

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



**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL LLENANTE MINERAL,  
GRAVILLA ARENOSA, PIEDRA CHANCADA Y NO CHANCADA  
EN LA RESPUESTA MECÁNICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS”**

**Por:**

**FREDDY ANIBAL HUARACHI LÓPEZ**

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

**Semestre II - 2022**

**TARIJA - BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL LLENANTE MINERAL,  
GRAVILLA ARENOSA, PIEDRA CHANCADA Y NO CHANCADA  
EN LA RESPUESTA MECÁNICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS”**

**Por:**

**FREDDY ANIBAL HUARACHI LÓPEZ**

**SEMESTRE II - 2022**

**TARIJA – BOLIVIA**

## **DEDICATORIA**

A DIOS, por ser el pilar fundamental en mi vida, por darme las fuerzas para seguir adelante, por iluminar mis acciones, guiar mi camino y darme la sabiduría para cumplir con mis metas planteadas.

A mis padres: Ladislao Huarachi y Valentina López, por su gran apoyo constante, consejos, pero sobre todo su amor y paciencia. Son quienes me han enseñado valores, principios y a ser una persona perseverante para conseguir mis objetivos.

A mis hermanas: Jeaneth, Sara y Erika y mi querida hija Alizon Emily por brindarme su apoyo, cariño y por aquellos días que juntos superamos momentos difíciles y a la vez compartimos días de alegrías.

A toda mi familia, por la unidad, por el más sincero cariño y por los consejos que me han brindado para no darme por vencido.

# ÍNDICE GENERAL

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

	<b>Página</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Justificación .....	2
1.3. Diseño teórico .....	3
1.3.1. Determinación del problema .....	3
1.3.1.1. Situación problemática .....	3
1.3.1.2. Problema .....	4
1.3.2. Objetivos .....	5
1.3.2.1. Objetivo general .....	5
1.3.2.2. Objetivos específicos .....	5
1.3.3. Hipótesis .....	6
1.3.4. Limitaciones .....	6
1.3.5. Definición de variables .....	7
1.3.5.1. Variables dependiente .....	7
1.3.5.2. Variables independiente .....	7
1.3.5.3. Operacionalidad .....	7
1.3.5.4. Conceptualización. ....	8
1.4. Diseño metodológico .....	9
1.4.1. Unidad de estudio y decisión muestral .....	9
1.4.1.1. Unidad de estudio .....	9
1.4.1.2. Población .....	9
1.4.1.3. Muestra .....	10
1.4.1.4. Muestreo .....	10
1.4.2. Métodos y técnicas empleadas .....	10
1.4.2.1. Definición, selección y/o elaboración de los métodos y técnicas .....	10
1.4.2.2. Técnica de muestreo .....	10
1.4.2.3. Procedimiento de aplicación .....	12
1.4.2.4. Metodología de la práctica .....	14
1.5. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información. ....	15

1.5.1. Análisis estadístico .....	15
1.6. Alcance .....	16

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

	<b>Página</b>
2.1. Pavimento .....	18
2.1.1. Funciones de un pavimento.....	19
2.1.2. Componentes de un pavimento .....	19
2.1.3. Características que debe reunir un pavimento.....	21
2.2. Clasificación de pavimentos .....	21
2.2.1. Pavimentos semirrígidos .....	21
2.2.2. Pavimentos articulados .....	22
2.2.2.1. Funciones de las capas de un pavimento articulado .....	22
2.2.3. Pavimentos rígidos .....	23
2.2.3.1. Funciones de las capas de un pavimento rígido .....	24
2.2.4. Pavimentos flexibles.....	24
2.2.4.1. Funciones de las capas de un pavimento flexible.....	25
2.3. Mezclas asfálticas.....	26
2.3.1. Mezclas asfálticas en caliente (M.A.C.) .....	27
2.3.2. Métodos de diseño de mezclas asfálticas caliente en laboratorio.....	27
2.3.3. Características y comportamiento de la mezcla asfáltica.....	27
2.3.3.1. Densidad .....	28
2.3.3.2. Vacíos de aire (o simplemente vacíos) .....	28
2.3.3.3. Vacíos en el agregado mineral .....	29
2.3.3.4. Contenido de asfalto .....	30
2.3.4. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas .....	32
2.3.4.1. Estabilidad.....	32
2.3.4.2. Durabilidad.....	33
2.3.4.3. Impermeabilidad.....	35
2.3.4.4. Trabajabilidad.....	35
2.3.4.5. Flexibilidad .....	37
2.3.4.6. Resistencia a la fatiga .....	37

2.3.4.7. Resistencia al deslizamiento.....	38
2.4. Componentes de las mezclas asfálticas .....	39
2.4.1. Cemento asfáltico .....	39
2.4.1.1. Características o propiedades del cemento asfáltico.....	40
2.4.1.2. Ensayos realizados al asfalto para determinar sus propiedades .....	40
2.4.1.2.1. Ductilidad (ASTM D 113, AASHTO T 51-00).....	40
2.4.1.2.2. Penetración (ASTM D 5, AASHTO T49-97).....	41
2.4.1.2.3. Punto de inflamación (ASTM D 1310-01, AASHTO T 79-96) .....	41
2.4.1.2.4. Película delgada (ASTM D 1754, AASHTO T 179-05).....	41
2.4.1.2.5. Peso específico (ASTM D 70, AASHTO T 43) .....	42
2.4.1.2.6. Punto de ablandamiento (ASTM D 36, AASHTO T 53-96).....	42
2.4.1.3. Especificaciones técnicas del cemento asfáltico clasificado por penetración. ....	42
2.4.2. Agregados Pétreos .....	43
2.4.2.1. Tipos de agregados pétreos. ....	43
2.4.2.2. Propiedades de los agregados utilizados en M. A. C. ....	45
2.4.2.3. Ensayos realizados al agregado para determinar sus propiedades.....	46
2.4.2.3.1. Granulometría (ASTM C-136).....	46
2.4.2.3.2. Equivalente de arena (ASTM D-2419, AASHTO T-176) .....	47
2.4.2.3.3. Desgaste con la máquina de Los Ángeles (AASHTO T-96, ASTM C-131).....	47
2.4.2.3.4. Peso específico de agregados gruesos (AASHTO T-85, ASTM C-127) .....	48
2.4.2.3.5. Peso específico de agregado fino (AASHTO T-84, ASTM C-128) .....	49
2.4.2.3.6. Ensayo de peso unitario agregados (AASHTO T-19, ASTM C-29) .....	49
2.4.2.4. Especificaciones para agregados en mezclas asfálticas en caliente (M.A.C.).....	49
2.4.2.5. Requisitos que deben cumplir los agregados.....	49
2.5. Filler (llenante mineral) .....	51
2.5.1. Influencia del filler como componente de las mezclas asfálticas .....	52
2.5.2. Características del Filler .....	52
2.5.3. Ensayos realizados al Filler (cemento portland) .....	54
2.5.3.1. Granulometría del filler (ASTM D 242).....	54
2.5.3.2. Finura del cemento (ASTM C 204).....	54
2.5.3.3. Peso específico del cemento hidráulico (ASTM C 188).....	55
2.5.4. Especificaciones químicas y físicas del filler (cemento portland).....	55
2.5.5. Cemento portland (filler o llenante mineral).....	56

2.5.5.1. Materias primas.....	57
2.5.5.2. Tipos de cemento (según NB-011).....	57
2.5.5.2.1. Cementos portland, Tipo I.....	57
2.5.5.2.2. Cementos portland con puzolana, Tipo IP.....	57
2.5.5.2.3. Cementos portland con filler calizo, Tipo IF.....	58
2.5.5.2.4. Cementos puzolánicos, Tipo P.....	58
2.6. Diseño de mezclas asfálticas.....	58
2.7. Método de diseño Marshall.....	59
2.7.1. Metodología.....	59
2.7.2. Granulometría.....	60
2.7.3. Especificaciones de la metodología.....	62
2.7.4. Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño.....	63
2.7.4.1. Vacíos bajos y estabilidad baja.....	63
2.7.4.2. Vacíos bajos y estabilidad satisfactoria.....	64
2.7.4.3. Vacíos satisfactorios y estabilidad baja.....	64
2.7.4.4. Vacíos altos y estabilidad satisfactoria.....	64
2.7.4.5. Vacíos altos y estabilidad baja.....	65
2.7.5. Pruebas a las mezclas asfálticas compactadas.....	65
2.7.5.1. Determinación de la gravedad específica.....	65
2.7.5.2. Prueba de estabilidad y flujo.....	65
2.7.5.3. Análisis de densidad y vacíos.....	66
2.8. Marco normativo.....	66

### **CAPÍTULO III**

#### **SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

#### **Página**

3.1. Introducción.....	68
3.2. Selección de los materiales.....	68
3.2.1. Selección de agregados grueso y fino.....	68
3.2.2. Selección del cemento asfáltico.....	70
3.2.3. Selección del llenante mineral o filler (cemento portland).....	70
3.3. Caracterización de los materiales.....	71
3.3.1. Caracterización de los agregados pétreos gruesos y finos.....	71

3.3.1.1. Granulometría (ASTM C-136, AASHTO T-27).....	71
3.3.1.1.1. Granulometria de agregado no chancado.....	73
3.3.1.1.2. Granulometría agregado chancado.....	76
3.3.1.1.3. Granulometría de gravilla-arena.....	79
3.3.1.2. Equivalente de arena (ASTM D 2419, AASHTO T 176-00).....	82
3.3.1.3. Desgaste con la máquina de Los Ángeles (ASTM E 131, AASHTO T96-99).....	83
3.3.1.3.1. Desgaste de agregado no chancado (natural).....	85
3.3.1.3.2. Desgaste de agregado chancado (triturado).....	86
3.3.1.3.3. Desgaste de agregado gravilla-arenosa (gravilla chancado).....	88
3.3.1.4. Ensayo de peso específico en agregado grueso (AASHTO T-85, ASTM C-127).....	88
3.3.1.4.1. Peso específico agregado no chancado (natural).....	90
3.3.1.4.2. Peso específico agregado chancado (triturado). ....	92
3.3.1.4.3. Peso específico de gravilla-arenosa. ....	93
3.3.1.5. Ensayo de peso específico de agregado fino (AASHTO T-84, ASTM C-128).....	94
3.3.1.6. Ensayo de peso unitario agregados (AASHTO T-19, ASTM C-29).....	96
3.3.1.6.1. Peso unitario de agregado no chancado (natural). ....	97
3.3.1.6.2. Peso unitario de agregado chancado (triturado). ....	100
3.3.1.6.3. Peso unitario de gravilla-arenosa.....	102
3.3.2 Caracterización del cemento asfáltico PROBISA 85-100.....	104
3.3.2.1. Ensayo de ductilidad (ASTM D 113, AASHTO T51-00).....	104
3.3.2.2. Ensayo de penetración (ASTM D 5, AASHTO T49-97).....	105
3.3.2.3. Ensayo de peso específico (ASTM D 70, AASHTO T 43).....	107
3.3.2.4 Ensayo de punto de inflamación (ASTM D 1310-01, AASHTO T 79-96).....	109
3.3.2.5. Ensayo de película delgada (ASTM D 1754, AASHTO T179-05).....	110
3.3.2.6. Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D 36, AASHTO T53-96).....	111
3.3.3. Caracterización de la llenante mineral (Cemento portland).....	112
3.3.3.1. Ensayo del peso específico del cemento. ....	112
3.3.3.2 Ensayo de finura del cemento por tamizado. ....	114
3.4. Diseño de mezcla asfáltica por el Método Marshall.....	115
3.4.1. Diseño granulométrico.....	115
3.4.1.1. Agregado no chancado (ASTM D 3515).....	116
3.4.1.2. Agregado chancado (ASTM D 3515).....	117
3.4.1.3. Agregado gravilla arenosa (ASTM D 3515).....	118
3.4.2. Dosificación de mezclas asfálticas. ....	119



3.4.2.1. Dosificación con variaciones de porcentajes del contenido de asfalto. ....	119
3.4.2.1.1. Dosificación con agregado no chancado (natural).....	119
3.4.2.1.2. Dosificación con agregado chancado (triturado) .....	120
3.4.2.1.3. Dosificación con agregado gravilla-arenosa (combinado).....	120
3.4.2.2. Elaboración de briquetas .....	121
3.4.2.3. Rotura de briquetas para la determinación de la estabilidad y fluencia. ....	123
3.4.3. Proceso de cálculo de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.....	126
3.4.3.1. Identificación de briquetas .....	126
3.4.3.2. Altura de las briquetas .....	126
3.4.3.3. Base de mezclas y agregados .....	126
3.4.3.4. Peso de la briqueta en el aire.....	127
3.4.3.5. Peso de la briqueta en el aire saturado superficialmente seco (S.S.S.) .....	127
3.4.3.6. Peso de la briqueta sumergida en el agua.....	127
3.4.3.7. Volumen de la briqueta.....	128
3.4.3.8. Densidad de la briqueta.....	128
3.4.3.8.1. Densidad real de la briqueta .....	128
3.4.3.8.2. Densidad máxima teórica de la briqueta .....	129
3.4.3.9. Porcentaje de vacíos .....	129
3.4.3.9.1. Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv) .....	129
3.4.3.9.2. Porcentaje de vacíos de los agregados minerales (V.A.M.) .....	129
3.4.3.9.3. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (R.B.V.).....	130
3.4.3.10. Estabilidad y fluencia.....	130
3.4.4. Datos y resultados de propiedades mecánicas Marshall .....	132
3.4.4.1. Con agregado no chancado (natural) .....	132
3.4.4.2. Con agregado chancado (triturado).....	133
3.4.4.3. Con agregado gravilla arenosa (combinación de agregado).....	134
3.4.5. Determinación de porcentaje óptimo de cemento asfáltico .....	134
3.4.5.1. Con agregado no chancado (natural) .....	135
3.4.5.2. Con agregado chancado (triturado) .....	136
3.4.5.3. Con agregado gravilla arena (combinación de agregado).....	137
3.4.6. Resultados de porcentaje óptimo de cemento asfáltico PROBISA 85-100 .....	138
3.4.6.1. Agregado no chancado.....	138
3.4.6.2. Agregado chancado .....	139
3.4.6.3. Agregado Gravilla-arenosa .....	139

**CAPÍTULO IV**  
**EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN**  
**DE LLENANTE MINERAL O FILLER**

	<b>Página</b>
4.1. Resultados de caracterización de los componentes de las mezclas asfálticas .....	141
4.1.1. Agregados pétreos .....	141
4.1.2. Cemento asfáltico (PROBISA 85-100 Chile) .....	142
4.1.3. Llenante mineral o filler (cemento portland) .....	142
4.2. Diseño de mezclas asfálticas con llenante mineral (cemento portland) .....	143
4.3. Dosificación con cemento asfáltico óptimo y adición porcentual de filler .....	143
4.3.1 Agregado no chancado (natural) .....	143
4.3.2. Agregado chancado (triturado).....	144
4.3.3 Agregado gravilla-arenosa .....	144
4.4. Resultados de propiedades Marshall con adición de llenante mineral .....	145
4.4.1. Agregado no chancado (natural) .....	145
4.4.2. Agregado chancado (triturado).....	147
4.4.3. Agregado gravilla-arenosa .....	149
4.5. Determinación de porcentajes óptimos de llenante mineral en los distintos agregados. ....	151
4.5.1. Agregado no chancado (natural). .....	151
4.5.2. Agregado chancado (triturado).....	153
4.5.3. Agregado gravilla-arenosa. ....	155
4.6. Resultados del porcentaje óptimo de llenante mineral para cada tipo de agregado .....	157
4.7. Análisis de resultados de las propiedades Marshall, con adición de llenante mineral en las mezclas asfálticas.....	158
4.7.1. Porcentaje de vacíos a distintos porcentajes de llenante mineral o filler .....	158
4.7.2. Fluencia a distintos porcentajes de llenante mineral o filler .....	161
4.7.3. Estabilidad a distintos porcentajes de llenate mineral o filler .....	163
4.8. Preparación de briquetas con porcentaje óptimo de filler y c.a.....	166
4.8.1 Agregado no chancado (natural). .....	166
4.8.2. Agregado chancado (triturado).....	167
4.8.3. Agregado gravilla-arenosa .....	167
4.9. Cálculo de las propiedades de las mezclas asfálticas con adición de porcentajes óptimos de llenante mineral y cemento asfáltico .....	168
4.9.1 Agregado no chancado (natural) .....	168

4.9.2 Agregado chancado (triturado).....	169
4.9.3 Agregado gravilla-arenosa .....	170
4.10. Resultados del estudio estadístico de las diferentes mezclas asfálticas .....	171
4.10.1. Agregado no chancado (natural) .....	172
4.10.2. Agregado chancado (triturado).....	172
4.10.3. Agregado gravilla-arenosa .....	173
4.11. Análisis de resultados obtenidos .....	173
4.11.1. Densidad .....	175
4.11.2. Estabilidad.....	175
4.11.3. Fluencia.....	176
4.11.4. Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv) .....	177
4.11.5. Porcentaje de vacíos de agregado mineral (V.A.M.) .....	177

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Página</b>
5.1. Conclusiones .....	179
5.2. Recomendaciones.....	181

### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

- ANEXO 1.** Caracterización de agregados pétreos
- ANEXO 1.1.** Caracterización de agregados pétreos (agregado no chancado)
- ANEXO 1.2.** Caracterización de agregados pétreos (agregado chancado)
- ANEXO 1.3.** Caracterización de agregados pétreos (gravilla arenosa)
- ANEXO 2.** Caracterización del cemento asfáltico
- ANEXO 3.** Caracterización del filler o llenante mineral (cemento portland)

- ANEXO 4.** Mezclas asfálticas método Marshall
- ANEXO 4.1.** Diseño mezcla asfáltica método Marshall (agregado no chancado)
- ANEXO 4.2.** Diseño mezcla asfáltica método Marshall (agregado chancado)
- ANEXO 4.3.** Diseño mezcla asfáltica método Marshall (gravilla arenosa)
- ANEXO 5.** Certificado de calidad del cemento asfáltico
- ANEXO 6.** Especificaciones químicas y físicas del cemento
- ANEXO 7.** Reporte fotográfico ensayos en laboratorio

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 1.1. Operacionalización de la variable independiente .....	7
Tabla 1.2. Operacionalización de la variable dependiente .....	8
Tabla 1.3. Caracterización del material pétreo .....	13
Tabla 1.4. Caracterización del cemento asfáltico.....	13
Tabla 1.5. Caracterización de la llenante mineral .....	13
Tabla 1.6. Detalle del número de briquetas para determinar óptimos .....	14
Tabla 1.7. Detalle del número de briquetas para el estudio estadístico final .....	14
Tabla 2.1. Vacíos en el agregado mineral (requisitos de VAM) .....	30
Tabla 2.2. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento .....	33
Tabla 2.3. Causas y efectos de la poca durabilidad.....	34
Tabla 2.4. Causas y efectos de la permeabilidad .....	35
Tabla 2.5. Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad .....	36
Tabla 2.6. Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga .....	38
Tabla 2.7. Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento.....	39
Tabla 2.8. Especificaciones chilenas según el grado de penetración norma NCH 2440 .....	43
Tabla 2.9. Serie de tamices escogidos y designados .....	46
Tabla 2.10. Tamaño de muestra del agregado fino .....	46
Tabla 2.11. Tamaño de muestra del agregado grueso .....	47
Tabla 2.12. Masa de la carga abrasiva.....	47
Tabla 2.13. Grados de ensayo (definidos por sus rangos de tamaño, en mm) .....	48
Tabla 2.14. Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal del árido.....	48
Tabla 2.15. Requisitos del agregado grueso .....	50
Tabla 2.16. Rangos requeridos, granulometría de agregados para M.A.C. ....	50
Tabla 2.17. Especificaciones que deben cumplir el agregado fino .....	51

Tabla 2.18. Graduación del agregado fino .....	51
Tabla 2.19. Granulometría del filler de acuerdo la norma ASTM .....	54
Tabla 2.20. Especificaciones químicas y físicas del cemento .....	55
Tabla 2.21. Requerimiento para el filler mineral (cemento portland).....	56
Tabla 2.22. Clasificación y composición de los cementos .....	58
Tabla 2.23. Graduaciones, propuestas para mezclas cerradas (ASTM D 3515).....	61
Tabla 2.24. Criterios de diseño de mezclas Marshall.....	62
Tabla 2.25. Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (V.A.M.) .....	62
Tabla 2.26. Normas aplicadas para el cemento asfáltico.....	66
Tabla 2.27. Norma aplicadas para los agregados .....	67
Tabla 2.28. Norma aplicadas para filler .....	67
Tabla 3.1. Coordenadas de la ubicación de la sel. de áridos San Blas .....	69
Tabla 3.2. Coordenadas de la ubicación de la posta mpal. de Tarija .....	70
Tabla 3.3. Coordenadas de la ubicación de cemento “El Puente” .....	71
Tabla 3.4. Granulometría de la grava no chancado 3/4.....	73
Tabla 3.5. Granulometría de la gravilla no chancado 3/8” .....	73
Tabla 3.6. Granulometría promedio grava no chancado 3/4.....	74
Tabla 3.7. Granulometrías promedio gravilla no chancado 3/8 .....	75
Tabla 3.8. Granulometría de la grava chancado 3/4” .....	76
Tabla 3.9. Granulometría de la gravilla chancado 3/8” .....	76
Tabla 3.10. Granulometría promedio grava chancado 3/4 .....	77
Tabla 3.11. Granulometría promedio gravilla chancado 3/8 .....	78
Tabla 3.12. Granulometría de la gravilla chancado 3/8” .....	79
Tabla 3.13. Granulometría de la arena .....	79
Tabla 3.14. Granulometría promedio gravilla chancado 3/8 .....	80
Tabla 3.15. Granulometría promedio de la arena.....	81

Tabla 3.16. Datos del ensayo equivalente de arena.....	82
Tabla 3.17. Resultados del ensayo equivalente de arena.....	83
Tabla 3.18. Pesos del agregado grueso y número de esferas .....	85
Tabla 3.19. Datos del ensayo de desgaste para la grava no chancado 3/4” .....	85
Tabla 3.20. Datos del ensayo de desgaste para la gravilla no chancado 3/8”.....	86
Tabla 3.21. Datos del ensayo de desgaste para la grava chancado 3/4” .....	86
Tabla 3.22. Datos del ensayo de desgaste para la gravilla chancado 3/8”.....	87
Tabla 3.23. Datos del ensayo de desgaste para la gravilla chancado 3/8”.....	88
Tabla 3.24. Datos del ensayo de peso específico para grava no chancado 3/4” .....	90
Tabla 3.25. Resultados del ensayo de peso específico para grava no chancado 3/4” .....	91
Tabla 3.26. Datos del ensayo de peso específico para gravilla no chancado 3/8” .....	91
Tabla 3.27. Resultados del ensayo de peso específico para gravilla no chancado 3/8” .....	92
Tabla 3.28. Datos del ensayo de peso específico para grava chancado 3/4” .....	92
Tabla 3.29. Resultados del ensayo de peso específico para grava chancado 3/4” .....	92
Tabla 3.30. Datos del ensayo de peso específico para gravilla chancado 3/8”.....	93
Tabla 3.31. Resultados del ensayo de peso específico para gravilla chancado 3/8” .....	93
Tabla 3.32. Datos del ensayo de peso específico para gravilla chancado 3/8”.....	93
Tabla 3.33. Resultados del ensayo de peso específico para gravilla chancado 3/8” .....	94
Tabla 3.34. Datos del ensayo peso específico para agregado fino (arena) .....	95
Tabla 3.35. Resultado de peso específico para agregado fino (arena) .....	96
Tabla 3.36. Datos de peso unitario suelto de la grava no chancado 3/4” .....	97
Tabla 3.37. Datos de peso unitario compactado de la grava no chancado 3/4 .....	97
Tabla 3.38. Resultados de peso unitario de la grava no chancado 3/4” .....	98
Tabla 3.39. Datos de peso unitario suelto de la gravilla no chancado 3/8” .....	98
Tabla 3.40. Datos de peso unitario compactado de la gravilla no chancado 3/8”.....	99
Tabla 3.41. Resultados de peso unitario de la gravilla no chancado 3/8” .....	99

Tabla 3.42. Datos de peso unitario suelto de la grava chancada 3/4” .....	100
Tabla 3.43. Datos de peso unitario compactado de la grava chancada 3/4” .....	100
Tabla 3.44. Resultados de peso unitario de la grava chancado 3/4” .....	101
Tabla 3.45. Datos de peso unitario suelto de la gravilla chancado 3/8” .....	101
Tabla 3.46. Datos de peso unitario compactada de la gravilla chancado 3/8” .....	101
Tabla 3.47. Resultados de peso unitario de la gravilla chancado 3/8” .....	102
Tabla 3.48. Datos de peso unitario suelto de la gravilla chancado 3/8” .....	102
Tabla 3.49. Datos de peso unitario compactado de la gravilla chancado 3/8” .....	102
Tabla 3.50. Resultados de peso unitario de la gravilla chancado 3/8” .....	103
Tabla 3.51. Datos de peso unitario suelto de la arena .....	103
Tabla 3.52. Datos de peso unitario compactado de la arena .....	104
Tabla 3.53. Resultados de peso unitario de la arena .....	104
Tabla 3.54. Datos y resultado del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico .....	105
Tabla 3.55. Datos y resultado del ensayo de penetración del cemento asfáltico .....	106
Tabla 3.56. Datos del ensayo peso específico del cemento asfáltico .....	108
Tabla 3.57. Resultados del ensayo peso específico del cemento asfáltico .....	108
Tabla 3.58. Datos y resultado de ensayo de punto de inflamación del cemento asfáltico .....	110
Tabla 3.59. Datos y resultado de ensayo de película delgada del cemento asfáltico .....	111
Tabla 3.60. Datos y resultado de ensayo de punto de ablandamiento del cemento asfáltico.....	112
Tabla 3.61. Datos y resultado del ensayo de peso específico del cemento.....	113
Tabla 3.62. Datos y resultado del ensayo de finura del cemento.....	115
Tabla 3.63. Diseño granulométrico (agregado no chancado) .....	116
Tabla 3.64. Diseño granulométrico (agregado chancado).....	117
Tabla 3.65. Diseño granulométrico (agregado gravilla arenosa) .....	118
Tabla 3.66. Dosificación con diferentes porcentajes de c.a., con agregado no chancado.....	119
Tabla 3.67. Dosificación con diferentes porcentajes de c.a., con agregado chancado .....	120



Tabla 3.68. Dosificación con diferentes porcentajes de c.a., con gravilla-arenosa .....	120
Tabla 3.69. Alturas medidas de la briqueta .....	126
Tabla 3.70. Peso al aire de las briquetas .....	127
Tabla 3.71. Peso briqueta saturada superficialmente seca (S.S.S) .....	127
Tabla 3.72. Peso briqueta sumergida en agua .....	128
Tabla 3.73. Datos del ensayo de estabilidad y fluencia .....	130
Tabla 3.74. Alturas promedio y factor de corrección por altura .....	131
Tabla 3.75. Estabilidad corregida .....	131
Tabla 3.76. Resultados de la estabilidad y fluencia .....	131
Tabla 3.77. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica (agregado no chancado) .....	132
Tabla 3.78. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica (agregado chancado) .....	133
Tabla 3.79. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica (gravilla arenosa) .....	134
Tabla 3.80. Resultados de las gráficas del método Marshall (agregado no chancado) .....	138
Tabla 3.81. Resultados de las gráficas del método Marshall (agregado chancado) .....	139
Tabla 3.82. Resultados de las gráficas del método Marshall (agregado gravilla arenosa) .....	139
Tabla 3.83. Resultado de porcentaje óptimo de c.a. para cada agregado .....	139
Tabla 4.1. Resultados de la caracterización de agregado no chancado .....	141
Tabla 4.2. Resultados de la caracterización de agregado chancado .....	141
Tabla 4.3. Resultados de la caracterización de agregado gravilla arenosa .....	142
Tabla 4.4. Resultados de la caracterización del C.A. PROBISA 85-100 .....	142
Tabla 4.5. Resultados de la caracterización de llenante mineral (cemento) .....	143
Tabla 4.6. Dosificación con c.a., óptimo en agregado no chancado y % de filler .....	143
Tabla 4.7. Dosificación con c.a., óptimo en agregado chancado y % de filler .....	144
Tabla 4.8. Dosificación con c.a., óptimo en agregado gravilla arenosa y % de filler .....	144
Tabla 4.9. Resultado de la mezcla asfáltica con agregado no chancado y adición de filler (cemento portland), en porcentaje .....	145

Tabla 4.10. Resultado de la mezcla asfáltica con agregado chancado y adición de filler (cemento portland), en porcentaje.....	147
Tabla 4.11. Resultado de la mezcla asfáltica con agregado gravilla arenosa y adición de filler (cemento portland), en porcentaje.....	149
Tabla 4.12. Contenido óptimo de filler (cemento) con agregado no chancado .....	153
Tabla 4.13. Contenido óptimo de filler (cemento) con agregado chancado .....	155
Tabla 4. 14. Contenido óptimo de filler (cemento) con agregado gravilla arenosa.....	157
Tabla 4.15. Resultados del contenido óptimo del filler para cada agregado .....	157
Tabla 4.16. Dosificación con diferentes porcentajes de c.a. con agregado no chancado .....	166
Tabla 4.17. Dosificación con diferentes porcentajes de c.a. con agregado chancado .....	167
Tabla 4.18. Dosificación con diferentes porcentajes de c.a. con gravilla arenosa .....	167
Tabla 4.19. Datos con el porcentaje óptimo del filler con agregado no chancado.....	168
Tabla 4.20. Resultados con el porcentaje óptimo del filler con agregado no chancado .....	169
Tabla 4.21. Datos con el porcentaje óptimo del filler con agregado chancado.....	169
Tabla 4.22. Resultados con el porcentaje óptimo del filler con agregado chancado.....	170
Tabla 4.23. Datos con el porcentaje óptimo del filler con gravilla arenosa .....	170
Tabla 4.24. Resultados con el porcentaje óptimo del filler con gravilla arenosa .....	171
Tabla 4.25. Resultados de la evaluación estadística (agregado no chancado) .....	172
Tabla 4.26. Resultados de la evaluación estadística (agregado chancado).....	172
Tabla 4.27. Resultados de la evaluación estadística (gravilla arenosa) .....	173
Tabla 4.28. Resultados del análisis y evaluación estadístico de las propiedades Marshall .....	174
Tabla 5.1. Resultados del análisis y evaluación estadístico de las propiedades Marshall .....	180

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

	<b>Página</b>
Gráfico 1.1. Esquema de la metodología usada en la investigación .....	12
Gráfico 3.1. Curva granulométrica grava no chancado 3/4” .....	74
Gráfico 3.2. Curva Granulométrica gravilla no chancado 3/8” .....	75
Gráfico 3.3. Curva. granulométrica grava chancado 3/4” .....	77
Gráfico 3.4. Curva granulométrica gravilla chancado 3/8” .....	78
Gráfico 3.5. Curva granulométrica gravilla chancado 3/8” .....	80
Gráfico 3.6. Curva granulométrica agregado fino (arena).....	81
Gráfico 3.7. Curva granulométrica diseño Marshall (agregado no chancado) .....	116
Gráfico 3.8. Curva granulométrica diseño Marshall (agregado chancado) .....	117
Gráfico 3.9. Curva granulométrica diseño Marshall (gravilla arenosa) .....	118
Gráfico 3.10. Curvas de propiedades volumétricas Marshall (agregado no chancado) .....	135
Gráfico 3.11. Curvas de estabilidad y fluencia Marshall (agregado no chancado).....	135
Gráfico 3.12. Curvas de propiedades volumétricas Marshall (agregado chancado) .....	136
Gráfico 3.13. Curvas de estabilidad y fluencia Marshall (agregado chancado).....	136
Gráfico 3.14. Curvas de propiedades volumétricas Marshall (gravilla arenosa) .....	137
Gráfico 3.15. Curvas de estabilidad y fluencia Marshall (gravilla-arenosa) .....	137
Gráfico 3.16. Variación de porcentajes óptimos de c.a. según el tipo de agregado .....	140
Gráfico 4.1. Variación de propiedades volumétricas Marshall con diferentes porcentajes de filler en agregado no chancado .....	146
Gráfico 4.2. Variación de propiedades de estabilidad y fluencia Marshall con diferentes porcentajes de filler en agregado no chancado .....	146
Gráfico 4.3. Variación de propiedades volumétricas Marshall con diferentes porcentajes de filler en agregado chancado .....	148
Gráfico 4.4. Variación de propiedades de estabilidad y fluencia Marshall con diferentes porcentajes de filler en agregado chancado .....	148

Gráfico 4.5. Variación de propiedades volumétricas Marshall con diferentes porcentajes de filler en agregado gravilla arenosa.....	150
Gráfico 4.6. Variación de la estabilidad y fluencia Marshall con diferentes porcentajes de filler en agregado gravilla arenosa.....	150
Gráfico 4.7. Valores de densidad por porcentajes de filler (agregado no chancado).....	151
Gráfico 4.8. Valores de estabilidad por porcentajes de filler (agregado no chancado).....	152
Gráfico 4.9. Valores de % de vacíos por porcentajes de filler (agregado no chancado).....	152
Gráfico 4.10. Valores de densidad por porcentajes de filler (agregado chancado).....	153
Gráfico 4.11. Valores de estabilidad por porcentajes de filler (agregado chancado).....	154
Gráfico 4.12. Valores de % de vacíos por porcentajes de filler (agregado chancado).....	154
Gráfico 4.13. Valores de densidad por porcentajes de filler (gravilla arenosa).....	155
Gráfico 4.14. Valores de estabilidad por porcentajes de filler (gravilla arenosa).....	156
Gráfico 4.15. Valores de % de vacíos por porcentajes de filler (gravilla arenosa).....	156
Gráfico 4.16. Comparación de % de vacíos a 2 % de filler.....	158
Gráfico 4.17. Comparación de % de vacíos a 4 % de filler.....	159
Gráfico 4.18. Comparación de % de vacíos a 5 % de filler.....	159
Gráfico 4.19. Comparación de % de vacíos a 6 % de filler.....	160
Gráfico 4.20. Comparación de % de vacíos a 8 % de filler.....	160
Gráfico 4.21. Comparación de fluencia a 2 % de filler.....	161
Gráfico 4.22. Comparación de fluencia a 4 % de filler.....	161
Gráfico 4.23. Comparación de fluencia a 5 % de filler.....	162
Gráfico 4.24. Comparación de fluencia a 6 % de filler.....	162
Gráfico 4.25. Comparación de fluencia a 8 % de filler.....	163
Gráfico 4.26. Comparación de estabilidad a 2 % de filler.....	163
Gráfico 4.27. Comparación de estabilidad a 4 % de filler.....	164
Gráfico 4.28. Comparación de estabilidad a 5 % de filler.....	164

Gráfico 4.29. Comparación de estabilidad a 6 % de filler.....	165
Gráfico 4.30. Comparación de estabilidad a 8 % de filler.....	165
Gráfico 4.31. Densidad con llenante mineral y cemento asfaltico óptimos.....	175
Gráfico 4.32. Estabilidad con llenante mineral y c.a., óptimos .....	175
Gráfico 4.33. Fluencia con llenante mineral y c.a., óptimos .....	176
Gráfico 4.34. % de vacíos con llenante mineral y c.a., óptimos .....	177
Gráfico 4.35. % V.A.M., con llenante mineral y c.a., óptimos.....	177

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 2.1. Componentes principales de un pavimento asfáltico.....	19
Figura 2.2. Sección típica y vista de un pavimento articulado.....	22
Figura 2.3. Sección típica y vista de un pavimento rígido.....	23
Figura 2.4. Sección típica y vista de un pavimento flexible .....	25
Figura 2.5. Ilustración del V.A.M. en una probeta de mezcla compactada .....	29
Figura 2.6. Distintos pesos específicos de agregados.....	31
Figura 2.7. Planta de cemento El Puente-Tarija.....	56
Figura 3.1. Ubicación seleccionadora de áridos San Blas (agregado no chancado) .....	69
Figura 3.2. Ubicación de posta municipal de Tarija (agregado chancado).....	69
Figura 3.3. Planta de obtención del C. A. PROBISA 85-100 Chile.....	70
Figura 3.4. Fábrica de cemento portland “El Puente”.....	71
Figura 3.5. Proceso de tamizado del agregado pétreo grueso y fino.....	72
Figura 3.6. Ensayo de equivalente de arena .....	82
Figura 3.7. Ensayo de desgaste máquina de Los Ángeles .....	84
Figura 3.8. Ensayo determinación del peso específico en agregados gruesos .....	89
Figura 3.9. Ensayo de peso específico agregado fino .....	94
Figura 3.10. Ensayo de peso unitario .....	97
Figura 3.11. Ensayo de ductilidad del cemento asfáltico .....	105
Figura 3.12. Ensayo de penetración del cemento asfáltico.....	106
Figura 3.13. Ensayo de peso específico del cemento asfáltico .....	107
Figura 3.14. Ensayo de punto de inflamación del cemento asfáltico .....	109
Figura 3.15. Ensayo de película delgada en horno del cemento asfáltico .....	110
Figura 3.16. Ensayo punto de ablandamiento del cemento asfáltico .....	112
Figura 3.17. Ensayo de peso específico del cemento .....	113

Figura 3.18. Ensayo de finura del cemento .....	114
Figura 3.19. Pesado de materiales de la mezcla asfáltica.....	122
Figura 3.20. Proceso de elaboración de las briquetas.....	123
Figura 3.21. Proceso de desmolde y marcación de las briquetas .....	123
Figura 3.22. Desmolde y medición de alturas de las briquetas.....	124
Figura 3.23. Proceso de los diferentes pesados de las briquetas .....	124
Figura 3.24. Proceso de rotura de las briquetas .....	125