

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



**“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA POROSIDAD EN LA ESTABILIDAD
MARSHALL, INCORPORANDO CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS A LA
MEZCLA ASFÁLTICA POROSA”**

Por:

JHONER MARTIN JIMENEZ ALTAMIRANO

Proyecto 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 I 2019

TARIJA - BOLIVIA

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

**“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA POROSIDAD EN LA ESTABILIDAD
MARSHALL, INCORPORANDO CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS A LA
MEZCLA ASFÁLTICA POROSA”**

Por:

JHONER MARTIN JIMENEZ ALTAMIRANO

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

Julio de 2019

Tarija - Bolivia

.....
V°B° Ing. Luis Alberto Yurquina Flores

DOCENTE DE LA MATERIA CIV - 502

.....
M. Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez

**DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANA FACULTAD
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL

.....
Ing. Marcelo Pacheco Núñez

.....
Ing. Laura Karina Soto Salgado

.....
Ing. Moisés Díaz Ayarde

El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidariza con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por darme salud, sabiduría y a mis padres Alberto Jimenez Borja y Justina Altamirano Alvarado, a mi hermano y hermanas, por brindarme su apoyo y amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, cuando me caía tú me levantabas, me permitías sonreír ante mis fracasos y logros que son resultado de tu ayuda.

A mi padre Alberto Jimenez Borja por ser un ejemplo, un pilar fundamental para formarme y estar siempre apoyándome para que pueda culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre Justina Altamirano Alvarado quien con su amor incondicional, sus palabras de aliento no me dejaba decaer para que siga adelante y pueda cumplir con mis sueños.

A mi hermano y hermanas por brindarme sus palabras de aliento durante todos estos años de mi formación.

A todos los docentes que me brindaron sus conocimientos durante mi formación.

PENSAMIENTO

La lógica te llevará desde A hasta B. La imaginación te llevará a todas partes.

Albert Einstein

ÍNDICE DEL CONTENIDO

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

	Pág.
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	3
1.4. PROBLEMA	3
1.5. OBJETIVOS.....	3
1.5.1. Objetivo general	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
1.6. HIPÓTESIS	4
1.6.1. Identificación de variables	4
1.7. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.8. PROCEDIMIENTO SEGÚN PERSPECTIVA	5
1.9. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	6

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

	Pág.
2.1. MARCOTEÓRICO	8
2.1.1. Pavimento flexible.....	8
2.1.2. Estructuras de un pavimento flexible.....	9
2.1.2.1. Capa de base asfáltica	9
2.1.2.2. Capa asfáltica intermedia o binder.....	9

2.1.2.3.	Capa de rodadura o carpeta	9
2.1.2.4.	Base granular.....	9
2.1.2.5.	Subbase granular	9
2.1.2.6.	Subrasante granular.....	9
2.1.2.7.	Secciones típicas de pavimentos flexibles	10
2.1.3.	Mezclas porosas o drenantes	11
2.1.3.1.	Especificación granulométrica para mezclas porosas	12
2.1.3.2.	Ventajas y desventajas de las mezclas porosas	14
2.1.4.	Características de los materiales a utilizar	16
2.1.4.1.	Características principales de los agregados pétreos para pavimentos	16
2.1.4.2.	El asfalto	18
2.1.4.3.	Caucho	20
2.1.5.	Proceso metodológico para la fabricación del polvo de caucho reciclado en masa	21
2.1.5.1.	Tratamiento mecánico previo (troceado)	21
2.1.5.2.	Trituración ambiental.....	22
2.1.5.3.	Trituración criogénica.....	23
2.1.6.	Técnicas de incorporación en mezclas asfálticas	24
2.1.7.	Métodos de adición de Grano de Caucho Reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas	24
2.1.7.1.	Proceso por vía húmeda	24
2.1.7.2.	Proceso por vía seca.....	27

2.1.8.	Proceso químico - mecánico de la mezcla asfáltica porosa al incorporar el caucho reciclado	30
2.1.9.	Especificaciones generales para el diseño de las mezclas asfálticas porosas.....	33
2.1.10.	Especificaciones generales para la caracterización de los materiales	35
2.1.10.1.	Caracterización del cemento asfáltico.....	35
2.1.10.2.	Caracterización de los agregados pétreos	36
2.2.	MARCO REFERENCIAL.....	37
2.3.	MARCO NORMATIVO	38
2.4.	ANÁLISIS Y TENDENCIA	39

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN

	Pág.	
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	40
3.2.	UBICACIÓN DE LA FUENTE DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE	40
3.2.1.	Ubicación y coordenadas del agregado pétreo.....	40
3.2.2.	Ubicación del cemento asfáltico	41
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	41
3.3.1.	Población.....	41
3.3.2.	Muestra.....	41
3.3.3.	Tamaño de muestra.	42
3.4.	CRITERIOS DE SELECCIÓN, USO Y APLICACIÓN.....	43

3.4.1.	Criterios de selección de agregados pétreos.....	43
3.4.2.	Criterios de selección del cemento asfáltico	44
3.4.3.	Criterios de selección del grano de caucho reciclado	44
3.4.4.	Criterios de la variación de porcentaje del grano de caucho reciclado	44
3.5.	CRITERIOS PARA EL NÚMERO DE ENSAYOS.....	44
3.5.1.	Criterio para el número de ensayos para el agregado pétreo.....	44
3.5.2.	Criterios para el número de ensayos para el cemento asfáltico.....	45
3.6.	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO Y EL FILLER.....	46
3.6.1.	Granulometría de los agregados grueso y fino.....	46
3.6.2.	Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados	53
3.6.2.1.	Índice de aplanamiento de los agregados.....	54
3.6.2.2.	Índice de alargamiento de los agregados	55
3.6.3.	Porcentajes de caras fracturadas en los agregados	57
3.6.4.	Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles.....	58
3.6.5.	Peso específico del agregado fino	60
3.6.6.	Peso específico del agregado grueso	62
3.6.7.	Equivalente de arena	64
3.6.8.	Peso específico del filler	65
3.6.9.	Resumen de las características de los agregados a utilizar	67
3.7.	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN AL CEMENTO ASFÁLTICO.....	67
3.7.1.	Penetración.....	67

3.7.2.	Punto de inflamación.....	68
3.7.3.	Punto de ablandamiento	69
3.7.4.	Ductilidad.....	70
3.7.5.	Peso específico.....	71
3.7.6.	Resumen de las características del cemento asfáltico a utilizar	73
3.8.	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO DE LLANTA.....	73
3.8.1.	Granulometría.....	73
3.8.2.	Peso específico.....	76

CAPÍTULO IV

APLICACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO

	Pág.	
4.1.	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS.....	78
4.2.	RESUMEN DE RESULTADOS DEL RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN	78
4.3.	CRITERIO Y SELECCIÓN PARA EL NÚMERO DE BRIQUETAS	79
4.4.	COMBINACIÓN DE AGREGADOS	80
4.5.	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA POROSA CONVENCIONAL	82
4.5.1.	Dosificación para la elaboración de briquetas convencionales	82
4.5.2.	Elaboración de briquetas	83
4.5.2.1.	Preparación de la mezcla.....	83

4.5.2.2.	Compactación de la muestra	84
4.5.3.	Relevamiento de información de las briquetas realizadas	85
4.5.3.1.	Alturas y diámetros de las briquetas	85
4.5.3.2.	Pesos de las briquetas.....	87
4.5.4.	Proceso de cálculo para las briquetas compactadas	87
4.5.4.1.	Determinación de la densidad bulk de las probetas compactadas	88
4.5.4.2.	Determinación de la densidad máxima teórica de las probetas compactadas	90
4.5.4.3.	Porcentaje de vacíos de las briquetas compactadas	91
4.5.4.4.	Permeabilidad de las briquetas compactadas	91
4.5.4.5.	Cántabro seco de las briquetas compactadas	92
4.5.4.6.	Cántabro húmedo de las briquetas compactadas.....	93
4.5.4.7.	Estabilidad y fluencia.....	94
4.5.5.	Análisis de resultados para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico.....	97
4.6.	PROCEDIMIENTO DE LA INCORPORACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO A LA MEZCLA ASFÁLTICA POROSA	101
4.7.	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO EN RELACIÓN AL PORCENTAJE DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO	102
4.7.1.	Dosificación para la elaboración de briquetas con 0.50 % de GCR.....	102

4.7.2.	Elaboración de briquetas	102
4.7.3.	Relevamiento de información de las briquetas realizadas	103
4.7.3.1.	Alturas y diámetros de las briquetas	103
4.7.3.2.	Pesos de las briquetas.....	103
4.7.4.	Proceso de cálculo para las briquetas compactadas	103
4.7.4.1.	Determinación de la densidad bulk de las probetas compactadas	104
4.7.4.2.	Determinación de la densidad máxima teórica de las probetas compactadas	104
4.7.4.3.	Porcentaje de vacíos de las briquetas compactadas	104
4.7.4.4.	Permeabilidad de las briquetas compactadas	104
4.7.4.5.	Estabilidad y fluencia de las briquetas compactadas	105
4.7.5.	Análisis de resultados para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico en relación al porcentaje de grano de caucho reciclado	105
4.8.	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA POROSA CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS POR PROCESO DE VÍA SECA	112
4.9.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS	117
4.10.	PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	123
4.11.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO COMO ADITIVO EN LA MEZCLA ASFÁLTICA POROSA.....	126

4.12.	PRECIOS UNITARIOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA POROSA CONVENCIONAL Y MODIFICADA CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) POR VÍA SECA.....	127
4.12.1.	Análisis económico	130

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Pág.	
5.1.	CONCLUSIONES	132
5.2.	RECOMENDACIONES	134

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2. 1. Estructura de un pavimento flexible	8
Figura 2. 2. Estructura de pavimento para tráfico ligero.....	10
Figura 2. 3. Estructura de pavimento para tráfico medio	10
Figura 2. 4. Estructura de pavimento para tráfico pesado	11
Figura 2. 5. Mezcla asfáltica porosa.....	12
Figura 2. 6. Franja granulométrica para mezclas porosas o drenantes.....	13
Figura 2. 7. Proyecciones de agua.....	14
Figura 2. 8. Hidroplaneo	15
Figura 2. 9. Macrotextura de pavimento	15
Figura 2. 10. Gradación de los agregados.....	17
Figura 2. 11. Adhesión y cohesión.....	19
Figura 2. 12. Trituración mecánica por acción de cuchillas	22
Figura 2. 13. Polvo de caucho de tamaño menor a 2mm (izq.) y 1mm (der.).....	23
Figura 2. 14. Proceso por vía húmedo.....	26
Figura 2. 15. Proceso por vía seca.....	28
Figura 2. 16. Efecto del aditivo.....	30

ÍNDICE DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 2. 1. Grano de caucho reciclado de llantas	20
Imagen 3. 1. Ubicación, planta chancadora de Charajas	41
Imagen 3. 2. Ensayo de granulometría del agregado grueso y fino	47
Imagen 3. 3. Ensayo de aplanamiento de los agregados	54
Imagen 3. 4. Ensayo de índice de aplanamiento de agregados	55
Imagen 3. 5. Ensayo de caras fracturadas de los agregados	57
Imagen 3. 6. Ensayo de abrasión de agregado grueso	59
Imagen 3. 7. Ensayo de peso específico del agregado fino	60
Imagen 3. 8. Ensayo de peso específico del agregado grueso	62
Imagen 3. 9. Ensayo de equivalente de arena.....	65
Imagen 3. 10. Ensayo peso específico del filler	66
Imagen 3. 11. Ensayo de penetración del cemento asfáltico	68
Imagen 3. 12. Ensayo de punto de inflamación del cemento	69
Imagen 3. 13. Ensayo de punto de ablandamiento del cemento asfáltico	70
Imagen 3. 14. Ensayo de ductilidad del cemento asfáltico.....	71
Imagen 3. 15. Ensayo de peso específico del cemento.....	72
Imagen 3. 16. Granulometría del grano de caucho reciclado	74
Imagen 3. 17. Ensayo peso específico del caucho reciclado	76
Imagen 4. 1. Dosificación para las mezclas asfálticas porosas	83
Imagen 4. 2. Mezclado de los agregados con el cemento asfáltico	84
Imagen 4. 3. Compactación de la muestra.....	85
Imagen 4. 4. Medición de alturas y diámetros de briquetas	86

Imagen 4. 5. Pesos de las briquetas	87
Imagen 4. 6. Medición de la permeabilidad	92
Imagen 4. 7. Ensayo de cántabro seco y húmedo	93
Imagen 4. 8. Ensayo de estabilidad y fluencia	94
Imagen 4. 9. Mezcla con el porcentaje de GCR	102

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2. 1. Contenido de vacíos aceptado en algunos países.....	12
Tabla 2. 2. Franja granulométrica para mezcla porosa o drenante	13
Tabla 2. 3. Terminología asociada al uso de polvo de caucho en mezclas Asfálticas	24
Tabla 2. 4. Criterios específicos para el ensayo Marshall.....	34
Tabla 2. 5. Especificaciones para el cemento asfáltico.....	35
Tabla 2. 6. Especificaciones para los agregados pétreos	36
Tabla 2. 7. Normas aplicadas para la caracterización del agregado, cemento asfáltico y mezclas asfálticas.....	38
Tabla 3. 1. Planilla de muestreo.....	43
Tabla 3. 2. Ensayos a realizar en los agregados pétreos y el filler.....	45
Tabla 3. 3. Ensayos a realizar en el cemento asfáltico.....	46
Tabla 3. 4. Datos de las granulometrías de la grava de 3/4"	47
Tabla 3. 5. Datos de las granulometrías de la grava de 3/8"	48
Tabla 3. 6. Datos de las granulometrías de arena	48
Tabla 3. 7. Datos de la granulometría del filler	49
Tabla 3. 8. Resultado de la granulometría - ensayo N° 1	49
Tabla 3. 9. Resultado de la granulometría - ensayo N° 2	50
Tabla 3. 10. Resultado de la granulometría - ensayo N° 3	51
Tabla 3. 11. Resultado de la granulometría del filler.....	52
Tabla 3. 12. Datos del ensayo de índice de aplanamiento	54
Tabla 3. 13. Resultados del ensayo de índice de aplanamiento	55

Tabla 3. 37. Datos de la granulometría del grano de caucho reciclado	74
Tabla 3. 38. Resultado de la granulometría del grano de caucho reciclado.....	75
Tabla 3. 39. Datos del ensayo de peso específico del caucho.....	76
Tabla 3. 40. Resultados del ensayo de peso específico del caucho	77
Tabla 4. 1. Resumen de resultados de las características de los agregados	78
Tabla 4. 2. Resumen de resultados de las características del cemento asfáltico.....	79
Tabla 4. 3. Cantidad de briquetas para el contenido óptimo de C.A	79
Tabla 4. 4. Total de briquetas a realizar.....	80
Tabla 4. 5. Combinación de los agregados pétreos.....	81
Tabla 4. 6. Dosificación para la elaboración de briquetas	82
Tabla 4. 7. Alturas y diámetros de las briquetas	86
Tabla 4. 8. Pesos de las briquetas	87
Tabla 4. 9. Resultados de gravedad específica bulk	89
Tabla 4. 10. Resultados de porcentaje de vacíos	91
Tabla 4. 11. Resultados de permeabilidad	92
Tabla 4. 12. Resultados de cántabro seco	93
Tabla 4. 13. Resultados de cántabro húmedo	94
Tabla 4. 14. Resultados del ensayo Marshall.....	95
Tabla 4. 15. Transformación de la estabilidad en lb	95
Tabla 4. 16. Factor de corrección por altura, para la estabilidad Marshall.....	96
Tabla 4. 17. Factor de corrección por altura de briquetas.....	96
Tabla 4. 18. Estabilidad corregida	97
Tabla 4. 19. Estabilidad y fluencia real.....	97
Tabla 4. 20. Resumen de resultados de ensayos realizados a las briquetas	97

Tabla 4. 21. Resumen de resultados del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.....	101
Tabla 4. 22. Dosificación para la elaboración de briquetas con 0.5 % de GCR	102
Tabla 4. 23. Alturas y diámetros de las briquetas con 0.50 % de GCR.....	103
Tabla 4. 24. Pesos de las briquetas con 0.50 % de GCR	103
Tabla 4. 25. Gravedad específica bulk de las briquetas con 0.50 % de GCR.....	104
Tabla 4. 26. Porcentaje de vacíos con 0.50 % de GCR	104
Tabla 4. 27. Permeabilidad de las briquetas con 0.50 % de GCR	104
Tabla 4. 28. Estabilidad y fluencia real de briquetas con 0.50 % de GCR	105
Tabla 4. 29. Resumen de resultados de ensayos realizados con 0.50 % de GCR.....	105
Tabla 4. 30. Resultados del porcentaje óptimo de grano de caucho reciclado	108
Tabla 4. 31. Porcentajes óptimos de cementos asfálticos en relación al GCR	109
Tabla 4. 32. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica porosa, con GCR.....	113
Tabla 4. 33. Resultados de cántabro para el diseño de la mezcla asfáltica porosa, con GCR.....	116
Tabla 4. 34. Desviación estándar de resultados para el diseño	118
Tabla 4. 35. Tratamiento estadístico para el diseño de una mezcla asfáltica porosa con GCR.....	120
Tabla 4. 36. Tipos de relación en función a la hipótesis.....	124
Tabla 4. 37. Dosificación para la mezcla asfáltica porosa convencional.....	127
Tabla 4. 38. Dosificación de la mezcla asfáltica porosa para un metro cúbico	128
Tabla 4. 39. Dosificación de la mezcla asfáltica porosa modificada	128
Tabla 4. 40. Dosificación de la mezcla asfáltica porosa modificada	128
Tabla 4. 41. Costo de producción del GCR	129

Tabla 4. 42. Resumen de precios unitarios para una mezcla asfáltica
porosa convencional 129

Tabla 4. 43. Resumen de precios unitarios para una mezcla asfáltica
porosa con GCR..... 130

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 3. 1. Curva granulométrica - ensayo N° 1	50
Gráfica 3. 2. Curva granulométrica - ensayo N° 2	51
Gráfica 3. 3. Curva granulométrica - ensayo N° 3	52
Gráfica 3. 4. Curva granulométrica del filler	53
Gráfica 3. 5. Curva granulométrica del grano de caucho reciclado	75
Gráfica 4. 1. Granulometría formada para la mezcla porosa.....	81
Gráfica 4. 2. Porcentajes de vacíos de la mezcla asfáltica porosa.....	98
Gráfica 4. 3. Desgaste cántabro seco de la mezcla asfáltica porosa.....	98
Gráfica 4. 4. Desgaste cántabro húmedo de la mezcla asfáltica porosa	99
Gráfica 4. 5. Permeabilidad de la mezcla asfáltica porosa	99
Gráfica 4. 6. Estabilidad de la mezcla asfáltica porosa	100
Gráfica 4. 7. Fluencia de la mezcla asfáltica porosa	100
Gráfica 4. 8. Densidad Vs. porcentaje de cemento asfáltico	106
Gráfica 4. 9. Porcentaje de vacíos Vs. porcentaje de cemento asfáltico	106
Gráfica 4. 10. Estabilidad Vs. porcentaje de cemento asfáltico	107
Gráfica 4. 11. Fluencia Vs. porcentaje de cemento asfáltico	107
Gráfica 4. 12. Permeabilidad Vs. porcentaje de cemento asfáltico	108
Gráfica 4. 13. Densidades con porcentajes óptimos de grano de caucho reciclado	109
Gráfica 4. 14. Vacíos con porcentajes óptimos de grano de caucho reciclado	110

Gráfica 4. 15. Estabilidad con porcentajes óptimos de grano de caucho reciclado	110
Gráfica 4. 16. Fluencia con porcentajes óptimos de grano de caucho reciclado	111
Gráfica 4. 17. Permeabilidad con porcentajes óptimos de grano de caucho reciclado	111
Gráfica 4. 18. Comparación de porcentaje de vacíos	114
Gráfica 4. 19. Comparación de estabilidad	114
Gráfica 4. 20. Comparación de flujo	115
Gráfica 4. 21. Comparación de permeabilidad.....	115
Gráfica 4. 22. Desgaste de cántabro seco con GCR	116
Gráfica 4. 23. Desgaste de cántabro húmedo con GCR	117
Gráfica 4. 24. Densidad real para el diseño de la mezcla asfáltica porosa con GCR	121
Gráfica 4. 25. Porcentaje de vacíos para el diseño de la mezcla asfáltica porosa con GCR	121
Gráfica 4. 26. Estabilidad para el diseño de la mezcla porosa con GCR	122
Gráfica 4. 27. Fluencia para el diseño de la mezcla porosa con GCR	122
Gráfica 4. 28. Permeabilidad para el diseño de la mezcla porosa con GCR	123
Gráfica 4. 29. Tipos de regiones según el tipo de relación en función a la hipótesis.....	124
Gráfica 4. 30. Región 3, cola a la izquierda	125
Gráfica 4. 31. Región 3, con valores calculados	126

Gráfica 4. 32. Análisis económico de una mezcla asfáltica convencional y
una modificada 131

ÍNDICE DE ESQUEMAS

	Pág.
Esquema 1.1. Procedimiento según perspectiva	5
Esquema 2. 1. Etapas para la obtención del polvo de caucho.....	21

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Caracterización de los agregados

ANEXO 2. Caracterización del cemento asfáltico

ANEXO 3. Caracterización del grano de caucho reciclado

ANEXO 4. Diseño de la mezcla asfáltica porosa

ANEXO 5. Precios unitarios