

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



“ANÁLISIS DE LA COMPATIBILIDAD DE LOS AGREGADOS GRUESOS  
UTILIZADOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE EL MÉTODO  
UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES (UCL)”

**Por:**

FABIAN MARTINEZ DUCHEN

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

**SEMESTRE II – 2024**

**TARIJA - BOLIVIA**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Facundo Martínez y Cristina Duchén, que, con su afecto, apoyo ilimitado e incondicional, fue el principal cimiento para la construcción de mi formación profesional... no hay palabras en este mundo para agradecerles.

## ÍNDICE GENERAL

### CAPÍTULO I

#### GENERALIDADES

	<b>Página</b>
1.1.INTRODUCCIÓN .....	1
1.2.ANTECEDENTES .....	2
1.3.JUTIFICACIÓN .....	6
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	6
1.4.1. Situación problemática .....	6
1.4.2. Formulación del problema.....	7
1.5.OBJETIVOS .....	7
1.5.1.Objetivo general.....	7
1.5.2.Objetivos específicos.....	7
1.6. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS Y SUS VARIABLES.....	7
1.6.1. Formulación de la hipótesis .....	7
1.6.2. Conceptualización y operacionalización de variables .....	7
1.7.ALCANCE .....	9

### CAPÍTULO II

#### FUNDAMENTO TEÓRICO

	<b>Página</b>
2.1. PAVIMENTOS.....	10
2.2. CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS .....	10
2.3. MATERIALES DE LA CARPETA ASFÁLTICA .....	13
2.4. CEMENTO ASFÁLTICO .....	14
2.5. MEZCLAS ASFÁLTICAS. ....	22

2.6. COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICOS.....	23
2.7. MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES.....	24
2.8. MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA.....	27
2.9.MARCO NORMATIVO. ....	30
2.9.1.Ensayo de los agregados.....	30
2.9.2. Ensayos del cemento asfáltico.....	51
2.9.3. Ensayos finales. ....	65

### **CAPÍTULO III**

#### **RELEVAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

	<b>Página</b>
3.1.UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL BANCO DE PRÉSTAMO Y CHANCADORA DE LOS AGREGADOS.....	74
3.2.DETERMINACIÓN DE CRITERIOS METODOLÓGICOS.....	75
3.2.1.Unidad de muestra. ....	76
3.2.2.Población. ....	76
3.2.3.Muestra definida. ....	76
3.3.CÁLCULO DE TAMAÑO DE MUESTRA. ....	76
3.4.CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS.....	77
3.4.1.Granulometría. ....	77
3.4.2.Desgaste de los ángeles. ....	80
3.4.3.Peso específico y constante de absorción. ....	80
3.4.4.Superficie específica.....	81
3.5.CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS. ....	82
3.5.1.Penetración. ....	82
3.5.2.Punto de ablandamiento.....	82

3.5.3.Ductilidad. ....	82
3.5.4.Peso específico.....	83
3.5.5.Punto de inflamación y combustión. ....	83
3.5.6.Resumen de resultados del cemento asfálticos. ....	84
3.6.PRUEBAS DE CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO.....	85
3.6.1.Granulometría del agregado para mezclas asfálticas abiertas .....	85
3.6.2.Dosificación para el diseño de mezclas asfálticas de granulometría abierta. ....	87
3.6.3.Diseño de mezclas asfálticas abiertas. ....	90
3.6.4.Dosificación para las briquetas de mezclas con granulometría abierta .....	91
3.6.5.Densidad y Rotura de Briquetas. ....	94
3.7. MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES.....	95
3.7.1.Caracterización de las mezclas asfálticas abiertas por el método UCL.....	95

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DEBATE DE LOS RESULTADOS.**

	<b>Página</b>
4.1.ANÁLISIS DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO .....	97
4.2.ANÁLISIS DEL USO Y NIVEL DE TRÁNSITO DEL DISEÑO .....	99
4.3.ORGANIZACIÓN DE LA PLANILLA RESUMEN DE RESULTADOS. ....	101
4.4.CURVA DE FRECUENCIAS E HISTOGRAMA.....	102
4.5.ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	103
4.5.1.Valores de tendencia central. ....	103
4.5.2.Valores de dispersión.....	103
4.6.ESTADÍSTICA INFERENCIAL .....	105
4.6.1.Precisión, rango de confianza y valor aceptado.....	105
4.7.PRUEBA DE HIPÓTESIS. ....	106

4.7.1.Conversión de la hipótesis de investigación a hipótesis alternativa. ....	106
4.7.2.Procedimiento de prueba comparando medias. ....	106

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

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

### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

ANEXO I	CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS
ANEXO II	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO
ANEXO III	DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA
ANEXO IV	ENSAYO FINAL POR EL MÉTODO UCL

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1</b> Operacionalización de la variable .....	8
<b>Tabla 2</b> Historia del Asfalto .....	14
<b>Tabla 3</b> Composición química del asfalto .....	16
<b>Tabla 4</b> Normas AASHTO Y ASTM aplicables a asfaltos .....	21
<b>Tabla 5</b> Granulometría patrón .....	25
<b>Tabla 6</b> Niveles de tránsito.....	27
<b>Tabla 7</b> Requisitos de los agregados para mezcla abierta en caliente .....	28
<b>Tabla 8</b> Franjas granulométricas para la mezcla abierta en caliente .....	29
<b>Tabla 9</b> Tamaño de tamices nominales .....	36
<b>Tabla 10</b> Tamaño de la muestra de ensaye del árido fino .....	37
<b>Tabla 11</b> Tamaño de la muestra de ensaye del árido grueso .....	38
<b>Tabla 12</b> Grados de ensaye (definidos por sus rangos de tamaño, en mm) .....	44
<b>Tabla 13</b> Superficie específica según tamaño de partículas.....	46
<b>Tabla 14</b> Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal del árido .....	49
<b>Tabla 15</b> Condiciones para ensayos especiales .....	56
<b>Tabla 16</b> Valores de corrección del punto de inflamación y punto de combustión .....	62
<b>Tabla 17</b> Ensayos de la investigación .....	75
<b>Tabla 18</b> Calculo del número de muestra.....	77
<b>Tabla 19</b> Granulometría grava triturada (muestra 1).....	78
<b>Tabla 20</b> Granulometría gravilla (muestra 1).....	79
<b>Tabla 21</b> Granulometría de la arena (muestra 1).....	79
<b>Tabla 22</b> Desgaste de grava triturada (muestra 1).....	80
<b>Tabla 23</b> Peso específico de la grava triturada.....	80
<b>Tabla 24</b> Superficie específica grava triturada (Muestra 1).....	81
<b>Tabla 25</b> Resultados de equivalente de arena.....	82
<b>Tabla 26</b> Resultados de Caracterización del C.A. 85/100.....	84
<b>Tabla 27</b> Franjas granulométricas para la mezcla abierta en caliente .....	85
<b>Tabla 28</b> Porcentaje pasa para cumplir las franjas granulométricas de mezclas abiertas.....	86
<b>Tabla 29</b> Dosificación 1 .....	87

<b>Tabla 30</b> Cumplimiento de las franjas granulométrica de mezclas abiertas dosif. 1 .....	87
<b>Tabla 31</b> Dosificación 2 .....	88
<b>Tabla 32</b> Cumplimiento de las franjas granulométrica de mezclas abiertas dosif. 2 .....	88
<b>Tabla 33</b> Dosificación 3 .....	89
<b>Tabla 34</b> Cumplimiento de las franjas granulométrica de mezclas abiertas dosif. 3 .....	89
<b>Tabla 35</b> Porcentaje de asfalto calculado para el diseño .....	90
<b>Tabla 36</b> Porcentaje tentativo en gramos .....	90
<b>Tabla 37</b> Porcentaje de mezclas asfálticas efectivo .....	91
<b>Tabla 38</b> Dosificación briquetas 1.....	91
<b>Tabla 39</b> Cumplimiento de granulometría de mezclas abiertas dosif. briquetas 1.....	91
<b>Tabla 40</b> Dosificación briquetas 2.....	92
<b>Tabla 41</b> Cumplimiento de granulometría de mezclas abiertas dosif. briquetas 2.....	92
<b>Tabla 42</b> Dosificación briquetas 3.....	93
<b>Tabla 43</b> Cumplimiento de granulometría de mezclas abiertas dosif. briquetas 3.....	93
<b>Tabla 44</b> Densidad y rotura de briquetas.....	94
<b>Tabla 45</b> Dosificación óptima para el ensayo final UCL .....	95
<b>Tabla 46</b> Franjas granulométricas de mezclas abiertas para dosificación optima.....	95
<b>Tabla 47</b> Ensayo UCL con briquetas conservadas en aire a 25°C .....	96
<b>Tabla 48</b> Criterio de diseño de mezclas Marshall. ....	99
<b>Tabla 49</b> Criterios de comprobación del diseño volumétrico de la fórmula de trabajo ..	99
<b>Tabla 50</b> Niveles de tránsito.....	100
<b>Tabla 51</b> Resultados del método UCL .....	101
<b>Tabla 52</b> Distribución de frecuencia y clase .....	102
<b>Tabla 53</b> Distribución de frecuencias de datos agrupados .....	102
<b>Tabla 54</b> Valores medios.....	103
<b>Tabla 55</b> Valores de dispersión .....	103
<b>Tabla 56</b> Cálculos de las medias de dispersión .....	104
<b>Tabla 57</b> Datos para el rango de confianza .....	105
<b>Tabla 58</b> Limites de intervalo.....	105
<b>Tabla 59</b> Nivel de significancia.....	106
<b>Tabla 60</b> Calculo de estadístico de t-Student .....	107



<b>Tabla 61</b> Distribución de t- Student .....	108
--	-----

### ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> Proceso de refinación del petróleo para obtención del asfalto .....	16
<b>Figura 2</b> Comportamiento del asfalto.....	18
<b>Figura 3</b> Ubicación satelital Google Earth.....	74

### ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Página</b>
<b>Gráfica 1</b> Curva granulométrica para los agregados de la mezcla asfáltica abierta.....	86
<b>Gráfica 2</b> Histograma y polígono de frecuencia .....	102
<b>Gráfica 3</b> Polígono de frecuencias acumuladas .....	103