

**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

	<b>Página</b>
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

	<b>Página</b>
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 pérdida por desgaste para caracterización de mezclas de granulometría abierta .....	36
2.9.2.3	Valoración del ensayo cántabro de pérdida 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**

	<b>Página</b>	
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**

		<b>Página</b>
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

	<b>Página</b>	
5.1	CONCLUSIONES.....	110
5.2	RECOMENDACIONES .....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

#### ASPECTOS GENERALES DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS

	<b>Página</b>
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**

	<b>Página</b>
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**

	<b>Página</b>
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

	<b>Página</b>
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**

	<b>Página</b>
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**

	<b>Página</b>
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