

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



**ANÁLISIS DE CONTROL DE ADHERENCIA ENTRE**  
**CEMENTO ASFÁLTICO Y AGREGADO TRITURADO**  
**MEDIANTE EL MÉTODO DE TRACCIÓN INDIRECTA**

**Realizado por:**

**ALEIDA LINSEY MARTINEZ RIOS**

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

**SEMESTRE I – 2019**

**TARIJA-BOLIVIA**

### **ADVERTENCIA**

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta responsabilidad del autor.

**DEDICATORIA:**

A Dios quien es mi guía en todo momento; a mi madre: Blanca Ríos por la comprensión, por su amor, esfuerzo y apoyo en todo momento, a mi abuela Carmen Romero quien es mi ángel y me cuida desde el cielo.

**AGRADECIMIENTO:**

A Dios, a mis Hermanos, Familia, Docentes, Amigos (as), a todas las personas que siempre me estuvieron apoyando, dándome motivación e hicieron posible la realización de esta investigación.

**PENSAMIENTO:**

Nunca te rindas con las metas propuestas. La persona con grandes sueños es más poderosa que una con todos los hechos.

*Albert Einstein*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Advertencia  
Dedicatoria  
Agradecimiento  
Pensamiento  
Resumen

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

	Página
1. Generalidades .....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Diseño teórico.....	3
1.3.1. Situación problemática.....	3
1.4. Problema.....	4
1.5. Alcance de la investigación.....	4
1.6. Objetivos de la investigación.....	5
1.6.1. Objetivo general.....	5
1.6.2. Objetivos específicos.....	5
1.7. Hipótesis.....	5
1.8. Definición de las variables independientes y dependientes.....	6
1.8.1. Variable independiente.....	7
1.8.2. Variable dependiente.....	8
1.9. Diseño metodológico.....	8
1.9.1. Componentes.....	8
1.10. Métodos y técnicas empleadas.....	10

	Página
1.11. Tratamiento estadístico.....	11
1.11.1. Selección de programa a utilizar.....	14
1.11.2. Estadística descriptiva.....	14

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN**

	Página
2. Marco Teórico.....	17
2.1 Pavimentos.....	17
2.1.1 Pavimento flexible.....	17
2.2 Cemento asfáltico.....	18
2.2.1 Clasificación.....	19
2.3 Material pétreo.....	19
2.3.1 Tipos de agregados o áridos utilizados en las mezclas asfálticas.....	20
2.3.2. Ensayos de caracterización de agregados.....	23
2.4. Mezcla asfáltica.....	25
2.4.1. Empleo de las mezclas asfálticas.....	26
2.4.2. Clasificación de mezclas asfálticas.....	27
2.4.3. Propiedades de las mezclas asfálticas.....	28
2.5. Ensayo Marshall.....	29
2.5.1. Diseño Marshall de mezclas asfálticas.....	31
2.6. Ensayo de tracción indirecta.....	33
2.6.1. Ecuaciones a utilizar para el cálculo de resistencia conservada.....	34
2.7. Marco normativo.....	36

2.7.1. Caracterización de los materiales asfálticos.....	36
--	----

### **CAPÍTULO III**

#### **RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

	Página
3. Relevamiento de la información.....	39
3.1. Criterios a utilizarse.....	39
3.1.1. Criterio de la selección de banco de materiales.....	39
3.1.2. Criterio de la selección de cemento asfáltico.....	48
3.1.3. Criterio de número de ensayos a realizarse.....	48
3.2. Ensayo de los agregados.....	52
3.2.1. Granulometrías (ASTM C-71) .....	53
3.2.2. Densidad aparente (ASTM C-29) .....	62
3.2.3. Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM D-127).....	72
3.2.4. Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM D-128) .....	76
3.2.5. Abrasión del agregado grueso máquina de los ángeles (ASTM C-131).....	81
3.2.6. Equivalente de la arena (ASTM D 2419).....	85
3.2.7. Durabilidad método de los sulfatos (AASHTO T-104).....	88
3.2.8. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D5821).....	96
3.3. Tabla de resultados de la caracterización de los agregados.....	100
3.4. Ensayo del ligante asfáltico.....	101
3.4.1. Peso específico (ASTM D-70) .....	101
3.4.2. Punto de inflamación (ASTM D-92). .....	103
3.4.3. Ensayo de penetración (ASTM D-5). .....	105
3.4.4. Punto de ablandamiento anillo y bola (ASTM D 36) .....	107



3.5.	Tabla de resultados de la caracterización del cemento asfáltico 85-100....	109
------	--	-----

## **CAPÍTULO IV**

### **APLICACIÓN DEL MÉTODO DE TRACCIÓN INDIRECTA**

	Página	
4.	Diseño para realizar el análisis de control de adherencia entre el cemento cemento asfáltico y agregado triturado.....	110
4.1.	Diseño Marshall 1 chancadora Garzón.....	110
4.1.1.	Mezcla de los agregados.....	110
4.1.2.	Dosificación para el diseño Marshall.....	111
4.2.	Diseño Marshall 2 chancadora Erika.....	114
4.2.1.	Mezcla de los agregados.....	114
4.2.2.	Dosificación para el diseño Marshall.....	115
4.3.	Diseño Marshall 3 chancadora SEDECA.....	118
4.3.1.	Mezcla de los agregados.....	118
4.3.2.	Dosificación para el diseño Marshall.....	119
4.4.	Fabricación de las briquetas y ensayo Marshall.....	122
4.5.	Ensayo a realizarse en las briquetas.....	125
4.6.	Estabilidad y fluencia.....	125
4.7.	Datos obtenidos del ensayo Marshall.....	142
4.7.1.	Datos obtenidos del ensayo Marshall N° 1 chancadora Garzón.....	142
4.7.2.	Datos obtenidos del ensayo Marshall N° 2 chancadora Erika.....	143
4.7.3.	Datos obtenidos del ensayo Marshall N° 3 chancadora SEDECA.....	144
4.8.	Planilla de los resultados.....	145
4.9.	Análisis de control de adherencia entre agregado triturado y cemento Asfáltico mediante el ensayo de tracción indirecta.....	146

4.9.1. Fabricación de briquetas para el análisis de control de adherencia con diferentes agregados triturados y porcentajes óptimos de asfalto método tracción indirecta.....	146
4.10. Planilla de resultados .....	157
4.10.1. Planilla de valores de adherencia método tracción indirecta.....	158
4.10.2. Planilla de valores de adherencia método tracción indirecta.....	159
4.10.3. Planilla de valores de adherencia método tracción indirecta.....	160
4.11. Tratamiento estadístico.....	166
4.12. Validación de hipótesis.....	197
4.13. Como se aplicaría el método de tracción indirecta para determinar la adherencia entre cemento asfáltico y agregado triturado.....	202
4.13.1. Determinación de costos de cada diseño.....	202
4.13.2. Especificación técnica.....	202

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.....	216
5.2. Recomendaciones.....	219

#### Bibliografía

#### Anexos

#### Anexos I. Fotografías

#### Anexos II. Memoria de cálculo

#### Anexos III. Planilla de ensayos

#### Anexos IV. Planillas de cálculo estadístico

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1: Variable independiente.....	7
Tabla 1.2: Variable dependiente.....	8
Tabla 1.3: Muestreo.....	9
Tabla 1.4: Valores del nivel de confianza z de acuerdo al tipo de camino.....	13
Tabla 2.1: Planilla de clasificación de agregados según SUCS.....	22
Tabla 2.2: Planilla de criterios de diseño Marshall.....	31
Tabla 3.1: Faja de trabajo de mezclas asfálticas.....	48
Tabla 3.2: Número de briquetas según la variación de porcentaje de cemento asfáltico para encontrar el óptimo de asfalto del diseño Marshall 1.....	51
Tabla 3.3: Número de briquetas según la variación de porcentaje de cemento asfáltico para encontrar el óptimo de asfalto del diseño Marshall 2.....	51
Tabla 3.4: Número de briquetas según la variación de porcentaje de cemento asfáltico para encontrar el óptimo de asfalto del diseño Marshall 3.....	52
Tabla 3.5: Granulometría 1 grava chancadora Garzón.....	53
Tabla 3.6: Granulometría 1 gravilla chancadora Garzón.....	54
Tabla 3.7: Granulometría 1 arena chancadora Garzón.....	55
Tabla 3.8: Granulometría 2 grava chancadora Erika.....	56
Tabla 3.9: Granulometría 2 gravilla chancadora Erika.....	57
Tabla 3.10: Granulometría 2 arena chancadora Erika.....	58
Tabla 3.11: Granulometría 3 grava chancadora SEDECA.....	59
Tabla 3.12: Granulometría 3 gravilla chancadora SEDECA.....	60
Tabla 3.13: Granulometría 3 arena chancadora SEDECA.....	61
Tabla 3.14: Densidad aparente suelta grava chancadora Garzón.....	63

Tabla 3.15: Densidad aparente compactada grava chancadora Garzón.....	63
Tabla 3.16: Densidad aparente suelta gravilla chancadora Garzón.....	64
Tabla 3.17: Densidad aparente compactada gravilla chancadora Garzón.....	64
Tabla 3.18: Densidad aparente suelta arena chancadora Garzón.....	65
Tabla 3.19: Densidad aparente compactada arena chancadora Garzón.....	65
Tabla 3.20: Densidad aparente suelta grava chancadora Erika.....	66
Tabla 3.21: Densidad aparente compactada grava chancadora Erika.....	66
Tabla 3.22: Densidad aparente suelta gravilla chancadora Erika.....	67
Tabla 3.23: Densidad aparente compactada gravilla chancadora Erika.....	67
Tabla 3.24: Densidad aparente suelta arena chancadora Erika.....	68
Tabla 3.25: Densidad aparente compactada arena chancadora Erika.....	68
Tabla 3.26: Densidad aparente suelta grava chancadora SEDECA.....	69
Tabla 3.27: Densidad aparente compactada grava chancadora SEDECA.....	69
Tabla 3.28: Densidad aparente suelta gravilla chancadora SEDECA.....	70
Tabla 3.29: Densidad aparente compactada gravilla chancadora SEDECA.....	70
Tabla 3.30: Densidad aparente suelta arena chancadora SEDECA.....	71
Tabla 3.31: Densidad aparente compactada arena chancadora SEDECA.....	71
Tabla 3.32: Peso específico y absorción de agregado grueso chancadora Garzón....	73
Tabla 3.33: Peso específico y absorción de agregado grueso chancadora Erika.....	74
Tabla 3.34: Peso específico y absorción de agregado grueso chancadora SEDECA.	75
Tabla 3.35: Peso específico y absorción de agregado fino chancadora Garzón.....	78
Tabla 3.36: Peso específico y absorción de agregado fino chancadora Erika.....	79
Tabla 3.37: Peso específico y absorción de agregado fino chancadora SEDECA....	80

Tabla 3.38: Desgaste la grava 3/4 " chancadora Garzón.....	82
Tabla 3.39: Desgaste de la gravilla 3/8 " chancadora Garzón.....	83
Tabla 3.40: Desgaste la grava 3/4" chancadora Erika.....	83
Tabla 3.41: Desgaste de la gravilla 3/8 " chancadora Garzón.....	84
Tabla 3.42: Desgaste la grava 3/4" chancadora SEDECA.....	84
Tabla 3.43: Desgaste de la gravilla 3/8" chancadora SEDECA.....	85
Tabla 3.44: Porcentaje de arena chancadora Garzón.....	87
Tabla 3.45: Porcentaje de arena chancadora Erika.....	87
Tabla 3.46: Porcentaje de arena chancadora SEDECA.....	88
Tabla 3.47: Durabilidad método de sulfatos agregado grueso chancadora Garzón...	90
Tabla 3.48: Durabilidad método de sulfatos agregado fino chancadora Garzón.....	91
Tabla 3.49: Durabilidad método de sulfatos agregado grueso chancadora Erika.....	92
Tabla 3.50: Durabilidad método de sulfatos agregado fino chancadora Garzón.....	93
Tabla 3.51: Durabilidad método de sulfatos agregado grueso chancadora SEDECA	94
Tabla 3.52: Durabilidad método de sulfatos agregado fino chancadora SEDECA...	95
Tabla 3.53: Porcentaje de partículas con caras fracturadas grava 3/4" chancadora Garzón.....	97
Tabla 3.54: Porcentaje de partículas con caras fracturadas gravilla 3/8 "chancadora Garzón.....	97
Tabla 3.55: Porcentaje de partículas con caras fracturadas grava 3/4" chancadora Erika .....	98
Tabla 3.56: Porcentaje de partículas con caras fracturadas gravilla 3/8" chancadora Erika.....	98
Tabla 3.57: Porcentaje de partículas con caras fracturadas grava 3/4" chancadora chancadora SEDECA.....	99

Tabla 3.58: Porcentaje de partículas con caras fracturadas gravilla 3/8" chancadora chancadora SEDECA.....	99
Tabla 3.59: Resultados de los áridos y comparaciones con la norma ASTM.....	100
Tabla 3.60: Peso específico del cemento asfáltico.....	102
Tabla 3.61: Punto de inflamación del cemento asfáltico.....	104
Tabla 3.62: Penetración del cemento asfáltico.....	106
Tabla 3.63: Punto de ablandamiento del cemento asfáltico.....	108
Tabla 3.64: Residuo de la película delgada del cemento asfáltico.....	108
Tabla 3.65: Resultados y comparaciones del cemento asfáltico.....	109
Tabla 4.1: Porcentajes de la granulometría para el diseño 1 chancadora Garzón....	111
Tabla 4.2: Porcentajes de la granulometría para el diseño 2 chancadora Erika.....	115
Tabla 4.3: Porcentajes de la granulometría para el diseño 3 chancadora SEDECA.....	119
Tabla 4.4: Planilla de diseño Marshall 1 chancadora Garzón.....	127
Tabla 4.5: Planilla de diseño Marshall 2 chancadora Erika.....	132
Tabla 4.6: Planilla de diseño Marshall 3 chancadora SEDECA.....	137
Tabla 4.7: Planilla de resultados diseño Marshall 1 chancadora Garzón.....	142
Tabla 4.8: Planilla de resultados diseño Marshall 2 chancadora Erika.....	143
Tabla 4.9: Planilla de resultados diseño Marshall 3 chancadora Sedea.....	144
Tabla 4.10: Planilla de valores de resistencia grupo seco chancadora Garzón.....	149
Tabla 4.11: Planilla de valores de resistencia grupo húmedo chancadora Garzón....	150
Tabla 4.12: Planilla de valores de resistencia grupo seco chancadora Erika.....	152
Tabla 4.13: Planilla de valores de resistencia grupo húmedo chancadora Erika.....	153
Tabla 4.14: Planilla de valores de resistencia grupo seco chancadora SEDECA....	155
Tabla 4.15: Planilla de valores de resistencia grupo húmedo chancadora SEDECA.....	156

Tabla 4.16: Planilla de valores de adherencia chancadora Garzón.....	157
Tabla 4.17: Planilla de valores de adherencia mezcla 2 chancadora Erika.....	158
Tabla 4.18: Planilla de valores de adherencia mezcla 2 chancadora Erika.....	159
Tabla 4.19: Planilla de resultados de adherencia de la mezcla 1, 2, 3.....	164
Tabla 4.20: Rendimiento de materiales para mezcla 1.....	202
Tabla 4.21: Costo de mezcla asfáltica chancadora Garzón.....	203
Tabla 4.22: Rendimiento de materiales para mezcla 2.....	204
Tabla 4.23: Costo de mezcla asfáltica chancadora Erika.....	205
Tabla 4.24: Rendimiento de materiales para mezcla 3.....	206
Tabla 4.25: Costo de mezcla asfáltica chancadora SEDECA.....	207

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
Fotografía 2.1: Agregado triturado.....	20
Fotografía 2.2: Serie de tamices para la realización de granulometría.....	23
Fotografía 3.1: Trituradora de agregado.....	40
Fotografía 3.2: Equipo de trituración.....	41
Fotografía 3.3: Bandas transportadoras del agregado.....	41
Fotografía 3.4: Primera trituradora.....	43
Fotografía 3.5: Trituradora de cono.....	43
Fotografía 3.6: Trituradora de cono vista lateral.....	44
Fotografía 3.7: Trituradora encargada del trabajo bruto.....	46
Fotografía 3.8: Cinta transportadora del agregado.....	46
Fotografía 3.9: Trituradora de cono.....	47
Fotografía 3.10: Almacenamiento del material triturado.....	47
Fotografía 3.11: Vertido del agregado grueso en la canastilla metálica.....	73
Fotografía 3.12: Muestra dentro de matraz de 500 ml.....	77
Fotografía 3.13: Material granular listo para tamizar en el tamiz N°12.....	82
Fotografía 3.14: Apartado de las partículas fracturas, canto rodado.....	96
Fotografía 3.15: Recipiente en baño maría con los picnómetros más muestra de asfalto.....	102
Fotografía 3.16: Calentado la muestra para el punto de inflamación.....	104
Fotografía 3.17: Penetración de la muestra.....	106
Fotografía 3.18: Punto de ablandamiento anillo y bola.....	108
Fotografía 4.1: Pesado de la muestra.....	124
Fotografía 4.2: Mezclado de la muestra de manera manual.....	124
Fotografía 4.3: Briquetas en baño maría a temperatura de 25 °C.....	126
Fotografía 4.4: Briquetas en baño maría a temperatura de 60 °C.....	126



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1: Flujo grama que se recomienda aplicar .....	13
Figura 2.1: Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada.....	25
Figura 2.2: Clasificación de las mezclas asfálticas por su temperatura de Fabricación.....	28
Figura 2.3: Prensa Marshall.....	31
Figura 2.4: Prensa de tracción indirecta.....	36
Figura 3.1: Vista satelital de la ubicación de la planta de agregados Garzón.....	40
Figura 3.2: Vista satelital de la ubicación de la planta de agregados Erika.....	42
Figura 3.3: Vista satelital de la ubicación de la planta de agregados SEDECA.....	45
Figura 3.4: Curva granulométrica 1 grava chancadora Garzón.....	54
Figura 3.5: Curva granulométrica 1 gravilla chancadora Garzón.....	55
Figura 3.6: Curva granulométrica 1 arena chancadora Garzón.....	56
Figura 3.7: Curva granulométrica 2 grava chancadora Erika.....	57
Figura 3.8: Curva granulométrica 2 gravilla chancadora Erika.....	58
Figura 3.9: Curva granulométrica 2 arena chancadora Erika.....	59
Figura 3.10: Curva granulométrica 3 grava chancadora SEDECA.....	60
Figura 3.11: Curva granulométrica 3 gravilla chancadora SEDECA.....	61
Figura 3.12: Curva granulométrica 3 arena chancadora SEDECA.....	62
Figura 4.1: Curva granulométrica del diseño 1 chancadora Garzón.....	111
Figura 4.2: Curva granulométrica del diseño 2 chancadora Erika.....	115
Figura 4.3: Curva granulométrica del diseño 3 chancadora SEDECA.....	119