resistencia al deslizamiento	27
2.3.3.7. Impermeabilidad	28
2.3.3.8. Trabajabilidad	28

2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	28
2.4.1. La Naturaleza del Cemento Asfáltico	28
2.4.2. Granulometría.....	29
2.4.3. Textura y Forma de los Agregados	29
2.5. MATERIALES ASFÁLTICOS	30
2.5.1. Composición Química de los Materiales Asfálticos	32
2.5.2. Cementos Asfálticos Convencionales	32
2.5.3. Asfaltos Modificados	33
2.5.3.1. Objetivo de la modificación de los asfaltos.....	36
2.5.3.2. Beneficios que se buscan con la modificación del asfalto	37
2.6. AGREGADOS MINERALES	38
2.6.1. Clasificación de las Rocas	38
2.6.2. Fuentes de Agregados	39
2.7. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	40
2.7.1. Método MARSHALL de Diseño de Mezclas	40
2.7.1.1. Esquema del método	41
2.7.1.2. Diseño MARSHALL (AASHTO T245).....	42
2.7.1.3. Ensayos de estabilidad y fluencia	43
2.7.1.3.1. Valor de estabilidad Marshall.....	44
2.7.1.3.2. Valor de fluencia Marshall	45
2.7.1.4. Análisis de densidad y vacíos	45
2.7.2. CRITERIO DE DISEÑO MARSHALL.....	46
2.8. ESTUDIO DE LOS AGREGADOS	46
2.8.1. Toma de Muestras (ASTM C75 - AASHTO T2).....	46
2.8.2. Cuarteo de Agregados (ASTM C702 - AASHTO T248).....	48
2.8.3. Análisis Granulométrico (ASTM E40 -AASHTO T27-99).....	49
2.8.4. Peso Específico de los Agregados (ASTM E127 - AASHTO T85-91 y ASTM E128 - AASHTO T84-00).....	50

2.8.5. Peso Unitario (ASTM C29).....	51
2.8.6. Abrasión (ASTM E131 -AASHTO T96-99).....	52
2.8.7. Porcentaje de Caras Fracturadas (ASTM-D5821).....	53
2.8.8. Ensayo de Durabilidad (ASTM E88 AASHTO T109-99)	54
2.8.9. Equivalente de Arena (ASTM D2419 AASHTO T176-00).....	54
2.9. CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO	55
2.9.1. Muestreo (ASTM D140 AASHTO T40-78)	55
2.9.2. Penetración (ASTM D5 - AASHTO T49-97)	56
2.9.3. Peso Específico (ASTM D71-94 - AASSHTO T229-97)	57
2.9.4. Ductilidad (ASTM D113 - AASHTO T51-00)	57
2.9.5. Punto de Inflamación (ASTM D1310-01 - AASHTO T79-96)	58
2.9.6. Película Delgada (ASTM D2872 - AASHTO T240-06).....	58
2.9.7. Punto de Reblandecimiento (ASTM D36 AASHTO T53-96)	59
2.9.8. Recuperación Elástica (ASTM D6084-06AASHTO T301-99)	59
2.10. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	60
2.10.1. Para agregados pétreos	60
2.10.2. Para Asfaltos.....	61
2.11. CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA	61
2.11.1. Resistencia.....	61
2.11.2. Flujo.....	62
2.11.3. Compactación.....	62
2.13. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	64
2.13.1. Descripción de la técnica de rayos-X para caracterizar mezclas asfálticas	67
2.13.2. Descripción del equipo a utilizar.....	68
2.13.3. Técnicas Basadas en imágenes para la Cuantificación	

de la Morfología de los Agregados	73
2.13.3.1. Caracterización morfológica de agregados	73
2.14. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE TOMOGRAFÍA	76
2.15. PARTES DEL TOMÓGRAFO.....	77
2.16. TIPOS DE RESOLUCION DE LAS IMÁGENES	
BIDIMENSIONALES	77
2.16.1. RESOLUCIÓN CONVENCIONAL O ESPACIAL DE LA IMAGEN	77
2.16.2. RESOLUCIÓN DE CONTRASTE O ALTA RESOLUCIÓN	77
2.17. FRECUENCIA DE MUESTREO.....	78
2.18. TOMÓGRAFO ELÉCTRICO ENSAMBLADO	
PARA ANÁLISIS DE PAVIMENTOS.....	78
CAPÍTULO III. INVESTIGACIÓN DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE	
LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS A PARTIR DE TOMOGRAFÍAS	
COMPUTARIZADAS DE RAYOS-X	
3.1. ESTUDIO DE AGREGADOS	78
3.1.2. Toma de Muestras (ASTM C75-AASHTO T2).....	78
3.1.3. Cuarteo de Materiales (ASTM C702-AASHTO T248)	80
3.1.4. Análisis Granulométrico (ASTM E40 – AASHTO T27 – 99).....	81
3.1.5. Peso Específico de los Agregados Grueso (ASTM E127 – AASTHO T85-91) y Fino (ASTM E128 – AASHTO T84 – 00).....	87
3.1.6. Peso Unitario (ASTM C29).....	92
3.1.7. Ensayo de Abrasión (ASTM E131 – AASHTO T96 – 99).....	94
3.1.8. Equivalentes de Arena (ASTM D2419 – AASHTO T176 – 00)	97
3.1.9. Resistencia a los Sulfatos (ASTM E88 – AASHTO T101-99)	99

3.1.10. Determinación del Porcentaje de Caras Fracturadas ASTM D5821	101
3.2. CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO	102
3.2.1. Muestreo de Cementos Asfálticos	102
3.2.2. Ensayo de Penetración (ASTM D5 – AASHTO T51-00)	104
3.2.3. Peso Específico (ASTM D71-94 – AASHTO T229-97).....	105
3.2.4. Ensayo de Ductilidad (ASTM D113 – AASHTO T51-00)	107
3.2.5. Ensayo de Punto de Inflamación y Combustión del Cemento Asfáltico mediante la Copa de Cleveland (ASTM D1310-01 – AASHTO T79-96)	108
3.2.6. Película Delgada Rotatoria (ASTM D2872 – AASHTO T240-06)	110
3.2.7. Punto de Reblandecimiento (ASTM D36 – AASHTO T53-96)	112
3.2.8. Recuperación Elástica a los 25 °C (ASTM D6084-06 – AASHTO T101- 99).....	114
3.3. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	
METODOLOGÍA MARSHALL	116
3.3.1. Combinación de Agregados	116
3.3.1.1. Método del diagrama rectangular.	116
3.3.2. Granulometría de los Agregados	117
3.3.3. Preparación de Probetas por el Método Marshall.....	122
3.3.4. Determinación de Alturas en las Briquetas	125
3.3.5. Pesos específicos en Briquetas Asfálticas	125
3.3.6. Estabilidad y Fluencia Marshall	127
3.4. ANÁLISIS DE TOMOGRAFÍAS COMPUTARIZADAS DE RAYOS-X (TC-RX)	130
3.4.1. Análisis de Vacíos	134
3.4.2. Análisis del Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral	143

3.4.3. Contacto Agregado-Agregado.....	152
3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	161
3.5.1. Análisis de Briquetas Asfálticas Diseñadas	162
3.5.1.1. Porcentaje de Vacíos	162
3.5.1.2. Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM)	163
3.5.1.3. Contacto Agregado – Agregado.....	165
3.5.2. Relación Entre Variables.....	166
3.5.2.1. VAM – Vacíos	166
3.5.2.2. Contacto Agregado – Porcentaje de Vacíos.....	170
3.5.2.3. Contacto agregado – VAM	174
3.6. ANÁLISIS DE NÚCLEOS (extraídos de campo)	178
3.6.1. Porcentaje de Vacíos	178
3.6.2. Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral (VAM).....	180
3.6.3. Contacto Agregado-Agregado.....	181

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES	183
4.2. RECOMENDACIONES	186

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

Anexo 1.1 AGREGADOS HAM- LA PINTADA

Anexo 1.2 AGREGADOS SEDECA-CHARAJA

Anexo 1.3 AGREGADOS SEDECA-TOLOMOSA

Anexo 1.4 AGREGADOS ACV-EL MOLINO

ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

Anexo 2.1 BETUNEL (HAM)

Anexo 2.2 BETUPEN (SEDECA)

Anexo 2.3 BETUFLEX (ACV)

ANEXO 3. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MÉTODO MARSHALL

ANEXO 4. PLANILLAS DE ANÁLISIS

Anexo 4.1 Porcentaje de Vacíos

Anexo 4.2 Porcentaje VAM

Anexo 4.3 Contacto Agregado-Agregado

ANEXO 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Anexo 5.1 Porcentaje de Vacíos

Anexo 5.2 Porcentaje VAM

Anexo 5.3 Contacto Agregado-Agregado

ANEXO 6. TOMOGRAFÍAS COMPUTARIZADAS

Anexo 6.1 (TC-RX) Porcentaje de Vacíos

Anexo 6.2 (TC-RX) Porcentaje VAM

Anexo 6.3 (TC-RX) Contacto Agregado-Agregado

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Corte transversal de una carretera	15
FIGURA 2.2 Ilustración Volumétrica de una mezcla asfáltica.....	20
FIGURA 2.5 Ensayo de fluencia y estabilidad a briqueta	43
FIGURA 2.4 Extracción de Muestras	47
FIGURA 2.5 Cuarteo Mecánico de Materiales	48
FIGURA 2.6 Cuarteo de Muestras Manualmente	49
FIGURA 2.7 Granulometría de Agregados Pétreos.....	50
FIGURA 2.8 Ensayo de Peso Específico en Agregados pétreos	51
FIGURA 2.9 Determinación del Peso Unitario en Agregados Finos y Gruesos	52
FIGURA 2.10 Equipo Utilizado en Ensayo de Desgaste de los Ángeles	53
FIGURA 2.11 Análisis de Caras Fracturadas	53
FIGURA 2.12 Muestras en Sulfato de Sodio.....	54
FIGURA 2.13 Ensayo de Equivalente de Arena.....	54
FIGURA 2.14 Planta Asfáltica	55
FIGURA 2.15 Muestreo de Asfalto	56
FIGURA 2.16 Ensayo de Penetración en Asfalto	56
FIGURA 2.17 Peso Específico Asfáltico.....	57
FIGURA 2.18 Ductilidad del Asfalto	57
FIGURA 2.19 Punto de Inflamación del Asfalto.....	58
FIGURA 2.20 Ensayo de Película Delgada	59
FIGURA 2.21 Punto de Reblandecimiento Asfáltico	59

FIGURA 2.28 Recuperación Elástica del Asfalto 60/85.....	60
FIGURA 2.23 Rayos-X ha los cuales está sometido una Muestra.....	69
FIGURA 2.24 Briqueta en ensayo de TC-RX	70
FIGURA 2.25 Tomografías computarizadas TC-RX	71
FIGURA 3.1.1 Ubicación Satelital -Planta Asfáltica y Chancadora de Charaja	78
FIGURA 3.1.2 Ubicación Satelital - Planta Chancadora Vafercon-Tolomosa.....	79
FIGURA 3.1.3 Ubicación Satelital - Planta Asfáltica La Pintada	79
FIGURA 3.1.4 Ubicación Satelital Planta Asfáltica y de Acopio de Materiales.....	80
FIGURA 3.2.1 Muestreo Planta Asfáltica "La Pintada-HAM"	102
FIGURA 3.2.2 Muestreo Planta Asfáltica de Charaja	103
FIGURA 3.2.3 Muestreo Planta Asfáltica El Molino	103
FIGURA 3.3.1 Determinación de Alturas en Briquetas.....	125
FIGURA 3.4.1 Estructura Interna de una Mezcla Asfáltica a partir de RadiAnd DICOM (TOMOGRAFIA)	132
FIGURA 3.4.2 Observación del Valor de Pixeles	133
FIGURA 3.4.3 Imagen Importada a IMAGE-J.....	135
FIGURA 3.4.4 Imagen Binaria de Vacíos	135
FIGURA 3.4.5 Determinación de Área de Vacíos en Porcentaje	136
FIGURA 3.4.6 Vacíos en Programación Binaria.....	136
FIGURA 3.4.7 TC-RX con capa de Pigmentación Contacto Agregado- Agregado	153
FIGURA 3.4.8 Vista con Marcado de Contornos de los Agregados	154
FIGURA 3.4.9 Conteo de Puntos de Contacto en Muestras Asfálticas	154

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 Asignaciones que se dan a algunos Cementos Asfálticos	33
TABLA 2.2 Clasificación de Polímeros	35
TABLA 2.3 Criterios de Diseño Marshall.....	46
TABLA 2.4 Porcentajes mínimos de Vacíos del Agregado Mineral	46
TABLA 2.5 Serie de tamices según su Abertura.....	49
TABLA 2.6 Cantidades de Muestreo de Asfalto.....	55
TABLA 2.7 Requisitos de los Agregados Pétreos para Mezclas Bituminosas	60
TABLA 2.8 Especificaciones para Cementos Asfálticos	61
TABLA 3.1.1 Granulometría de Materiales - HAM-LA PINTADA	83
TABLA 3.1.2 Granulometría de Materiales - SEDECA-CHARAJA	84
TABLA 3.1.3 Granulometría de Materiales - SEDECA-TOLOMOSA.....	85
TABLA 3.1.4 Granulometría de los Materiales - ACV-ELMOLINO	86
TABLA 3.1.5 Peso Específico - HAM-LA PINTADA.....	91
TABLA 3.1.6 Peso Específico - SEDECA-CHARAJA	91
TABLA 3.1.7 Peso Específico - SEDECA-TOLOMOSA	91
TABLA 3.1.8 Peso Específico - ACV-EL MOLINO.....	91
TABLA 3.1.9 Peso Unitario - HAM-LA PINTADA	93
TABLA 3.1.10 Peso Unitario - SEDECA-CHARAJA	93
TABLA 3.1.11 Peso Unitario - SEDECA-TOLOMOSA.....	93
TABLA 3.1.12 Peso Unitario - ACV-EL MOLINO	93
TABLA 3.1.13 Número de Esferas Para Ensayo de Abrasión	94
TABLA 3.1.14 Peso de los Agregados para Ensayo de Abrasión.....	94
TABLA 3.1.15 Porcentaje de Desgaste - HAM-LA PINTADA	95
TABLA 3.1.16 Porcentaje de Desgaste - SEDECA-CHARAJA	96
TABLA 3.1.17 Porcentaje de Desgaste - SEDECA-TOLOMOSA	96

TABLA 3.1.18 Porcentaje de Desgaste - ACV-EL MOLINO	96
TABLA 3.1.19 Equivalente de Arena para las Muestras Analizadas.....	98
TABLA 3.1.20 Cantidades y Tamices a usar en ensayo de Durabilidad.....	99
TABLA 3.1.21 Porcentaje de Pérdida por Sulfatos en Muestras Analizadas.....	101
TABLA 3.1.22 Porcentaje de Caras Fracturadas en Muestras Analizadas	102
TABLA 3.2.1 Penetración en Muestras Asfálticas Analizadas	105
TABLA 3.2.2 Peso Específico de las Muestras Asfálticas Analizadas	107
TABLA 3.2.3 Ductilidad en Muestras Analizadas.....	108
TABLA 3.2.4 Punto de Inflamación en Muestras Analizadas	110
TABLA 3.2.5 Punto de Combustión en Muestras Analizadas	110
TABLA 3.2.6 Película Delgada en Muestras Analizadas.....	111
TABLA 3.2.7 Punto de Reblandecimiento en Muestras Analizadas.....	114
TABLA 3.2.8 Recuperación Elástica en Muestra Analizada	116
TABLA 3.3.1 Granulometría de los Agregados Especificado por Norma.....	117
TABLA 3.3.2 Porcentajes Granulométricos Planteados - HAM-LA PINTADA.....	118
TABLA 3.3.3 Porcentajes Granulométricos Planteados - SEDECA-CHARAJA.....	119
TABLA 3.3.4 Porcentajes Granulométricos Planteados SEDECA-TOLOMOSA	120
TABLA 3.3.5 CURVA GRANULOMÉTRICA FAJA B SEDECA-TOLOMOSA	120
TABLA 3.3.6 Porcentajes Granulométricos Planteados - ACV-EL MOLINO	121
TABLA 3.3.7 CURVA GRANULOMÉTRICA FAJA B - ACV-EL MOLINO	121
TABLA 3.3.8 Resultados del Diseño Marshall - HAM-LA PINTADA	128
TABLA 3.3.9 Resultados del Diseño Marshall – SEDECA-CHARAJA.....	128
TABLA 3.3.10 Resultados del Diseño Marshall – SEDECA-TOLOMOSA.....	129
TABLA 3.3.11 Resultados del Diseño Marshall - ACV-EL MOLINO	129

TABLA 3.4.1 Resultados del Análisis de Vacíos por Tomografía en Briquetas HAM- LAPINTADA	137
TABLA 3.4.2 Resultados del Análisis de Vacíos por Tomografía en Briquetas SEDECA-CHARAJA	138
TABLA 3.4.3 Resultados del Análisis de Vacíos por Tomografía en Briquetas SEDECA-TOLOMOSA	139
TABLA 3.4.4 Resultados del Análisis de Vacíos por Tomografía en Briquetas ACV-EL MOLINO.....	140
TABLA 3.4.5 Resultados del Análisis de Vacíos en Núcleos HAM-LA PINTADA	141
TABLA 3.4.6 Resultados del Análisis de Vacíos en Núcleos SEDECA-CHARAJA	141
TABLA 3.4.7 Resultados del Análisis de Vacíos en Núcleos SEDECA-TOLOMOSA.....	142
TABLA 3.4.8 Resultado del Análisis de Vacíos en Núcleos ACV-EL MOLINO.....	142
TABLA 3.4.9 Resultado Análisis VAM de Briquetas HAM- LA PINTADA.....	146
TABLA 3.4.10 Resultados Análisis VAM de Briquetas SEDECA-CHARAJA	147
TABLA 3.4.11 Resultado del Análisis VAM de Briquetas SEDECA-TOLOMOSA	148
TABLA 3.4.12 Resultados del Análisis de Briquetas VAM ACV-EL MOLINO.....	149
TABLA 3.4.13 Resultado del Análisis VAM de Núcleos HAM-LA PINTADA	150
TABLA 3.4.14 Resultados del Análisis VAM de Núcleos SEDECA-CHARAJA	150
TABLA 3.4.15 Resultado del Análisis VAM de Núcleos SEDECA-TOLOMOSA.....	151
TABLA 3.4.16 Resultado del Análisis VAM de Núcleos ACV-EL MOLINO	151
TABLA 3.4.17 Resultados Análisis Contacto Agregado-Agregado HAM-LA PINTADA	155
TABLA 3.4.18 Resultados Análisis Contacto Agregado - Agregado SEDECA-CHARAJA	156

TABLA 3.4.19 Resultados Análisis Contacto Agregado - Agregado	
SEDECA-TOLOMOSA	157
TABLA 3.4.20 Resultados Análisis Contacto Agregado - Agregado	
ACV-EL MOLINO	158
TABLA 3.4.21 Resultados Análisis Contacto Agregado - Agregado en Núcleos	
HAM-LA PINTADA	159
TABLA 3.4.22 Resultados Análisis Contacto Agregado - Agregado en Núcleos	
SEDECA-CHARAJA	159
TABLA 3.4.23 Resultados Análisis Contacto Agregado-Agregado en Núcleos	
SEDECA-TOLOMOSA	160
TABLA 3.4.24 Resultados Análisis Contacto Agregado-Agregado en Núcleos	
ACV-EL MOLINO	160

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1.8.1. MUESTREO DE MATERIALES	8
CUADRO 1.8.2. PROCESO INVESTIGATIVO	9
CUADRO 1.8.3. ESQUEMA DE MUESTREO	10

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1.1 Curvas Granulométricas - HAM-LA PINTADA.....	83
Gráfica 3.1.2 Curvas Granulométricas - SEDECA-CHARAJA	84
Gráfica 3.1.3 Curvas Granulométricas - SEDECA-TOLOMOSA	85
Gráfica 3.1.4 Curvas Granulométricas -ACV-EL MOLINO.....	86
Gráfica 3.3.1 Curva Granulométrica FAJA B - HAM-LA PINTADA.....	118
Gráfica 3.3.2 Curva Granulométrica FAJA B - SEDECA-CHARAJA	119
Gráfica 3.4.1 Determinación del Rango de Valores Admisibles para el Análisis VAM	144
Gráfica 3.4.2 Aplicación del Filtro Binario y Obtención del %RBV	145
Gráfica 3.4.3 Contenido VAM en Código Binario	145
Gráfica 3.5.3.1 Porcentajes VAM para cada Muestra Analizada	164
Gráfica 3.5.4.1 Puntos de Contacto en las Muestras Analizadas.....	165
Gráfica 3.5.5.1 Análisis Estadístico VAM vs VACÍOS HAM-LA PINTADA.....	166
Gráfica 3.5.5.2 Análisis Estadístico VAM vs VACÍOS SEDECA-CHARAJA	167
Gráfica 3.5.5.3 Análisis Estadístico VAM vs VACÍOS SEDECA-TOLOMOSA	168
Gráfica 3.5.5.4 Análisis Estadístico VAM vs VACÍOS ACV-EL MOLINO.....	169
Gráfica 3.5.5.5 Análisis Estadístico Contacto Agregado vs Vacíos HAM-LA PINTADA	170
Gráfica 3.5.5.6 Análisis Estadístico Contacto Agregado vs Vacíos SEDECA-CHARAJA	171
Gráfica 3.5.5.7 Análisis Estadístico Contacto Agregado vs Vacíos SEDECA-TOLOMOSA	172
Gráfica 3.5.5.8 Análisis Estadístico Contacto Agregado vs Vacíos ACV-EL MOLINO.....	173

Gráfica 3.5.5.9 Análisis Estadístico Contacto Agregado vs VAM HAM-LA PINTADA	174
Gráfica 3.5.5.10 Análisis Estadístico Contacto Agregado vs VAM SEDECA-CHARAJA	175
Gráfica 3.5.5.11 Análisis Estadístico Contacto Agregado vs VAM SEDECA-TOLOMOSA	176
Gráfica 3.5.5.12 Análisis Estadístico Contacto Agregado vs VAM ACV-EL MOLINO	177
Gráfica 3.6.1.1 Porcentaje de Vacíos en Núcleos	178
Gráfica 3.6.2.1 Porcentajes VAM en Núcleos	180
Gráfica 3.6.3.1 Puntos de Contacto Agregado-Agregado en Núcleos	181
Gráfica 4.1.1 Porcentaje de Vacíos mediante TC-RX	183
Gráfica 4.1.2 Porcentaje de VAM mediante TC-RX	184
Gráfica 4.1.3 Puntos de contacto mediante TC-RX.....	185

ÍNDICE DE PROCEDIMIENTOS GRÁFICOS

Procedimiento Gráfico 3.1.1	Cuarteo mecánico de muestras.....	81
Procedimiento Gráfico 3.1.2	Granulometría de agregados	82
Procedimiento Gráfico 3.1.3	Peso específico en agregados gruesos.....	88
Procedimiento Gráfico 3.1.4	Peso específico en finos	90
Procedimiento Gráfico 3.1.5	Peso unitario de los agregados	92
Procedimiento Gráfico 3.1.6	Desgaste de los ángeles (abrasión).....	95
Procedimiento Gráfico 3.1.7	Equivalente de arena	98
Procedimiento Gráfico 3.1.8	Resistencia a sulfatos	100
Procedimiento Gráfico 3.1.9	Caras fracturadas.....	101
Procedimiento Gráfico 3.2.1	Penetración del asfalto	104
Procedimiento Gráfico 3.2.2	Peso específico asfáltico	106
Procedimiento Gráfico 3.2.3	Ductilidad del asfalto	107
Procedimiento Gráfico 3.2.4	Punto de inflamación y combustión.....	109
Procedimiento Gráfico 3.2.5	Ensayo de la película delgada	111
Procedimiento Gráfico 3.2.6	Punto de reblandecimiento.....	113
Procedimiento Gráfico 3.2.7	Recuperación elástica a 25° c.....	115
Procedimiento Gráfico 3.3.1	Elaboración de briquetas	122
Procedimiento Gráfico 3.3.2	Pesos específicos en briquetas asfálticas.....	126
Procedimiento Gráfico 3.3.3	Estabilidad y fluencia.....	127
Procedimiento Gráfico 3.4.1	Análisis tomográfico.....	131

CAPTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO DEL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS A PARTIR DE TOMOGRAFÍAS COMPUTARIZADAS DE RAYOS-X

CAPÍTULO III

INVESTIGACIÓN DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS A PARTIR DE TOMOGRAFÍAS COMPUTARIZADAS DE RAYOS-X

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO 2.

CARACTERIZACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

ANEXO 2.1

BETUNEL (HAM)

ANEXO 2.2

BETUPEN (SEDECA)

ANEXO 2.3

BETUFLEX (ACV)

ANEXO 3.

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MÉTODO MARSHALL

ANEXO 4.

PLANILLAS DE ANÁLISIS

ANEXO 4.1

PORCENTAJE DE VACÍOS

ANEXO 4.2

PORCENTAJE VAM

ANEXO 4.3

CONTACTO AGREGADO-AGREGADO

ANEXO 5.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANEXO 5.1

PORCENTAJE DE VACÍOS

ANEXO 5.2

PORCENTAJE VAM

ANEXO 5.3

CONTACTO AGREGADO-AGREGADO

ANEXO 6.

**TOMOGRAFÍAS
COMPUTARIZADAS**

ANEXO 6.1
(TC-RX)
PORCENTAJE DE VACÍOS

ANEXO 6.2
(TC-RX)
PORCENTAJE VAM

ANEXO 6.3

(TC-RX)

CONTACTO

AGREGADO-AGREGADO