

**UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



**“INFLUENCIA ESTRUCTURAL EN LA APLICABILIDAD DE  
PAVIMENTOS FLEXIBLES RECICLADOS”**

**Por:**

**CARLOS EDUARDO PADILLA PORTAL**

**Diciembre de 2013**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**“INFLUENCIA ESTRUCTURAL EN LA APLICABILIDAD DE  
PAVIMENTOS FLEXIBLES RECICLADOS”**

**Por:**

**CARLOS EDUARDO PADILLA PORTAL**

Trabajo Dirigido presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Diciembre de 2013**

**TARIJA – BOLIVIA**

.....  
MSC. ING. ERNESTO R. ÁLVAREZ G.  
**DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....  
MSC. ING. SILVINA S. PAZ RAMÍREZ  
**VICEDECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

APROBADA POR:

.....  
ING. LUIS ALBERTO YURQUINA F.

.....  
ING. WILSON YUCRA

.....  
ING. ADA LÓPEZ

El Tribunal Calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad de la autor.

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mi madre Sra. Miriam Portal M., mi padrastro Sr. Arnildo Cata, mi abuela Sra. Rosenda Murillo, a mis tíos Evy Portal e Isabel Delgado, a mis hermanos: Adrian y Emanuel, les dedico este trabajo ya que ellos fueron mi motivación y me demostraron que están a mi lado recorriendo el camino de la vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por estar siempre a mi lado en cada etapa de mi vida, por darme la fortaleza mental y espiritual necesaria para vencer los obstáculos que se presentan día a día.

A mi madre que siempre confió en mí, por el amor que me brinda y ahora me da esta oportunidad de lograr uno de mis propósitos profesionales.

A mi padrastro, mi abuela, mis tíos, hermanos y todos mis amigos, por su comprensión y apoyo incondicional que influyó en la culminación de este proyecto.

## **PENSAMIENTO**

Todo debe hacerse tan simple como  
se pueda, pero no más simple....

**Albert Einstein**

# INDICE

## CAPITULO I DISEÑO TEORICO Y METODOLOGIA

1.1 Generalidades .....	1
1.2 Diseño teórico .....	1
1.2.1 Problemática.....	1
1.2.2 Problema.....	2
1.2.3 Objetivos .....	3
1.2.3.1 Objetivo General.....	3
1.2.3.2 Objetivos Específicos .....	3
1.2.4 Hipótesis.....	3
1.2.5 Variables.....	4
1.2.5.1 Variable dependiente .....	4
1.2.5.2 Variable independiente .....	4
1.3 Diseño Metodológico .....	4
1.3.1 Objeto de Estudio .....	4
1.3.2 Población .....	4
1.3.3 Muestra.....	4
1.3.4 Muestreo .....	5
1.3.5 Tipo de Investigación .....	6
1.3.6 Alcance.....	6
1.3.7 Medios y Metodología.....	8
1.3.7.1 Medios .....	8
1.3.7.2 Metodología.....	9
1.3.8 Aplicación de Instrumentos.....	10
1.3.8.1 Descripción de equipos.....	10



**CAPITULO II**  
**FUNDAMENTACIÓN TEORICA**

2.1 Definición de pavimento .....	17
2.1.1 Pavimento flexible.....	17
2.1.1.1 Resistencia estructural .....	19
2.1.1.2 Deformabilidad .....	21
2.1.1.3 Durabilidad .....	22
2.2 Composición de los pavimentos flexibles.....	23
2.3 Capa Sub Rasante.....	24
2.3.1 Definición.....	24
2.3.2 Funciones.....	24
2.4 Capa Sub-Base .....	24
2.4.1 Definición.....	24
2.4.2 Funciones.....	25
2.4.3 Especificaciones y Características.....	25
2.5 Capa Base.....	26
2.5.1 Definición.....	26
2.5.2 Funciones.....	26
2.5.3 Especificaciones y Características.....	27
2.6 Ensayos de control para materiales de base y sub-base granular.....	28
2.6.1 Ensayos en materiales de capa sub-base .....	28
2.6.1.1 Granulometría .....	28
2.6.1.2 Límites de Atterberg .....	28
2.6.1.3 Desgaste .....	29
2.6.1.4 Compactación .....	29
2.6.1.5 Resistencia C.B.R. ....	30
2.6.2 Ensayos en materiales de capa base .....	31
2.6.2.1 Granulometría .....	31

2.6.2.2 Límites de Atterberg .....	31
2.6.2.3 Desgaste .....	32
2.6.2.4 Compactación .....	32
2.6.2.5 Resistencia C.B.R. ....	33
2.7 Características de las carpetas asfálticas .....	33
2.7.1 Carpetas asfálticas en caliente .....	33
2.7.2 Carpetas asfálticas en frío.....	34
2.7.3 Tipos de carpetas asfálticas .....	34
2.7.3.1 Tratamientos superficiales .....	35
2.7.3.1.1 Tratamientos superficiales simple o de un riego.....	35
2.7.3.1.2 Tratamientos superficiales Doble o de dos riegos.....	35
2.7.3.1.3 Tratamientos superficiales Triple o de tres riegos .....	36
2.7.3.2 Macadam asfáltico .....	36
2.7.3.3 Mezcla en el lugar.....	38
2.7.3.4 Concreto asfáltico .....	38
2.8 Dimensionamiento de pavimentos flexibles .....	39
2.8.1 Método C.B.R.....	39
2.8.2 Método AASTHO .....	40
2.9 Definición de reciclado .....	48
2.10 Campos de aplicación del reciclaje .....	49
2.11 Tipos de reciclaje de pavimentos flexibles .....	49
2.11.1 Reciclaje superficial .....	50
2.11.1.1 Fresado en frío .....	50
2.11.1.2 Cepillado.....	51
2.11.2 Reciclaje en el lugar (in-situ) .....	51
2.11.3 Reciclaje en planta.....	52
2.12 Reciclado para incorporar en sub-base y base .....	53

2.12.1 Recuperación de materiales de los pavimentos asfálticos deteriorados para su reciclado .....	53
2.12.1.1 Demolición mecánica .....	53
2.12.1.2 Fresado de las capas bituminosas .....	54
2.12.2 Acopio y caracterización de los materiales que formarán parte de las mezclas recicladas .....	56
2.12.2.1 Proceso y acopio del material reciclado en planta.....	56
2.12.2.2 Caracterización de los materiales que formarán parte de las mezclas recicladas .....	57

### **CAPITULO III**

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

3.1 Muestreo de material reciclado .....	59
3.1.1 Proceso de triturado del material reciclado .....	61
3.2. Caracterización del material reciclado .....	62
3.2.1 Granulometría.....	62
3.3 Caracterización de suelos naturales para ser mejorados .....	64
3.3.1 Granulometría.....	64
3.3.1.1 Suelo para capa sub base.....	64
3.3.1.2 Suelo para capa base .....	65
3.3.2 Límites de Atterberg.....	66
3.3.3 Ensayo de Compactación .....	69
3.3.4 Ensayo de Capacidad Soporte CBR .....	70
3.3.5 Ensayo de desgaste de los ángeles .....	73
3.3.6 Cálculos y resultados.....	74
3.3.6.1 Análisis granulométrico y clasificación de suelo natural (suelo A-4(7))	74
3.3.6.2 Ensayo de compactación suelo A-4(7) .....	75
3.3.6.3 Ensayo Capacidad Soporte CBR suelo A-4(7).....	76
3.3.6.4 Análisis granulométrico y clasificación de suelo natural (A-2-4(0)) .....	78

3.3.6.5 Ensayo de compactación suelo A-2-4(0).....	79
3.3.6.6 Ensayo Capacidad Soporte CBR suelo A-2-4(0).....	80
3.3.6.7 Ensayo de Desgaste de los Ángeles Suelo A-2-4(0) .....	82

## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO DE INGENIERIA Y COMBINACIONES ÓPTIMAS**

4.1 Proceso de mezclado y caracterización de material para capa sub base con incorporación del pavimento flexible reciclado .....	83
4.1.1 Proceso de mezclado para capa sub base .....	83
4.1.2 Criterios para el mezclado .....	83
4.1.3 Caracterización del material para capa sub base .....	84
4.1.3.1 Granulometría .....	84
4.1.3.1.1 Mezcla B .....	84
4.1.3.1.2 Mezcla C .....	87
4.1.3.1.3 Mezcla D .....	88
4.1.3.1.4 Mezcla E.....	89
4.1.3.1.5 Mezcla F.....	90
4.1.3.2 Ensayo de Compactación.....	91
4.1.3.2.1 Mezcla B .....	93
4.1.3.2.2 Mezcla C .....	94
4.1.3.2.3 Mezcla D.....	95
4.1.3.2.4 Mezcla E.....	96
4.1.3.2.5 Mezcla F.....	97
4.1.3.3 Ensayo de Capacidad Soporte (C.B.R.).....	98
4.1.3.3.1 Mezcla B .....	99
4.1.3.3.2 Mezcla C .....	101
4.1.3.3.3 Mezcla D .....	103
4.1.3.3.4 Mezcla E.....	105
4.1.3.3.5 Mezcla F.....	107
4.1.3.4 Ensayo de Desgaste de los Ángeles.....	109

4.2 Proceso de mezclado y caracterización de material para capa base con incorporación del pavimento flexible reciclado .....	111
4.2.1 Proceso de mezclado para capa base .....	111
4.2.2 Criterios para el mezclado .....	111
4.2.3 Caracterización del material para capa sub base .....	112
4.2.3.1 Granulometría .....	112
4.2.3.1.1 Mezcla B-1 .....	112
4.2.3.1.2 Mezcla C-1 .....	113
4.2.3.1.3 Mezcla D-1 .....	114
4.2.3.1.4 Mezcla E-1 .....	115
4.2.3.2 Ensayo de Compactación.....	117
4.2.3.2.1 Mezcla B-1 .....	117
4.2.3.2.2 Mezcla C-1 .....	118
4.2.3.2.3 Mezcla D-1 .....	119
4.2.3.2.4 Mezcla E-1 .....	120
4.2.3.3 Ensayo de Capacidad Soporte (CBR).....	121
4.2.3.3.1 Mezcla B-1 .....	121
4.2.3.3.2 Mezcla C-1 .....	123
4.2.3.3.3 Mezcla D-1 .....	125
4.2.3.3.4 Mezcla E-1 .....	127
4.2.3.4 Ensayo de Desgaste de los Ángeles.....	129
4.2.3.4.1 Mezcla B-1 .....	129
4.2.3.4.2 Mezcla C-1 .....	130
4.2.3.4.3 Mezcla D-1 .....	131
4.2.3.4.4 Mezcla E-1 .....	132
Tabla resumen de ensayos.....	133
4.3 Incidencia Estructural.....	134
4.4 Costos .....	138
4.4.1 Análisis de precios unitarios.....	138

4.5 Análisis de resultados.....	146
4.5.1 Estabilización para capa sub base .....	149
4.5.2 Estabilización para capa base .....	152
4.5.3 Incidencia Estructural .....	156
4.5.3.1 Primer Análisis (Suelo Natural).....	156
4.5.3.2 Segundo Análisis (Suelo Natural + Pavimento Reciclado) .....	157
4.5.4 Comparación de costos.....	159

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones .....	161
5.2 Recomendaciones.....	164
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	166
<b>WEBGRAFIA</b> .....	167

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. 1 Tabla de Muestreo.....	5
Tabla 1. 2 Tabla de Muestreo.....	5
Tabla 2. 1 Bandas granulométricas para sub base, bases y capas de rodadura .....	26
Tabla 2. 2 Bandas granulométricas para sub base, bases y capas de rodadura .....	27
Tabla 2. 3 Factor Carril .....	43
Tabla 2. 4 Nivel de confiabilidad.....	43
Tabla 2. 5 Desviación Estándar.....	44
Tabla 2. 6 Coeficiente de drenaje.....	46
Tabla 2. 7 Espesores mínimos en pulgadas.....	46

Tabla 3. 1 Granulometría del pavimento reciclado.....	63
Tabla 3. 2 Penetración del pistón .....	72
Tabla 3. 3 Ensayo de desgaste de los ángeles .....	73
Tabla 3. 4 Clasificación de suelo natural .....	74
Tabla 3. 5 Ensayo de compactación suelo A-4(7).....	75
Tabla 3. 6 Ensayo CBR suelo A-4(7).....	76
Tabla 3. 7 Clasificación de suelo natural .....	78
Tabla 3. 8 Ensayo de compactación suelo A-2-4(0) .....	79
Tabla 3. 9 Ensayo CBR suelo A-2-4(0) .....	80
Tabla 3. 10 Ensayo Desgaste de los Ángeles suelo A-2-4(0) .....	82
Tabla 4. 1 Combinación para capa sub base (reciclado - suelo A-4(7)) .....	83
Tabla 4. 2 Análisis granulométrico mezcla “B” .....	86
Tabla 4. 3 Análisis granulométrico mezcla “C” .....	87
Tabla 4. 4 Análisis granulométrico mezcla “D” .....	88
Tabla 4. 5 Análisis granulométrico mezcla “E” .....	89
Tabla 4. 6 Análisis granulométrico mezcla “F” .....	90
Tabla 4. 7 Ensayo de compactación mezcla “B” .....	93
Tabla 4. 8 Ensayo de compactación mezcla “C” .....	94
Tabla 4. 9 Ensayo de compactación mezcla “D” .....	95
Tabla 4. 10 Ensayo de compactación mezcla “E” .....	96
Tabla 4. 11 Ensayo de compactación mezcla “F” .....	97
Tabla 4. 12 Ensayo C.B.R. mezcla “B” .....	99
Tabla 4. 13 Ensayo C.B.R. mezcla “C” .....	101
Tabla 4. 14 Ensayo C.B.R. mezcla “D” .....	103
Tabla 4. 15 Ensayo C.B.R. mezcla “E”.....	105
Tabla 4. 16 Ensayo C.B.R. mezcla “F” .....	107
Tabla 4. 17 Ensayo Desgaste de los Ángeles pavimento reciclado .....	110
}Tabla 4. 18 Combinación para capa base (reciclado – suelo A-2-4(0)).....	111
Tabla 4. 19 Análisis granulométrico mezcla “B-1” .....	112

Tabla 4. 20 Análisis granulométrico mezcla “C-1” .....	113
Tabla 4. 21 Análisis granulométrico mezcla “D-1” .....	114
Tabla 4. 22 Análisis granulométrico mezcla “E-1” .....	115
Tabla 4. 23 Ensayo de compactación mezcla “B-1” .....	117
Tabla 4. 24 Ensayo de compactación mezcla “C-1” .....	118
Tabla 4. 25 Ensayo de compactación mezcla “D-1” .....	119
Tabla 4. 26 Ensayo de compactación mezcla “E-1” .....	120
Tabla 4. 27 Ensayo C.B.R. mezcla “B-1” .....	121
Tabla 4. 28 Ensayo C.B.R. mezcla “C-1” .....	123
Tabla 4. 29 Ensayo C.B.R. mezcla “D-1” .....	125
Tabla 4. 30 Ensayo C.B.R. mezcla “E-1” .....	127
Tabla 4. 31 Ensayo Desgaste de los Ángeles mezcla “B-1” .....	129
Tabla 4. 32 Ensayo Desgaste de los Ángeles mezcla “C-1” .....	130
Tabla 4. 33 Ensayo Desgaste de los Ángeles mezcla “D-1” .....	131
Tabla 4. 34 Ensayo Desgaste de los Ángeles mezcla “E-1” .....	132
Tabla 4. 35 Resumen de ensayos con suelo A-4(7) .....	133
Tabla 4. 36 Resumen de ensayos con suelo A-2-4(0).....	133
Tabla 4. 37 Granulometría del pavimento flexible reciclado.....	146
Tabla 4. 38 Combinación para capa sub base (reciclado – Suelo A-4(7)).....	149
Tabla 4. 39 Propiedades mecánicas de las mezclas B, C, D, E y F .....	150
Tabla 4. 40 Combinación para capa base (reciclado – suelo A-2-4(0)).....	153
Tabla 4. 41 Propiedades mecánicas de las mezclas B-1, C-1, D-1 y E-1 .....	154
Tabla 5. 1 Mezclas óptimas.....	162

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Estructura de pavimento flexible .....	17
Figura 2. 2 Mecanismo de disipación de tensiones en Pavimentos Flexibles.....	18
Figura 2. 3 Paquete estructural de pavimentos flexibles.....	23





Figura 4. 1 (70% reciclado)	Figura 4. 2 (30% suelo fino) .....	84
Figura 4. 3 Material retenido en 1”	Figura 4. 4 Material retenido en 3/8” .....	85
Figura 4. 5 Material retenido en N°4	Figura 4. 6 Retenido en N°10,40 y 200 .....	85
Figura 4. 7 Separando el material por la malla 3/4” .....		91
Figura 4. 8 Material para compactación	Figura 4. 9 Almacenamiento de material .	91
Figura 4. 10 Material para compactación	Figura 4. 11 Primera capa de compactación .....	92
Figura 4. 12 Enrasado de material excedente del Proctor .....		92
Figura 4. 13 Material pasante el tamiz 3/8”	Figura 4. 14 Retenido el tamiz 1/4" ..	109
Figura 4. 15 Retenido en el tamiz N°4	Figura 4. 16 Retenido el tamiz 1/4” y N°4 .....	109
Figura 4. 17 Colocado de material en la Maquina de los ángeles.....		110
Figura 4. 18 Material después del ensayo de desgaste.....		110

### **INDICE DE GRAFICAS**

Grafica 2. 1 Abaco C.B.R. ....	40
Grafica 3. 1 Curva granulométrica del material reciclado .....	63
Grafica 3. 2 Curva de compactación suelo A-4(7).....	75
Grafica 3. 3 Carga vs penetración y Densidad vs CBR suelo A-4(7).....	77
Grafica 3. 4 Curva de compactación suelo A-2-4(0) .....	79
Grafica 3. 5 Carga vs penetración y Densidad vs CBR suelo A-2-4(0).....	81
Grafica 4. 1 Curva granulométrica mezcla “B” .....	86
Grafica 4. 2 Curva granulométrica mezcla “C” .....	87
Grafica 4. 3 Curva granulométrica mezcla “D” .....	88

Grafica 4. 4 Curva granulométrica mezcla “E” .....	89
Grafica 4. 5 Curva granulométrica mezcla “F” .....	90
Grafica 4. 6 Curva de compactación mezcla “B” .....	94
Grafica 4. 7 Curva de compactación mezcla “C” .....	95
Grafica 4. 8 Curva de compactación mezcla “D” .....	96
Grafica 4. 9 Curva de compactación mezcla “E” .....	97
Grafica 4. 10 Curva de compactación mezcla “F” .....	98
Grafica 4. 11 Carga vs penetración y Densidad vs C.B.R. mezcla “B” .....	100
Grafica 4. 12 Carga vs penetración y Densidad vs C.B.R. mezcla “C” .....	102
Grafica 4. 13 Carga vs penetración y Densidad vs C.B.R. mezcla “D” .....	104
Grafica 4. 14 Carga vs penetración y Densidad vs C.B.R. mezcla “E” .....	106
Grafica 4. 15 Carga vs penetración y Densidad vs C.B.R. mezcla “F” .....	108
Grafica 4. 16 Curva granulométrica mezcla “B-1” .....	113
Grafica 4. 17 Curva granulométrica mezcla “C-1” .....	114
Grafica 4. 18 Curva granulométrica mezcla “D-1” .....	115
Grafica 4. 19 Curva granulométrica mezcla “E-1” .....	116
Grafica 4. 20 Curva de compactación mezcla “B-1” .....	117
Grafica 4. 21 Curva de compactación mezcla “C-1” .....	118
Grafica 4. 22 Curva de compactación mezcla “D-1” .....	119
Grafica 4. 23 Curva de compactación mezcla “E-1” .....	120
Grafica 4. 24 Carga vs penetración y Densidad vs C.B.R. mezcla “B-1” .....	122
Grafica 4. 25 Carga vs penetración y Densidad vs C.B.R. mezcla “C-1” .....	124
Grafica 4. 26 Carga vs penetración y Densidad vs C.B.R. mezcla “D-1” .....	126
Grafica 4. 27 Carga vs penetración y Densidad vs C.B.R. mezcla “E-1” .....	128
Grafica 4. 28 Curva granulométrica del pavimento reciclado .....	146
Grafica 4. 29 Esquema de procedimiento de mezclas y resultados .....	148
Grafica 4. 30 Comparación granulométrica capa sub base .....	150
Grafica 4. 31 Comparación Densidad máxima vs Tipo de mezcla capa sub base ....	151
Grafica 4. 32 Comparación C.B.R. vs Tipo de mezcla capa sub base .....	152
Grafica 4. 33 Comparación granulométrica capa base .....	153

Grafica 4. 34 Comparación Densidad máxima vs Tipo de mezcla capa base.....	155
Grafica 4. 35 Comparación C.B.R. vs Tipo de mezcla capa base .....	156
Grafica 4. 36 Comparación C.B.R. vs Tipo de mezcla suelo natural .....	156
Grafica 4. 37 Comparación C.B.R. vs Tipo de mezcla suelo natural + pavimento reciclado .....	157
Grafica 5. 1 Comparación de espesores .....	163