

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**“APLICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND COMO LLENANTE  
MINERAL EN MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO PARA  
RODADURA”**

**Por:**

**CIMAR MELEAN MONTALVO**

**DICIEMBRE DE 2010**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“APLICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND COMO LLENANTE  
MINERAL EN MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO PARA  
RODADURA”**

**Por:**

**CIMAR MELEAN MONTALVO**

**PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV – 502**

**DICIEMBRE DE 2010**

**TARIJA – BOLIVIA**

El Tribunal Calificador del presente Proyecto de Grado II de Ingeniería Civil, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor.

### **DEDICATORIA:**

El presente Proyecto está dedicado a mi padres Cimar y Nieves por el apoyo incondicional que me dieron en todo momento, sin ellos no hubiese sido posible llegar a la meta que me tracé en como estudiante, a mis hermanos Fernando y Julio por los buenos momentos que pasamos, y a toda mi familia por el apoyo que me brindaron en todo momento en mi vida de estudiante.

### **AGRADECIMIENTOS:**

A Dios, por estar conmigo en todo momento.

A mi Familia, por hacer de mí la persona que soy ahora.

Al Ing. Jhonny Orgaz por la guía que me dio durante todo el desarrollo de este proyecto.

Al Servicio Departamental de Caminos de Tarija por haberme permitido realizar mis ensayos en los laboratorios de suelos y asfaltos y en especial a todo el personal técnico y administrativo que me colaboraron con información, ideas y pensamientos.

**PENSAMIENTO:**

La imaginación es más importante que  
la inteligencia.

ALBERT EINSTEIN



## ÍNDICE

Dedicatoria

Agradecimientos

Pensamiento

Resumen

### CAPÍTULO I

#### CONSIDERACIONES GENERALES

	<b>Pag.</b>
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Planteamiento del Problema.....	3
1.4. Hipótesis.....	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivo Específico. ....	5
1.6. Metodología del Proyecto.....	6
1.7. Justificación.....	6
1.8. Motivaciones.....	8
1.9. Área de Investigación.....	8
1.9.1. Limitación del Estudio.....	8
1.10. Alcance del Trabajo.....	9

**CAPÍTULO II**  
**MEZCLAS ASFALTICAS**

	<b>Pag.</b>
2.1. Definición de Mezclas Asfálticas.....	10
2.2. Clasificación de las Mezclas Asfálticas.....	10
2.2.1. Por Fracciones de agregado pétreo empleado.....	10
2.2.2. Por la Temperatura de Puesta en obra.....	11
2.2.3. Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.....	11
2.2.4. Por el tamaño máximo del agregado pétreo.....	11
2.2.5. Por la Estructura del agregado pétreo.....	12
2.2.6. Por la Granulometría.....	12
2.3. Funcionalidad de las Mezclas Asfálticas en los firmes.....	13
2.3.1. Propiedades de las Mezclas Asfálticas en Carpetas de Rodadura.....	15
2.3.2. Propiedades de las Mezclas Asfálticas Inferiores. ....	15
2.4. Propiedades Técnicas de las Mezclas Asfálticas.....	16
2.5. Consideraciones para la Selección y proyecto de una Mezcla Asfáltica.....	17
2.5.1. Tipo de mezclas asfálticas según su composición granulométrica.....	18
2.5.2. Tipo de ligante asfaltico.....	18
2.5.3. Relación Filler/Asfalto.....	19

**CAPÍTULO III**  
**CARACTERIZACION DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLAS**  
**ASFÁLTICA**

	<b>Pag.</b>
3.1. Descripción de los materiales para carpeta de rodadura.....	20
3.1.1. Cemento Asfaltico.....	20

3.1.1.1. Definición.....	20
3.1.1.2. Propiedades Específicas y Características Deseables del Cemento Asfáltico ...	20
3.1.1.2.1. Consistencia.....	20
3.1.1.2.2. Pureza.....	21
3.1.1.2.3. Seguridad.....	21
3.1.1.3. Tipos de Asfalto.....	22
3.1.1.3.1. Asfaltos para pavimentos.....	22
3.1.1.3.1.1. Cementos Asfálticos.....	22
3.1.1.3.1.2. Asfaltos Cortados.....	22
3.1.1.3.1.3. Emulsiones Asfálticas.....	23
3.1.1.3.2. Asfaltos Industriales.....	24
3.1.1.3.2.1. Asfalto Oxidados.....	24
3.1.1.4. Aplicación de los Cementos Asfálticos.....	24
3.1.1.5. Cementos Asfálticos Empleados en la Región.....	25
3.1.1.5.1. Comercialización de los Cementos Asfálticos en Bolivia.....	27
3.1.1.6. Propiedades del Cemento Asfáltico.....	27
3.1.1.6.1. Peso Específico.....	27
3.1.1.6.2. Calor Específico.....	28
3.1.1.6.3. Dilatación Térmica.....	29
3.1.1.6.4. Impermeabilidad.....	29
3.1.1.6.5. Permeabilidad al Aire.....	29
3.1.1.6.6. Adhesividad.....	29
3.1.1.7. Procedimientos y objetivos de control de calidad Cemento Asfáltico.....	30
3.1.1.7.1. Ensayo de Peso Específico (ASTM D113 AASHTO T-228).....	30

3.1.1.7.2. Ensayo Punto de Penetración (AASHTO T 49 ASTM D5).....	33
3.1.1.7.3. Ensayo Punto de Ablandamiento (AASHTO T 53 ASTM D36.).....	37
3.1.1.7.4. Ensayo Punto de Inflación y Encendido (AASHTO T48 y ASTM D92.).....	40
3.1.1.7.5. Ensayo de Viscosidad (AASHTO T-201).....	43
3.1.2 Agregados.....	46
3.1.2.1. Definición.....	46
3.1.2.2. Tipos.....	47
3.1.2.2.1. Según su tamaño.....	47
3.1.2.2.1.1. Gruesos.....	47
3.1.2.2.1.2. Finos.....	47
3.1.2.2.1.3. Filler o Llenante Mineral.....	47
3.1.2.2.2. Según su origen.....	47
3.1.2.2.2.1. Naturales.....	47
3.1.2.2.2.2. Procesados.....	47
3.1.2.2.2.3. Estabilizados.....	47
3.1.2.2.2.4. Artificiales (o sintéticos).....	48
3.1.2.2.3. Según el origen y su dureza.....	48
3.1.2.2.3.1. Rocas sedimentarias.....	48
3.1.2.2.3.2. Rocas Ígneas.....	48
3.1.2.2.3.3. Rocas metamórficas.....	49
3.1.2.3. Importancia de los agregados en mezclas asfálticas.....	49
3.1.2.4. Propiedades de los agregados.....	50
3.1.2.4.1. Tamaño máximo de la partícula. ....	51
3.1.2.4.2. Granulometría. ....	51

3.1.2.4.3. Resistencia al desgaste.....	52
3.1.2.4.4. Textura superficial.....	53
3.1.2.4.5. Forma de la partícula.....	53
3.1.2.4.6. Afinidad con el asfalto.....	53
3.1.2.4.7. Peso específico.....	54
3.1.2.4.8. Limpieza.....	55
3.1.2.5. Procedimientos de Ensayos de Control de Calidad de Agregados.....	56
3.1.2.5.1. Tipos de Agregados a ser Utilizados.....	56
3.1.2.5.2. Mezcla de Áridos por el Método de Tanteo (Representación Gráfica).....	57
3.1.2.5.3. Dimensiones Nominales de los Tamices que se Utilizaran en Granulometría.....	57
3.1.2.5.4. Procedimientos de Ensayos para la Investigación.....	58
3.1.2.5.5. Ensayo de Granulometría.....	58
3.1.2.5.5.1. Tamizado por vía húmeda (AASHTO T11 Y ASTM C117).....	58
3.1.2.5.5.2. Tamizado por la vía seca (AASHTO C136).....	61
3.1.2.5.6. Ensayo Abrasión o Desgaste (AASHTO T96 Y ASTM C131).....	62
3.1.2.5.7. Ensayo Determinación del Peso específico y Absorción (AASHTO T85 Y ASTM C127).....	69
3.1.2.5.7.1. Determinación de los pesos específicos de los Agregados gruesos (AASHTO T85 Y ASTM C127).....	69
3.1.2.5.7.2. Determinación de los pesos específicos de los Agregados finos (AASHTO T 84 Y ASTM C128).....	72
3.1.2.5.8. Ensayo Del Equivalente de Arena (AASHTO T-176 ASTM D2419).....	74
3.1.2.5.9. Ensayo de Caras Fracturadas (LVN - 3).....	79
3.1.2.5.10. Ensayo Índice de Aplanamiento y Alargamiento (LVN - 3).....	80

3.1.2.5.11. Ensayo de Durabilidad o Resistencia de los Agregados a los Sulfatos (ASTM C88 AASHTO T-104).....	83
3.1.3. Filler Mineral.....	87
3.1.3.1. Definición.....	87
3.1.3.2. Tipos de filler para pavimentos flexibles.....	87
3.1.3.2.1. Procesos de trituración de rocas.....	87
3.1.3.2.2. Procesos industriales.....	87
3.1.3.2.3. Otros.....	88
3.1.3.3. Concepto del Filler en mezclas Asfálticas.....	88
3.1.3.3.1. Primer Concepto.....	88
3.1.3.3.2. Segundo Concepto.....	88
3.1.3.4. “Concentración Crítica” de Filler, en Dosificación de mezclas asfálticas.....	89
3.1.3.4.1. Origen del Criterio de “Concentración Crítica” del Filler Cs.....	89
3.1.3.4.2. Ensayo de Determinación de la concentración Crítica de Filler. (Norma IRAM 1542/83, Arg.).....	92
3.1.3.5. Requisitos de control de Calidad de Filler empleados para pavimentos.....	97
3.1.4. Cemento Portland.....	98
3.1.4.1. Definición.....	98
3.1.4.2. Control de Calidad del Cemento Portland para la utilización del Filler.....	98
3.1.4.2.1. Módulo de finura N.B. 2.1. – 015.....	98
3.1.4.2.2. Peso Especifico N.B. 2.1. – 011.....	100
3.1.4.2.3. Concentración Crítica.....	101
3.1.4.3. Tipos de Cemento EL PUENTE.....	102
3.1.4.3.1. Cemento “EL PUENTE - Estándar” Tipo IP – 30 Resistencia Normal (NB – 011/95).....	102

3.1.4.3.2. Cemento “EL PUENTE - Especial” Tipo IP -40	
Alta Resistencia (NB – 011/95).....	102
3.1.4.3.3. Presentación en el mercado.....	102
3.1.4.4. Puzolana.....	103
3.1.4.5. Resumen de Control de Calidad.....	103
3.1.4.5.1. Agregados.....	104
3.1.4.5.2. Filler.....	105
3.1.4.5.3. Cemento Asfáltico.....	105

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL**

	<b>Pag.</b>
4.1. Introducción.....	106
4.2. Descripción del Método Marshall.....	107
4.3. Importancia.....	108
4.4. Variables.....	108
4.5. Equipo Marshall.....	109
4.6. Procedimiento Marshall de ensayo.....	109
4.6.1. Numero de Muestras.....	109
4.6.2. Preparación de los Agregados.....	109
4.6.3. Determinación de las Temperaturas de Mezcla y Compactación.....	110
4.6.4. Preparación de la Mezcla.....	111
4.6.5. Compactación de las Mezclas.....	112
4.7. Cálculos en la Mezcla.....	113

4.7.1. Determinación del peso Especifico Bulk.....	113
4.7.2. Ensayo de Estabilidad y Flujo.....	114
4.7.3. Análisis de Densidad y Vacios.....	115
4.7.3.1. Definiciones.....	116
4.7.3.2. Contenido de Asfalto Efectivo, Pbe.....	119
4.7.3.3. Vacios de Aire, Va.....	119
4.7.3.4. Vacios llenos de Asfalto, VFA.....	119
4.7.3.5. Análisis de Densidad Vacios.....	119
4.7.3.6. Vacios del Agregado Mineral, VMA.....	119
4.7.3.7. Peso Específico Bruto del Agregado Total.....	119
4.7.3.8. Peso Específico Máximo de la Mezcla Asfáltica.....	120
4.7.3.9. Peso Específico Efectivo del Agregado.....	120
4.7.3.10. Asfalto Absorbido por el Agregado.....	121
4.7.3.11. Contenido Efectivo de Asfalto.....	121
4.7.3.12. Peso Específico Máximo Teórico de la Mezcla Asfáltica.....	122
4.7.3.13. Porcentaje de Vacios de Aire en la Mezcla.....	123
4.7.3.14. Contenido de Vacios en el Agregado Mineral.....	124
4.7.3.15. Porcentaje Vacios Llenos de Asfalto.....	125

## **CAPÍTULO V**

### **ANALISIS DEL EFECTO DE LLENANTE MINERAL**

#### **DE CEMENTO PORTLAND**

	<b>Pag.</b>
5.1. Resultados de Combinaciones de los distintos agregados (método por tanteos)....	126
5.1.1. Formula de Trabajo.....	126

5.1.2. Determinación del Contenido Mínimo de Cemento Asfáltico por el Método de, (Distribución de Partículas). .....	127
5.1.3. Determinación del Contenido Mínimo de Cemento Asfáltico por el Método de (Área Superficial).....	129
5.2. Preparación de las Mezclas.....	133
5.3. Resumen de porcentaje que pasa de los agregados, a emplear en la Dosificación de la Mezcla.....	133
5.4. Dosificación de la Mezcla Asfáltica en Función de las Combinaciones de los Agregados. ....	134
5.5. Secuencia de los Cálculos.....	154
5.6. Calculo del Peso Específico para el Método Marshall.....	154
5.6.1. Combinación Nro.1 .....	154
5.6.2. Combinación Nro.2.....	156
5.6.3. Combinación Nro.3.....	157
5.7. Criterios para la Investigación según el Clima y según el Tráfico.....	158
5.8. Dosificación Marshall.....	158
5.9. Correcciones de Altura de cada Probeta.....	159
5.10. Calculo de la Relación Concentración Crítica y Concentración Volumétrica (Cv/Cs).....	161
5.11. Cálculos y Graficas de las Propiedades del Concreto Asfáltico Método Marshall. ....	161
5.12. Calculo de la Relación de Concentración.....	174
5.12.1. Combinación 1 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	174
5.12.2. Combinación 2 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	176

5.12.3. Combinación 3 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	179
5.13. Calculo del % de Cemento Asfaltico en Función de la Ecuación (Criterio para el Cálculo del Porcentaje Optimo).....	182
5.13.1. Combinación 1 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	182
5.13.2. Combinación 2 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	188
5.13.3. Combinación 3 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	195
5.14. Resumen del Porcentaje del Cemento Asfaltico Óptimo.....	203
5.14.1. Combinación 1 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	203
5.14.2. Combinación 2 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	205
5.14.3. Combinación 3 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	207
5.15. Análisis de Resultados Obtenidos en Laboratorio.....	208
5.15.1. Combinación 1 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	208
5.15.2. Combinación 2 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	210
5.15.3. Combinación 3 – (Caso Nro. 1 y Caso Nro. 2).....	211
5.16. Evaluación con el Porcentaje Óptimo de Filler. ....	212
5.16.1. Grafica Comparación Estabilidad.....	213
5.16.2. Grafica Comparación Fluencia.....	213
5.16.3. Grafica Comparación Densidad.....	214
5.16.4. Grafica Comparación % Vacios de la Mezcla.....	214
5.16.5. Grafica Comparación % Vacios del Agregado Mineral.....	215
5.16.6. Grafica Comparación % Cemento Asfaltico Optimo.....	215
5.17. Evaluación con los Porcentajes de las 3 Combinaciones de Filler.....	216
5.17.1. Grafica Comparación Estabilidad.....	216
5.17.2. Grafica Comparación Fluencia.....	217

5.17.3. Grafica Comparación Densidad.....	217
5.17.4. Grafica Comparación % Vacios de la Mezcla.....	218
5.17.5. Grafica Comparación % Vacios del Agregado Mineral.....	218
5.17.6. Grafica Comparación % Relación Bitumen – Vacios.....	219
5.18. Resumen de los resultados.....	220
5.19. Análisis de Precios Unitarios.....	221
5.19.1. Cálculos de Rendimientos Filler Mineral Natural. (Para 3,70%).....	221
5.19.2. Cálculos de Rendimientos Filler Cemento Portland IP-30. (Para 3,70%).....	222
5.20. Resumen Final de Costos.....	226

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Pag.</b>
6.1. Análisis de Resultados.....	228
6.2. Conclusiones.....	231
6.3. Recomendaciones.....	233
Bibliografía.....	235

ANEXO A: ENSAYOS AGREGADOS.

ANEXO B: ENSAYOS CEMENTO ASFALTICO (85-100).

ANEXO C: ENSAYOS FILLER NATURAL.

ANEXO D: ENSAYOS CEMENTO PORTLAND

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>Pag.</b>
Tabla 1. Clasificación de las Mezclas Asfálticas.....	12
Tabla 2. Propiedades de las Mezclas Asfálticas.....	12
Tabla 3. Especificaciones para el uso de Cementos Asfálticos según Clima y Tipo de Pavimentación.....	26
Tabla 4. Cementos Asfálticos que actualmente se utilizan en Bolivia.....	27
Tabla 5. Clasificación Del Cemento Asfáltico Según El Peso Específico.....	28
Tabla 6. Ensayo de Peso Específico.....	32
Tabla 7. Sistema de Clasificación por Penetración.....	34
Tabla 8. Ensayo de Penetración.....	37
Tabla 9. Ensayo de Punto de Ablandamiento.....	40
Tabla 10. Ensayo de Punto de Inflamación y Encendido.....	42
Tabla 11. Clasificación según su Viscosidad.....	43
Tabla 12. Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol.....	46
Tabla 13. Especificación ASTM.....	50
Tabla 14. Especificaciones granulométricas para mezclas Densas.....	52
Tabla 15. Especificaciones de Granulometría para la Investigación.....	56
Tabla 16. Ensayo de Granulometría y Clasificación Material de 3/4”.....	59
Tabla 17. Ensayo de Granulometría y Clasificación Material de 3/8”.....	60
Tabla 18. Ensayo de Granulometría y Clasificación Arena Chancada.....	60
Tabla 19. Nro. De Esferas ensayo de los Ángeles.....	64
Tabla 20. Consideraciones según la muestra y el tamaño del agregado.....	64
Tabla 21. Ensayo de Desgaste de los Ángeles Material de 3/4".....	67
Tabla 22. Ensayo de Desgaste de los Ángeles Material de 3/8".....	68

Tabla 23. Ensayo de Peso Especifico Material de 3/4".....	71
Tabla 24. Ensayo de Peso Especifico Material de 3/8".....	71
Tabla 25. Ensayo de Peso Especifico Material Arena Chancada.....	74
Tabla 26. Ensayo de Equivalente de Arena.....	78
Tabla 27. Ensayo de Caras fracturadas Material de 3/4".....	80
Tabla 28. Ensayo de Caras fracturadas Material de 3/8".....	80
Tabla 29. Ensayo de Índice de Aplanamiento de las partículas.....	82
Tabla 30. Ensayo de Índice de Alargamiento de las partículas.....	83
Tabla 31. Ensayo de Durabilidad de las partículas.....	86
Tabla 32. Ensayo de Modulo de Finura Filler Natural (N.B 2.1 – 015).....	96
Tabla 33. Ensayo de Peso Especifico de Filler Natural (N.B 2.1 – 011).....	96
Tabla 34. Ensayo de Concentración Critica de Filler Natural.....	97
Tabla 35. Requisitos de Control de Calidad de Filler empleados para Pavimentos.....	97
Tabla 36. Ensayo de Modulo de Finura Cemento Portland (N.B 2.1 – 015).....	99
Tabla 37. Ensayo de Peso Especifico de Cemento Portland (N.B 2.1 – 011).....	101
Tabla 38. Ensayo de Concentración Critica de Cemento Portland.....	101
Tabla 39. Clasificación y Composición de los Cementos.....	103
Tabla 40. Control de Calidad de los Agregados.....	104
Tabla 41. Control de Calidad de Filler Mineral Natural.....	105
Tabla 42. Control de Calidad de Cemento Portland .....	105

Tabla 42.1. Representación Método por Tanteos.....	126
Tabla 43. Coeficientes de Asfalto de acuerdo al Tipo de Agregado.....	128
Tabla 44. Constantes de Áreas Superficiales.....	130
Tabla 45. Índice Asfáltico.....	131
Tabla 46. Diferentes Contenidos de Cemento Asfáltico.....	132
Tabla 47. Criterios de Diseño Marshall.....	158
Tabla 48. Mínimo Porcentaje de Vacíos de Agregado mineral (VMA).....	158
Tabla 49. Factor de corrección para alturas de cada probeta.....	160
Tabla 50. Comparación de Costos.....	233

<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>Pag.</b>
Grafico 1. Interpretación de Vacíos en un agregado.....	55
Grafico 2. Comportamiento de Filler en Mezclas Asfálticas en Caliente.....	92
Grafico 3. Carta de Viscosidad.....	111
Grafico 4. Ilustración de los Parámetros de diseño Volumétricos (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 2004).....	116
Grafico 5. Diagrama de fases de una mezcla asfáltica compactada (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 2004).....	118
Grafico 7. Formula de Trabajo.....	127
Grafico 8. Interpolación Tamiz Nro. 10.....	129