

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DPTO. DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**



**“USO DEL RAP CON GEOCELDAS PARA ESTRUCTURAS DE  
PAVIMENTO APLICADO A NUESTRO MEDIO ”**

**Por:**

**SILVIA COLQUE CHOQUE**

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 - 2020**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DPTO. DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**

**“USO DEL RAP CON GEOCELDAS PARA ESTRUCTURAS DE  
PAVIMENTO APLICADO A NUESTRO MEDIO ”**

**Por:**

**SILVIA COLQUE CHOQUE**

**Semestre – I - 2020**

**TARIJA - BOLIVIA**

V°B°

-----  
M.Sc. Ing. Ernesto Roberto Alvarez Gozávez

**DECANO**  
**FACULTAD DE**  
**CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

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

**VICEDECANA**  
**FACULTAD DE**  
**CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**TRIBUNAL:**

-----  
Msc. Ing. Marcelo Humberto Pacheco Núñez

-----  
Ing. Ada Gladys López Rueda

-----  
Ing. José Ricardo Arce Avendaño

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.

**DEDICADO A:**

Dios, a mi abuelito Jacinto, ejemplo de fortaleza y lucha, a mis padres, a mi hija Romina, a mi esposo Omar, a mis hermanas y a todas aquellas personas que de alguna manera me enseñaron que en la perseverancia y la continuidad está el éxito.

### **AGRADECIMIENTOS:**

Agradecer infinitamente a Dios, porque es gracias a su bendición que se pudo cumplir esta etapa de mi vida, a mi madre ejemplo de fortaleza, a mi padre que me enseñó que siempre se debe luchar por los sueños, por sobre todo a mi principal motivo de continuar, mi hija Romina, a mi esposo Omar que siempre estuvo ahí para sostenerme y no dejarme caer, a mis hermanas y a todas aquellas personas que de alguna manera me ayudaron a cumplir esta meta en mi vida.

### **PENSAMIENTO:**

Le llaman suerte, pero es constancia. Le llaman casualidad, pero es disciplina. Le llaman genética, pero es sacrificio. Ellos hablan, tú entrena.

Acción poética.

## ÍNDICE

Advertencia

Dedicatoria

Agradecimiento

Pensamiento

Resumen

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Introducción .....	1
1.2. Diseño teórico .....	2
1.3. Planteamiento del problema. ....	2
1.4. Situación problemática.....	2
1.5. Problema .....	4
1.6. Objetivos. ....	5
1.6.1. Objetivo general. ....	5
1.6.2. Objetivos específicos. ....	5
1.7. Hipótesis.....	6
1.8. Definición de variables independientes y dependientes. ....	6
1.9. Alcance de la investigación.....	7



## CAPÍTULO II

### USO DE RAP Y GEOCELAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

	Página
2.1. Conceptos básicos de pavimento. ....	10
2.1.1. Definición de pavimento. ....	10
2.1.2. Componentes de un pavimento flexible. ....	10
2.1.2.1. Capa de rodadura. ....	11
2.1.2.2. Capa base. ....	11
2.1.2.3. Capa sub-base. ....	12
2.1.3. Características que debe reunir un pavimento. ....	14
2.1.4. Pavimentos flexibles. ....	14
2.2. Estudio de los suelos y propiedades físico-mecánicas. ....	16
2.2.1. Ensayo de granulometría. ....	16
2.2.1.1. Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422; AASHTO T-88) .....	16
2.2.1.2. Determinación del límite líquido, plástico e índice de plasticidad. ....	18
(ASTM D4318; AASHTO T-89 T-90) .....	18
2.2.1.3. Clasificación de suelos. ....	19
2.2.1.3.1. Sistema de clasificación AASHTO (ASTM D3282; AASHTO M-145). ....	19
2.2.1.4. Ensayo de compactación de suelos .....	22
2.2.1.4.1. Relaciones de peso unitario – Humedad en los suelos método modificado (Designación ASTM D422; AASHTO T-180).....	23
2.2.1.5. Determinación de la relación de soporte de los suelos en el laboratorio (CBR) relación soporte de california (ASTM D1883; AASHTO T-193).....	25
2.3. Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles. (Versión 1997) .....	26
2.3.1. Factores de diseño. ....	27
2.3.2. Ecuación de diseño para pavimentos flexibles. ....	27

2.3.2.1. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles.....	28
2.3.2.2. Variables que intervienen en el diseño.....	29
2.3.3. Determinación de espesores por capas.....	34
2.3.3.1. Coeficientes estructurales o de capa. ....	36
2.4. Introducción al reciclado de pavimentos.....	39
2.4.1. Campos de aplicación del reciclaje. ....	39
2.4.2. Tipos de reciclaje. ....	40
2.4.3. Ventajas de las técnicas de reciclado. ....	41
2.4.4. Formas de obtención del RAP.....	42
2.4.4.1. Reciclaje superficial. ....	42
2.4.4.2. Reciclaje en el lugar. ....	42
2.4.4.3. Reciclaje en planta (en caliente). ....	42
2.5. Conceptos básicos sobre geoceldas.....	42
2.5.1. Definición y antecedentes. ....	42
2.5.2. Características de las geoceldas. ....	43
2.5.2.1 Datos técnicos de las geoceldas. ....	46
2.5.3. Usos de las geoceldas en obras civiles.....	48
2.5.3.1. Estabilización de taludes. ....	48
2.5.3.2. Muros de contención de tierras y muros verdes.....	49
2.5.4. Geoceldas como refuerzo de la capa base y sub-base del pavimento flexible.....	50
2.5.4.1. Ventajas del uso de las geoceldas en colocación de capa base y sub-base. ....	51
2.5.5. Normas de ensayos en geotextiles.....	52
2.5.5.1. Resistencia a la tensión y alargamiento a la rotura de geotextiles ASTM D – 1682, ASTM D – 4532, INV E – 901 .....	52
2.5.5.2. Resistencia al punzonamiento de geotextiles ASTM D – 4833, INV E – 902. ...	53

2.5.5.3. Medida del espesor de materiales textiles ASTM – D 1777, INV E – 906. ....	53
2.5.5.4. Resistencia de los geotextiles a la ruptura ensayo de ruptura con diafragma hidráulico INV E – 908. ....	53
2.5.5.5. Tamaño de abertura aparente de geotextiles ASTM D – 4751, INV E – 910.....	54
2.5.5.6. Método estándar para determinar la retención de asfalto de geo-textiles usados en repavimentaciones asfálticas ASTM D-6140, INV E – 911.....	54

### **CAPÍTULO III**

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

	Página
3.1. Exploración para toma de muestras de suelo de capa base y capa sub-base.....	55
3.1.1. Ubicación del lugar de extracción de las muestras de capa base y capa sub-base.	55
3.1.1.1. Características del tramo. ....	56
3.1.1.1.1. Fisiografía. ....	56
3.1.1.1.2. Hidrografía. ....	56
3.1.1.1.3. Clima. ....	57
3.1.2. Especificaciones técnicas de suelo capa base y capa sub-base. ....	57
3.1.3. Pruebas para la caracterización del suelo para capa base y capa sub-base. ....	58
3.1.3.1. Procedimientos para la preparación de muestras de suelos por cuarteo (AASHTO T-248).....	58
3.1.3.2. Distribución granulométrica de materiales para capa base y sub-base, mediante tamizado (ASTM D22; AASTHO T88). ....	60
3.1.3.2.1. Suelo para capa base. ....	61
3.1.3.2.2. Suelo para capa sub-base. ....	62
3.1.3.3. Límites de consistencia o límites de Atterberg. ....	63
3.1.3.4. Clasificación.....	67
3.1.3.4.1. Sistema de clasificación AASHTO (ASTM D3282; AASHTO M-145).....	67

3.1.3.5. Ensayo de compactación de suelos.....	68
3.1.3.5.1. Relaciones de peso unitario – Humedad en los suelos método modificado (ASTM D422; AASHTO T- 180).....	68
3.1.3.6. Ensayo desgaste de los Ángeles.....	72
3.1.3.7. Ensayo de California Baring Ratio (CBR).....	74
3.1.4. Resumen de resultados.....	78
3.2. Exploración para toma de muestras de RAP.....	79
3.2.1 Ubicación para toma de muestras de pavimento asfáltico y posterior reciclado (RAP).....	84
3.2.2. Volúmenes de RAP obtenidos de diferentes barrios de la ciudad de Tarija. ....	85
3.2.3. Descripción del depósito final del RAP.....	87
3.2.3.1. Ubicación geográfica del depósito final del RAP. ....	89
3.2.4. Determinación del costo industrial del RAP.....	92
3.2.4.1. Triturado, selección de los materiales del RAP e identificación de actividades. ....	92
3.2.4.2. Cómputos métricos de ejecución de RAP para capa base.....	93
3.2.4.3. Análisis de precios unitarios de RAP para capa base y sub-base. ....	94
3.2.5. Especificaciones técnicas de pavimento asfáltico reciclado. ....	94
3.2.6. Elaboración de RAP.....	95
3.2.6. Pruebas para la caracterización de RAP.....	97
3.2.6.1. Granulometría. ....	97

## **CAPÍTULO IV**

### **INFLUENCIA DE RAP + GEOCELDAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

	Página
4.1. Proceso de mezclado de material de capa base con incorporación de pavimento asfáltico reciclado (RAP). ....	100
4.1.1. Dosificación de suelo capa base y RAP.....	100

4.1.2. Ensayos de laboratorio, suelo capa base/RAP. ....	100
4.1.2.1. Granulometría. ....	100
4.1.2.1.1. Mezcla suelo/RAP al 15% ....	101
4.1.2.1.2. Mezcla suelo/RAP al 20 % ....	102
4.1.2.1.3. Mezcla suelo/RAP al 25 % ....	103
4.1.2.1.4. Mezcla suelo/RAP al 30 % ....	104
4.1.2.2. Ensayo de compactación. ....	105
4.1.2.2.1. Mezcla suelo/RAP al 15% ....	105
4.1.2.2.2. Mezcla suelo/RAP al 20% ....	106
4.1.2.2.3. Mezcla suelo/RAP al 25 % ....	107
4.1.2.2.4. Mezcla suelo/RAP al 30 % ....	108
4.1.2.3. Ensayo de capacidad de soporte (C.B.R.) ....	109
4.1.2.3.1. Mezcla suelo/RAP al 15 % ....	109
4.1.2.3.2. Mezcla suelo/RAP al 20 % ....	111
4.1.2.3.3. Mezcla suelo/RAP al 25 % ....	113
4.1.2.3.4. Mezcla suelo/RAP al 30 % ....	115
4.1.3. Resumen de ensayos de mezclas de suelo capa base y RAP. ....	117
4.1.3.2. Curvas de compactación a distintos porcentajes de suelo/RAP. ....	118
4.1.3.3. Comportamiento de CBR en capa base. ....	119
4.1.4. Determinación de la dosificación óptima de RAP. ....	121
4.1.5. Incorporación de geoceldas a dosificación suelo/RAP óptima seleccionada. ....	121
4.1.5.1. Ensayos de laboratorio a suelo/RAP/geoceldas. ....	121
4.1.5.5.1. Ensayo de compactación. ....	121
4.1.5.5.2. Ensayo de capacidad de soporte (C.B.R.). ....	124
4.1.6. Resumen de ensayos de mezcla suelo/RAP/geoceldas. ....	126

4.2. Proceso de mezclado de material de capa sub-base con incorporación de pavimento asfáltico reciclado (RAP). .....	127
4.2.1. Dosificación de suelo capa sub-base y RAP. ....	127
4.2.2. Ensayos de laboratorio a suelo capa sub-base y RAP. ....	128
4.2.2.1. Granulometría. ....	128
4.2.2.1.1. Mezcla suelo/RAP al 20 % .....	128
4.2.2.1.2. Mezcla suelo/RAP al 30 % .....	129
4.2.2.1.3. Mezcla suelo/RAP al 35 % .....	130
4.2.2.2. Ensayo de compactación. ....	131
4.2.2.2.1. Mezcla suelo/RAP al 20 % .....	131
4.2.2.2.2. Mezcla suelo/RAP al 30 % .....	132
4.2.2.2.3. Mezcla suelo/RAP al 35 % .....	133
4.2.2.3. Ensayo de capacidad de soporte (C.B.R.). ....	134
4.2.2.3.1. Mezcla suelo/RAP al 20 % .....	134
4.2.2.3.2. Mezcla suelo/RAP al 30 % .....	136
4.2.2.3.3. Mezcla suelo/RAP al 35 % .....	138
4.2.3. Resumen de ensayos de mezclas de suelo capa sub-base y RAP. ....	140
4.2.4. Determinación de la dosificación óptima de RAP. ....	144
4.2.5. Incorporación de geoceldas a dosificación suelo/RAP óptima seleccionada. ....	144
4.2.5.1. Ensayos de laboratorio a suelo/RAP/geoceldas. ....	144
4.2.5.1.1. Ensayo de compactación. ....	144
4.2.5.1.2. Ensayo de capacidad de soporte (C.B.R.). ....	145
4.2.6. Resumen de ensayos de mezcla suelo/RAP/geocelda. ....	147
4.3. Comportamiento de suelo capa base y sub-base con incorporación de geoceldas. ....	149
4.3.1. Ensayo de capacidad de soporte (C.B.R.). ....	149

4.4. Diseño de pavimentos según método AASHTO versión 1993.....	153
4.4.1. Diseño de espesores y análisis de alcance de pavimento asfáltico reciclado.....	156
4.5. Costos.....	158
4.5.1. Análisis de precios unitarios referenciales.....	159
4.5.2. Análisis de precios unitarios de las alternativas.....	160
4.5.3. Comparación técnico-económica de las alternativas. ....	162
4.5.3.1. Matriz de comparación.....	162
4.5.3.2. Modelo de costos para alternativas equivalentes. ....	168
4.5.3.2.1. Consideraciones generales de diseño.....	168
4.5.3.2.2. Caracterización de módulo resiliente de capa base y capa sub-base .....	169
4.5.3.2.3. Caracterización de CBR para sub-rasante.....	170
4.5.3.2.4. Matriz de paquetes técnicamente equivalentes. ....	170
4.5.3.3. Consideraciones para el costeo. ....	172

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	Página
5.1. Conclusiones .....	178
5.2. Recomendaciones.....	179

#### **BIBLIOGRAFIA**

#### **WEBGRAFIA**

#### **ANEXOS**

- Anexo 1. Planillas de ensayos de laboratorio.
- Anexo 2. Estudio de tráfico.
- Anexo 3. Precios unitarios.
- Anexo 4. Especificaciones técnicas de geoceldas.

## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1. Características requeridas del material de la capa base. ....	12
Tabla 2.2. Características requeridas del material de la capa sub-base. ....	14
Tabla 2.3. Escala granulométrica. ....	16
Tabla 2.4. Tamaños nominales de tamices. ....	17
Tabla 2.5. Clasificación de materiales. AASHTO. ....	21
Tabla 2.6. Valores de “R” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales. ....	30
Tabla 2.7. Valores de desviación estándar normalizada. ....	31
Tabla 2.8. Valores de desviación estándar. ....	31
Tabla 2.9. Límites de cargas según ley de cargas N° 1769. ....	32
Tabla 2.10. Tiempo de drenaje. ....	38
Tabla 2.11. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles. ....	39
Tabla 2.12. Principales ventajas de las técnicas de reciclado. ....	41
Tabla 2.13. Datos técnicos de las geoceldas. ....	46
Tabla 2.14. Medidas de las geoceldas. ....	47
Tabla 2.15. Datos técnicos de las geoceldas. ....	48
Tabla 2.16. Aplicación de las geoceldas según la pendiente del talud. ....	49
Tabla 3.1. Resumen de especificaciones técnicas para capa base y capa sub-base. ....	57
Tabla 3.2. Bandas granulométricas para sub-base, base y capas de rodadura. ....	57
Tabla 3.3. Granulometría de suelo capa base. ....	61
Tabla 3.4. Granulometría de suelo capa sub-base. ....	62
Tabla 3.5. Bandas granulométricas para sub-base, base y capas de rodadura. ....	63
Tabla 3.6. Límites de consistencia o de Atterberg. ....	66
Tabla 3.7. Clasificación de suelo para capa base. ....	67
Tabla 3.8. Clasificación de suelo para capa sub-base. ....	67
Tabla 3.9. Ensayo de compactación capa base. ....	70
Tabla 3.10. Ensayo de compactación capa sub-base. ....	71
Tabla 3.11. Ensayo CBR. Capa base. ....	74
Tabla 3.12. Ensayo CBR. Capa sub-base. ....	76



Tabla 3.13. Resumen de ensayos de suelo capa base.....	78
Tabla 3.14. Volúmenes de bacheo de diferentes barrios de la ciudad de Tarija Gestión 2019 .....	85
Tabla 3.15. Volumen de bacheo de SEDECA y ABC. ....	86
Tabla 3.16. Actividades de ejecución de RAP para capa base.....	92
Tabla 3.17. Actividades de ejecución de RAP para capa sub-base.....	93
Tabla 3.18. Densidades de los materiales. ....	93
Tabla 3.19. Granulometría de RAP para capa base. ....	97
Tabla 3.20. Granulometría de RAP para capa sub-base.....	98
Tabla 4.1.1. Dosificación capa base/RAP.....	100
Tabla 4.1.2. Granulometría de suelo/RAP al 15 % .....	101
Tabla 4.1.3. Granulometría de suelo/RAP al 20 % .....	102
Tabla 4.1.4. Granulometría de suelo/RAP al 25 % .....	103
Tabla 4.1.5. Granulometría de suelo/RAP al 30 % .....	104
Tabla 4.1.6. Ensayo de compactación suelo/RAP al 15% .....	105
Tabla 4.1.7. Ensayo de compactación suelo/RAP al 20% .....	106
Tabla 4.1.8. Ensayo de compactación suelo/RAP al 25 % .....	107
Tabla 4.1.9. Ensayo de compactación suelo/RAP al 30 % .....	108
Tabla 4.1.10. Ensayo CBR. Mezcla suelo/RAP al 15 %.....	109
Tabla 4.1.11. Ensayo CBR. Mezcla suelo/RAP al 20 %.....	111
Tabla 4.1.12. Ensayo CBR. Mezcla suelo/RAP al 25 %.....	113
Tabla 4.1.13. Ensayo CBR. Mezcla suelo/RAP al 30 %.....	115
Tabla 4.1.14. Humedad óptima y densidad máxima a diferentes porcentajes de suelo/RAP en capa base. ....	119
Tabla 4.1.15. Valores de CBR a diferentes mezclas de suelo/RAP.....	119
Tabla 4.1.16. Valores teóricos de CBR para capa base. Con diferente (%) de RAP. ....	120
Tabla 4.1.17. Ensayo de compactación suelo/RAP/geoceldas.....	123
Tabla 4.1.18. Ensayo CBR Mezcla suelo/RAP/geoceldas.....	124
Tabla 4.1.19. Resumen de compactación suelo/RAP/geoceldas.....	126
Tabla 4.1.20. Valores de CBR de mezcla de suelo/RAP/geoceldas. ....	127
Tabla 4.2.1. Dosificación capa sub-base/RAP.....	128



Tabla 4.9. Módulo resiliente de capas de paquete estructural (1ra Alternativa).....	169
Tabla 4.10. Módulo resiliente de capas de paquete estructural (2da Alternativa). ....	169
Tabla 4.11. Módulo resiliente de capas de paquete estructural (3ra Alternativa).....	169
Tabla 4.12. La sub-rasante. ....	170
Tabla 4.13. Espesores de capa (3ra Alternativa).....	170
Tabla 4.14 Matriz de comparación.....	171
Tabla 4.15. Matriz de comparación.....	174
Tabla 4.16. Comparación económica en suelo capa base. ....	176
Tabla 4.17. Comparación económica en suelo capa sub-base. ....	176

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Identificación de variables.....	6
Figura 1.2. Diseño metodológico de actividades .....	9
Figura 2.1. Sección típica de un pavimento .....	10
Figura 2.2. Sección típica de un pavimento flexible .....	15
Figura 2.3. Juego de tamices .....	17
Figura 2.4. Equipo Casagrande .....	18
Figura 2.5. Ensayos de plasticidad.....	19
Figura 2.6. Principios de la compactación .....	22
Figura 2.7. Molde cilíndrico.....	23
Figura 2.8. Martillo apisonador.....	24
Figura 2.9. Ábaco de Diseño AASHTO para pavimentos flexibles .....	29
Figura 2.10. Determinación de los espesores de las capas mediante aproximaciones.....	35
Figura 2.11. Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos .....	37
Figura 2.12. Relación entre el coeficiente estructural para sub-base granular y distintos parámetros resistentes .....	37
Figura 2.13. Estructura típica de geoceldas. ....	44
Figura 2.14. Esquema de funcionamiento de geoceldas. ....	44
Figura 2.15. Distribución de esfuerzos en el sistema de geoceldas. ....	45

Figura 2.16. Formación de roderas por cargas superiores a la capacidad portante del terreno transmitidas al firme.....	45
Figura 2.17. Comportamiento de las geoceldas.....	46
Figura 2.18. Medidas de las geoceldas.....	47
Figura 2.19. Estabilización de taludes.....	49
Figura 2.20. Muros de contención de tierras.....	50
Figura 2.21. Geoceldas en carreteras y plataformas sin asfaltar.....	51
Figura 2.22. Aplicación sistema de geoceldas.....	51
Figura 3.1. Ubicación del tramo en estudio.....	56
Figura 3.2. Cuarteo de muestras.....	59
Figura 3.3. Juego de tamices.....	60
Figura 3.4. Equipos empleados para ensayo de compactación.....	69
Figura 3.5. Ensayo de compactación.....	69
Figura 3.6. Preparación de muestras para ensayo desgaste de los Ángeles.....	73
Figura 3.7. Material saliente del equipo.....	73
Figura 3.8. Material saliente del equipo de capa base y capa sub-base.....	74
Figura 3.9. Cortadora de capa asfáltica.....	79
Figura 3.10. Pala cargadora en la remoción de capa asfáltica.....	80
Figura 3.11. Avenida Panamericana. Carpeta asfáltica retirada para trabajos de COSAALT.....	80
Figura 3.12. Avenida principal de campus universitario El Tejar. Carpeta asfáltica deteriorada.....	81
Figura 3.13. Carpeta asfáltica deteriorada. Campus El Tejar.....	81
Figura 3.14. Carpeta asfáltica removida por el GAMT para bacheo de calle.....	82
Figura 3.15. Capa de pavimento depositado como desecho.....	82
Figura 3.16. Pavimento asfáltico depositado como desecho.....	83
Figura 3.17. Grandes extensiones de pavimento asfáltico en desuso.....	83
Figura 3.18. Características de depósito actual de RAP.....	88
Figura 3.19. Ubicación geográfica del depósito final del RAP.....	89
Figura 3.20. (a) Depósitos de pavimento asfáltico en desuso.....	90
Figura 3.20. (b) Depósitos de pavimento asfáltico en desuso.....	90

Figura 3.20. (c) Depósitos de pavimento asfáltico en desuso. ....	91
Figura 3.21. Pavimento asfáltico en dimensiones extensas en desuso.....	91
Figura 3.22. Clasificación por tamaños del RAP. ....	95
Figura 3.23. Clasificación por tamaños del RAP. ....	95
Figura 3.24. Clasificación por tamaños del RAP. ....	96
Figura 3.25. Empleo de tamices para la selección del RAP.....	96
Figura 4.1. Suelo capa base y RAP. ....	101
Figura 4.2. Aplicación de geoceldas en ensayo de compactación. ....	121
Figura 4.3. Resultado de aplicación de geoceldas + RAP en ensayo de compactación. ....	122
Figura 4.4. Extracción de muestras de las geoceldas. (Posterior al ensayo de compactación). ....	122
Figura 4.5. Primer análisis de paquete estructural con suelo natural. ....	154
Figura 4.6. Segundo análisis de paquete estructural con suelo natural + RAP. ....	155
Figura 4.7. Tercer análisis de paquete estructural con suelo natural. ....	156

## INDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 2.1. Para determinar el coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente adoptado.....	36
Gráfico 3.1. Curva de ensayo de distribución granulométrica de capa base.....	61
Gráfico 3.2. Curva de ensayo de distribución granulométrica de capa sub-base.....	62
Gráfico 3.3. Curva de compactación capa base. ....	70
Gráfico 3.4. Curva de compactación capa sub-base. ....	71
Gráfico 3.5. Curvas características para determinación de CBR de capa base.....	75
Gráfico 3.6. Curvas características para determinación de CBR de capa sub-base.....	77
Gráfico 3.7. Pavimento asfáltico extraído de diferentes barrios (m <sup>3</sup> ). ....	86
Gráfico 3.8. Granulometría de RAP para capa base. ....	98
Gráfico 3.9. Granulometría de RAP para capa sub-base. ....	99
Gráfico 4.1.1. Curva de ensayo de distribución granulométrica de suelo/RAP al 15 %.....	102

Gráfico 4.1.2. Curva de ensayo de distribución granulométrica de suelo/RAP al 20 % .....	103
Gráfico 4.1.3. Curva de ensayo de distribución granulométrica de suelo/RAP al 25 % .....	104
Gráfico 4.1.4. Curva de ensayo de distribución granulométrica de suelo/RAP al 30% .....	105
Gráfico 4.1.5. Curva de compactación suelo/RAP al 15% .....	106
Gráfico 4.1.6. Curva de compactación suelo/RAP al 20 % .....	107
Gráfico 4.1.7. Curva de compactación suelo/RAP al 25 % .....	108
Gráfico 4.1.8. Curva de compactación suelo/RAP al 30 % .....	109
Gráfico 4.1.9. Curvas características para determinación de CBR de mezcla suelo/RAP al 15 % .....	110
Gráfico 4.1.10. Curvas características para determinación de CBR de mezcla suelo/RAP al 20 % .....	112
Gráfico 4.1.11. Curvas características para determinación de CBR de mezcla suelo/RAP al 25% .....	114
Gráfico 4.1.12. Curvas características para determinación de CBR de mezcla suelo/RAP al 30 % .....	116
Gráfico 4.1.13. Resumen de granulometrías .....	117
Gráfico 4.1.14. Curvas de compactación a distintos porcentajes de suelo/RAP .....	118
Gráfico 4.1.15. Comportamiento de CBR en capa base. ....	119
Gráfico 4.1.16. Curva de compactación suelo/RAP/geoceldas .....	123
Gráfico 4.1.17. Curvas características para determinación de CBR de mezcla suelo/RAP/geoceldas .....	125
Gráfico 4.1.18. Comparación de curvas de compactación suelo/RAP/geoceldas .....	126
Gráfico 4.1.19. Influencia de RAP en el CBR de mezcla suelo/RAP/geoceldas .....	127
Gráfico 4.2.1. Curva de ensayo de distribución granulométrica de suelo/RAP al 20 % .....	129
Gráfico 4.2.2. Curva de ensayo de distribución granulométrica de suelo/RAP al 30 % .....	130

Gráfico 4.2.3. Curva de ensayo de distribución granulométrica de suelo/RAP al 35 % .....	131
Gráfico 4.2.4. Curva de compactación suelo/RAP al 20 % .....	132
Gráfico 4.2.5. Curva de compactación suelo/RAP al 30 % .....	133
Gráfico 4.2.6. Curva de compactación suelo/RAP al 35 % .....	134
Gráfico 4.2.7. Curvas características para determinación de CBR de mezcla suelo/RAP.....	135
Gráfico 4.2.8. Curvas características para determinación de CBR de mezcla suelo/RAP.....	137
Gráfico 4.2.9. Curvas características para determinación de CBR de mezcla suelo/RAP.....	139
Gráfico 4.2.10. Resumen de granulometrías.....	140
Gráfico 4.2.11. Curvas de compactación a distintos porcentajes de suelo/RAP.....	141
Gráfico 4.2.12. Comportamiento de CBR en capa sub-base.....	142
Gráfico 4.2.13. Curva de compactación suelo/RAP/geoceldas.....	145
Gráfico 4.2.14. Curvas características para determinación de CBR de mezcla suelo/RAP/geoceldas.....	146
Gráfico 4.2.15. Comparación de curvas de compactación suelo/RAP/geoceldas.....	147
Gráfico 4.2.16. Influencia de RAP en el CBR de mezcla suelo/RAP/geoceldas.....	148
Gráfico 4.2.17. Curvas características para determinación de CBR de mezcla suelo/geoceldas. ....	150
Gráfico 4.2.18. Curvas características para determinación de CBR de mezcla suelo/geoceldas. ....	152
Gráfico 4.3. Análisis de costos.....	162
Gráfico 4.4. Resultados del comportamiento de espesores de capa base (Tráfico liviano).....	164
Gráfico 4.5. Resultados del comportamiento de espesores de capa base (Tráfico mediano).....	165
Gráfico 4.6. Resultados del comportamiento de espesores de capa sub-base (Tráfico mediano).....	165

Gráfico 4.7. Resultados del comportamiento de espesores de capa base (Tráfico pesado).....	167
Gráfico 4.8. Resultados del comportamiento de espesores de capa sub-base (Tráfico pesado).....	167
Gráfico 4.9. Comportamiento capa base.....	171
Gráfico 4.10. Comportamiento capa sub-base.....	172
Gráfico 4.11. Comparación de costos de capa base.....	175
Gráfico 4.12. Comparación de costos de capa sub-base.....	175
Gráfico 4.13. Evaluación comparativa de costos en capa base.....	176
Gráfico 4.14. Evaluación comparativa de costos en capa base.....	177