

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“CARACTERIZAR Y ESTABLECER LAS PROPIEDADES DE LOS
LIGANTES ASFÁLTICOS UTILIZADOS EN NUESTRO MEDIO A
TRAVÉS DEL MÉTODO UCL”**

Por:

INOCENCIO ALEJANDRO ACUÑA MENDOZA

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

Julio de 2014

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIAS:

Este trabajo lo dedico a mi padre por inculcarme buenos valores y que desde el más allá sé que me bendigo en todo momento, a mi madre por su apoyo, esfuerzo, sacrificio, y ser la luz de mi camino, a mis hermanos que siempre estuvieron ahí para brindarme su apoyo incondicional.

ÍNDICE

Dedicatorias
Agradecimientos
Pensamiento
Resumen

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. JUSTIFICACION.....	3
1.3. PROBLEMA	4
1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. ALCANCE	6
1.6. LIMITACIONES.....	8

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS

	Página
2.1 GENERALIDADES DE LOS ASFALTOS.....	9
2.1.1 Definición del Asfalto.....	10
2.1.2 Composición y Estructura de los Asfaltos	10
2.1.3 Obtención del Asfalto	11

2.2	PROPIEDADES FÍSICAS	12
2.2.1	Densidad.....	12
2.2.2	Índice de Penetración	12
2.2.3	Viscosidad.....	13
2.2.4	Volatilidad.....	15
2.2.5	Solubilidad	15
2.2.6	Adhesión y Cohesión	15
2.2.7	Susceptibilidad Térmica.....	15
2.2.8	Durabilidad.....	16
2.2.9	Endurecimiento y Envejecimiento	17
2.2.10	Permeabilidad.....	17
2.3	PROPIEDADES MECÁNICAS	17
2.3.1	Ductilidad.....	18
2.3.2	Fragilidad	19
2.3.3	Rigidez	19
2.4	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASFALTO	19
2.4.1	Asfaltenos.....	20
2.4.2	Maltenos.....	20
2.4.3.1	Resinas.....	21
2.4.3.2	Aromáticos	21
2.4.3.3	Saturados	21
2.5	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ASFALTOS SEGÚN SU CLASIFICACIÓN.....	21
2.5.1	Clasificación por el Grado de Viscosidad.....	21

2.5.2	Asfaltos Cutback o Asfáltos Rebajados	23
2.5.3	Asfaltos Cutback de curado Medio (MC)	24
2.5.4	Asfaltos Cutback de curado Lento (SC)	25
2.5.5	Asfaltos por penetración	26
2.6	ASFALTOS MODIFICADOS	27
2.6.1	Generalidades	27
2.6.2	Definición de Polímero	28
2.6.3	Polímeros Utilizados con Asfaltos	29
2.6.4	Compatibilidad con los Polímeros	30
2.7	CARACTERIZACIÓN DE LOS ASFALTOS	32
2.8	MÉTODOS CONVENCIONALES DE CARACTERIZACIÓN DE LOS LIGANTES ASFALTICOS	34
2.9	MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES UCL	35
2.9.1	Definición del Método UCL	35
2.9.2	Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste	35
2.9.2.1	Antecedentes	35
2.9.2.2	Fundamento y desarrollo del ensayo cántabro de perdida por desgaste para caracterización de mezclas de granulometría abierta.....	36
2.9.2.3	Valoración del ensayo cántabro de perdida por desgaste.....	42
2.9.2.4	Sensibilidad del ensayo	44
2.9.3	Descripción General del Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL)	45
2.9.4	Aplicación del Método Universal de Caracterización de Ligantes.....	46
2.9.5	Descripción de las Propiedades Evaluadas	48
2.9.5.1	Cohesión.....	48

2.9.5.2	Susceptibilidad térmica	49
2.9.5.3	Adhesividad árido ligante.....	49
2.9.5.4	Envejecimiento	50
2.9.6	Mezcla Patrón del Método UCL	51
2.9.7	Adaptación del Ensayo.....	53

CAPÍTULO III

ASPECTOS GENERALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y AGREGADOS PÉTREOS

	Página	
3.1	DEFINICIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	54
3.2	EMPLEO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS	54
3.3	CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	55
3.3.1	Densidad.....	55
3.3.2	Vacíos de Aire.....	55
3.3.3	Vacíos en el Agregado Mineral	56
3.3.4	Contenido de Asfalto	57
3.3.5	Resistencia a la Deformación Permanente.....	57
3.3.6	Resistencia a la Fatiga.....	59
3.3.7	Durabilidad.....	59
3.3.8	Impermeabilidad	60
3.3.9	Resistencia al Deslizamiento	61
3.3.10	Estabilidad.....	62

3.3.11	Flexibilidad	62
3.3.12	Trabajabilidad	63
3.4	CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	64
3.4.1	Por Fracciones de Agregado Pétreo Empleado	64
3.4.1.1	Masillas	64
3.4.1.2	Mortero asfáltico	65
3.4.1.3	Concreto asfáltico.....	65
3.4.1.4	Macadam	65
3.4.2	Por la Temperatura de Puesta en Obra.....	65
3.4.2.1	Mezclas asfálticas en caliente.....	65
3.4.2.2	Mezclas asfálticas en frío	66
3.4.3	Por la Proporción de Vacíos en la Mezcla Asfáltica.....	66
3.4.3.1	Mezclas cerradas o densas.....	66
3.4.3.2	Mezcla semi-cerradas o semi-densas	66
3.4.3.3	Mezclas abiertas	67
3.5	AGREGADOS PÉTREOS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	67
3.5.1	Definición de Agregados Pétreos.....	68
3.5.2	Naturaleza Petrológica de los Agregados Pétreos.....	69
3.5.2.1	Agregados ígneos y metamórficos	69
3.5.2.2	Agregados sedimentarios	70
3.5.2.3	Agregados calizos.....	70
3.5.2.4	Agregados silíceos.....	70
3.5.3	Tipos de Agregados Pétreos Según su Origen	71

3.5.3.1	Agregados naturales	71
3.5.3.2	Agregados de trituración	71
3.5.3.3	Agregados artificiales.....	71
3.5.3.4	Agregados marginales	71
3.5.4	Ensayos de Caracterización a los Agregados para Mezcla Asfáltica.....	72

CAPÍTULO IV

INVESTIGACIÓN SOBRE LA APLICABILIDAD DEL MÉTODO UCL EN LA CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS

	Página	
4.1	TOMA DE MUESTRAS PARA LA INVESTIGACIÓN	73
4.1.1	Muestras del Agregado Pétreo	73
4.1.2	Muestras de los Ligantes Asfálticos.....	73
4.1.2.1	Muestra 1 asfalto convencional 85/100 Ipiranga (Brasil)	73
4.1.2.2	Muestra 2 asfalto convencional 85/100 Betunel (Brasil)	74
4.1.2.3	Muestra 3 Asfalto Modificado 60/85 Betuflex (Brasil)	74
4.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	75
4.3	CARACTERIZACIÓN DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS POR LOS MÉTODOS CONVENCIONALES	77
4.4	ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS MARSHALL DE ACUERDO CON EL MÉTODO A-0615 “MÉTODO PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE”	79
4.5	DESARROLLO DE LA CARACTERIZACIÓN POR EL MÉTODO UCL ..	83

4.5.1	Aplicación a la Medida de la Cohesión	83
4.5.2	Aplicación a la Medida de la Susceptibilidad Térmica.....	87
4.5.3	Aplicación a la Medida de la Adhesividad Árido-Ligante	91
4.5.4	Aplicación a la Medida del Envejecimiento	95
4.6	Análisis de Resultados Obtenidos del Procedimiento UCL	99
4.6.1	Análisis del Resultado de la Cohesión.....	100
4.6.2	Análisis del resultado de la susceptibilidad térmica	101
4.6.3	Análisis del resultado de la adherencia árido-ligante.....	104
4.6.4	Análisis del resultado del envejecimiento.....	107

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página	
5.1	CONCLUSIONES.....	110
5.2	RECOMENDACIONES	112

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS

	Página
FIGURA 2. 1 PROCESO DE DESTILACIÓN DEL PETRÓLEO	11
FIGURA 2. 2 ENSAYO DE PENETRACIÓN.....	13
FIGURA 2. 3 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD RELATIVA.....	14
FIGURA 2. 4 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA.....	14
FIGURA 2. 5 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO.....	16
FIGURA 2. 6 ENSAYO DE DUCTILIDAD	18
FIGURA 2. 7 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASFALTO	20
FIGURA 2. 8 COMPATIBILIDAD CON POLÍMEROS.....	31
FIGURA 2. 9 VARIACIÓN DE LA COHESIÓN HVEEM EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE LIGANTE. 25°C.....	38
FIGURA 2. 10 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA. VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE ROTURA CON LA VELOCIDAD DEL ENSAYO Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. 15 °C.....	40
FIGURA 2. 11 ESTABILIDAD MARSHALL.....	41
FIGURA 2. 12 DEFORMACIÓN MARHALL	41
FIGURA 2. 13 DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA POR DESGASTE: ENSAYO CÁNTABRO	43
FIGURA 2. 14 INFLUENCIA DE LA FRACCIÓN FINA Y DEL PORCENTAJE DE LIGANTE EN LA PÉRDIDA POR DESGASTE	44
FIGURA 2. 15 INFLUENCIA DE LOS PORCENTAJES DE FILLER Y DE LIGANTE EN LA PÉRDIDA POR DESGASTE	45
FIGURA 2. 16 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS.....	49
FIGURA 2. 17 CURVA DE ENVEJECIMIENTO.....	50

FIGURA 2. 18 MEZCLA PATRÓN DEL MÉTODO UCL.....	52
--	----

CAPÍTULO III

ASPECTOS GENERALES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y AGREGADOS PÉTREOS

	Página
FIGURA 3. 1 ESTRUCTURA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	56
FIGURA 3. 2 AHUELLAMIENTO DE UNA SUBRASANTE DÉBIL.....	58
FIGURA 3. 3 AHUELLAMIENTO DE UNA MEZCLA DÉBIL	58
FIGURA 3. 4 TIPOS DE AGREGADO Y SU CLASIFICACIÓN.....	69

CAPÍTULO IV

INVESTIGACIÓN SOBRE LA APLICABILIDAD DEL MÉTODO UCL EN LA CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS

	Página
FIGURA 4. 1 CALENTADO DE LA MUESTRA Y DE LOS MOLDES.....	81
FIGURA 4. 2 CALENTADO DEL AGREGADO Y PESADA DE LA MEZCLA...81	
FIGURA 4. 3 PROCESO DE MEZCLADO 160° C Y ENFRIADO HASTA 135° C	82
FIGURA 4. 4 VACIADO AL MOLDE PARA COMPACTAR Y BRIQUETAS COMPACTADAS.....	82
FIGURA 4. 5 DESMOLDADO DE LA BRIQUETA	83
FIGURA 4. 6 MEDIDA DE LA COHESIÓN	85
FIGURA 4. 7 BRIQUETAS SOMETIDAS A TEMPERATURAS EXTREMAS.....	88
FIGURA 4. 8 BRIQUETAS EN INMERSIÓN A E INMERSIÓN B	93
FIGURA 4. 9 COMPORTAMIENTO DE LA COHESIÓN	100
FIGURA 4. 10 COMPORTAMIENTO DE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA.	103

FIGURA 4. 11 COMPORTAMIENTO DE LA ADHERENCIA (ASFALTO IPIRANGA).....	105
FIGURA 4. 12 COMPORTAMIENTO DE LA ADHERENCIA (ASFALTO BETUNEL)	105
FIGURA 4. 13 COMPORTAMIENTO DE LA ADHERENCIA (ASFALTO MODIFICADO)	106
FIGURA 4. 14 COMPORTAMIENTO DE LA ADHERENCIA DE LOS TRES ASFALTOS ENSAYADOS.....	106
FIGURA 4. 15 COMPORTAMIENTO DEL ENVEJECIMIENTO	108

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS

	Página
TABLA 2. 1 REQUISITOS PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD (CALIFICACIÓN BASADA EN ASFALTO ORIGINAL).....	22
TABLA 2. 2 REQUISITOS PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60° C (CLASIFICACIÓN BASADA EN EL RESIDUO DE ENSAYO RTFO)	23
TABLA 2. 3 CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS DE CURADO RÁPIDO (RC).....	24
TABLA 2. 4 CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS DE CURADO MEDIO (MC)	25
TABLA 2. 5 CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS DE CURADO LENTO (SC).....	26
TABLA 2. 6 CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS POR GRADO DE PENETRACIÓN	27
TABLA 2. 7 POLÍMEROS UTILIZADOS CON ASFALTOS.....	29
TABLA 2. 8 PROPIEDADES DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES ASFALTICOS.....	33
TABLA 2. 9 COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS UCL Y MARSHALL	48

TABLA 2. 10 GRANULOMETRÍAS ABIERTAS EMPLEADAS POR EL MÉTODO UCL	51
TABLA 2. 11 EQUIVALENCIAS DE LOS TAMICES UNE A LA NORMA ASTM	52

CAPÍTULO III

ASPECTOS GENERALES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y AGREGADOS PÉTREOS

	Página
TABLA 3. 1 CAUSAS Y EFECTOS DE UNA MALA RESISTENCIA A LA FATIGA	59
TABLA 3. 2 CAUSAS Y EFECTOS DE POCA DURABILIDAD	60
TABLA 3. 3 CAUSAS Y EFECTOS DE LA PERMEABILIDAD	61
TABLA 3. 4 CAUSAS Y EFECTOS DE INESTABILIDAD EN EL PAVIMENTO	62
TABLA 3. 5 CAUSAS Y EFECTOS DE PROBLEMA EN LA TRABAJABILIDAD	63
TABLA 3. 6 CLASIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	64

CAPÍTULO IV

INVESTIGACIÓN SOBRE LA APLICABILIDAD DEL MÉTODO UCL EN LA CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS

	Página
TABLA 4. 1 RESUMEN DE MUESTRAS DE ASFALTO	75
TABLA 4. 2 TIPOS DE EMBACE PARA MUESTREO	75

TABLA 4. 3 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO DE TMN 3/8"	76
TABLA 4. 4 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO	76
TABLA 4. 5 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO IPIRANGA 85/100.....	77
TABLA 4. 6 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO BETUNEL 85/100.....	78
TABLA 4. 7 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO MODIFICADO 60/85 CON POLÍMERO TIPO SBS	78
TABLA 4. 8 PORCENTAJE DE VACÍOS DE LAS BRIQUETAS ANALIZADAS	84
TABLA 4. 9 PERDIDAS AL CÁNTABRO A 25° C Y DIFERENTES GRADOS DE SEVERIDAD (ASFALTO IPIRANGA).....	85
TABLA 4. 10 PERDIDAS AL CÁNTABRO A 25° C Y DIFERENTES GRADOS DE SEVERIDAD (ASFALTO BETUNEL)	86
TABLA 4. 11 PERDIDAS AL CÁNTABRO A 25° C Y DIFERENTES GRADOS DE SEVERIDAD (ASFALTO MODIFICADO).....	86
TABLA 4. 12 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES TEMPERATURAS (ASFALTO IPIRANGA)	89
TABLA 4. 13 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES TEMPERATURAS (ASFALTO BETUNEL)	90
TABLA 4. 14 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES TEMPERATURAS (ASFALTO MODIFICADO).....	91
TABLA 4. 15 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES ESTADOS DE INMERSIÓN (ASFALTO IPIRANGA)	93
TABLA 4. 16 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES ESTADOS DE INMERSIÓN (ASFALTO BETUNEL).....	94
TABLA 4. 17 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES ESTADOS DE INMERSIÓN (ASFALTO MODIFICADO).....	94

TABLA 4. 18 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES TIEMPOS DE ENVEJECIMIENTO (ASFALTO IPIRANGA).....	97
TABLA 4. 19 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTE TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO (ASFALTO BETUNEL).....	98
TABLA 4. 20 PERDIDAS AL CÁNTABRO A DIFERENTES TIEMPOS DE ENVEJECIMIENTO (ASFALTO MODIFICADO).....	99
TABLA 4. 21 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA COHESIÓN	100
TABLA 4. 22 RESUMEN DE RESULTADOS DE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA	102
TABLA 4. 23 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE ADHERENCIA ÁRIDO-LIGANTE.....	104
TABLA 4. 24 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO.....	108