

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



**“EVALUACION SUPERFICIAL DEL ASFALTADO SOBRE  
EMPEDRADO APLICADO AL TRAMO PUENTE TOMATITAS-  
COIMATA”**

**Por:**

**GABRIEL SIVILA ALVAREZ**

Julio de 2012

**Tarija - Bolivia**

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



**“EVALUACION SUPERFICIAL DEL ASFALTADO SOBRE  
EMPEDRADO APLICADO AL TRAMO PUENTE TOMATITAS-  
COIMATA”**

**Por:**

**GABRIEL SIVILA ALVAREZ**

Proyecto de Ingeniería Civil II CIV-502 presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Julio de 2012

**Tarija – Bolivia**

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

## **DEDICATORIA**

Con mucho cariño para mis Padres David y Elia, por el apoyo incondicional, dedicación y tolerancia que tuvieron durante mi formación académica y en la elaboración del presente trabajo.

Con mucho cariño para mis hermanos David y Elia quienes estuvieron conmigo cuando necesite de algún apoyo.

Con mucho cariño para mi sobrino José David incondicional compañero.

Con mucho amor para mi novia Mónica por todo el apoyo y comprensión que me brindo en todo momento.

### **AGRADECIMIENTOS:**

A mis docentes, mis amigos, y a las personas que me brindaron su apoyo, aportando consejos y experiencias cuando así lo necesitaba en esos momentos difíciles, me enseñaron a encarar las adversidades sin perder la dignidad ni desfallecer en el intento.

## INDICE DEL CONTENIDO

**Dedicatorias**

**Agradecimientos**

**Hoja de Aprobación**

### CAPÍTULO I

#### DISEÑO TEORICO METODOLÓGICO

	<b>PAGINA</b>
1.1. Introducción.....	1
1.2.Diseño Teórico .....	3
1.2.1. Justificación: Situación Problémica .....	3
1.2.2. Determinación del problema; Objeto de Estudio y Campo de Acción.....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General .....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	5
1.4. Diseño Metodológico .....	5
1.4.1 Diseño Lógico Estructural.....	6
1.5. Alcance .....	7
1.6. Metodología y Técnicas .....	8
1.7. Medios .....	10

### CAPITULO II

#### MARCO TEORICO

	<b>PAGINA</b>
2.1. Empedrados .....	11
2.2. Análisis Histórico de los Empedrados.....	11
2.3. Empedrados en Bolivia.....	12
2.4. Condiciones Técnicas y Sociales para la Ejecución de Empedrados .....	12
2.5. Construcción de Caminos Empedrados.....	14
2.5.1. Requerimientos Técnicos .....	14

2.5.2. Especificaciones Técnicas de Construcción.....	15
2.6. Pavimento Flexible sobre Empedrado.....	24
2.7. Características de las Capas de un Pavimento Flexible sobre Empedrado.....	24
2.7.1. Subrasante.....	25
2.7.2. Capa de Asiento o Cama de Arena.....	25
2.7.3. Capa de Piedra o Empedrado.....	26
2.7.4. Capa de Rodadura.....	28
2.8. Características de un Pavimento Flexible Convencional .....	31
2.9. Tipos de Evaluación de Pavimentos .....	36
2.9.1. Evaluación Estructural.....	36
2.9.2. Evaluación Superficial.....	36
2.10. Métodos de Evaluación Superficial.....	38
2.10.1. Índice de Condición de Pavimento PCI.....	38
2.10.2. Índice de Serviciabilidad Presente PSI.....	62
2.10.3. Índice de Rugosidad Internacional IRI.....	63
2.11. Estado de una Carretera o Vía en función del PSI .....	68
2.12. Relación entre PCI, IRI con el PSI.....	72
2.13. Sistemas de Conservación Vial .....	73
2.13.1. Conservación Vial.....	73
2.13.2. Costos de la Conservación Vial.....	82
2.13.3. Sistemas de Gestión del Mantenimiento de Pavimentos.....	83
2.14. Estudio del Suelo de la Subrasante.....	85
2.14.1. Análisis Granulométrico.....	86
2.14.2. Límites de consistencia o de Atterberg .....	87
2.14.3. Clasificación de Suelos .....	87
2.14.4. Compactación .....	89
2.14.5. Densidad In Situ .....	89
2.14.6. CBR.....	90
2.15. Estudio de Tráfico Vehicular.....	90
2.15.1. Tránsito Promedio Horario (TPH) .....	91
2.15.2. Tránsito Promedio Diario (TPD).....	91

2.15.3. Clasificación de los Vehículos .....	91
2.15.4. Proyección del Trafico Futuro.....	92
2.16. Diseño Estructural del Empedrado .....	94
2.16.1. Factores Adaptados al Método de Mills para Calcular el Espesor de Pavimentos de Empedrado .....	95
2.17. Diseño Estructural del Pavimento sobre Empedrado .....	100
2.18.1. Método AASHTO .....	100

### **CAPITULO III**

#### **APLICACIÓN PRÁCTICA**

	<b>PAGINA</b>
3.1. Introducción.....	111
3.2. Ubicación del Área de Estudio .....	111
3.3. Antecedentes Históricos .....	113
3.3.1. Antecedentes de las Capas Estructurales del Tramo .....	114
3.4. Análisis de la Situación Actual.....	115
3.5. Determinación de las Unidades de Muestreo del Tramo.....	116
3.6. Identificación, Medición y Cuantificación de las Fallas Superficiales del Pavimento	117
3.7. Calculo del Estado Superficial del Pavimento .....	129
3.7.1. Cálculo por el Método del PCI.....	129
3.7.2. Cálculo por el Método del IRI.....	130
3.7.3. Cálculo por el Método del PSI .....	131
3.7.4. Resultados de cada Método de Evaluación Expresado en PSI.....	132
3.7.5. Estado General del Pavimento .....	133
3.8. Análisis del Suelo de la Subrasante del Tramo .....	133
3.8.1. Análisis Granulométrico.....	133
3.8.2. Limites de Atterberg.....	134
3.8.3. Clasificación del Suelo de la Subrasante.....	134
3.8.4. Compactación del Material de la Subrasante .....	135
3.9.5. Densidad In Situ de la Subrasante .....	136
3.9.6. CBR de la Subrasante.....	136



3.8.7. Análisis de los Resultados.....	137
3.9. Análisis de Trafico del Tramo Tomatitas – Coimata .....	138
3.9.1. Trafico Promedio Horario .....	138
3.9.2. Trafico Promedio Diario.....	138
3.9.3. Calculo del Número de Ejes Equivalentes para el Tramo.....	138
3.10. Análisis de la Estructura del Empedrado.....	139
3.11. Análisis de la Estructura del Pavimento sobre Empedrado.....	142
3.12. Análisis General de las Causas Posibles del Deterioro del Pavimento .....	146
3.12.1. Diseño y Estructura del Pavimento Flexible .....	146
3.12.2. Calidad de la Ejecución .....	147
3.12.3. Solicitaciones Exteriores .....	148
3.12.4 Diagrama de las Causas Posibles del Deterioro del Pavimento .....	148
3.13. Alternativas de Solución .....	149
3.13.1. Estado Actual del tramo Tomatitas – Coimata .....	150
3.13.2. Niveles de Intervención para el Tramo Tomatitas - Coimata.....	150
3.14. Planteamiento General de un Sistema de Mantenimiento Para el tramo Tomatitas Coimata.....	152
3.15. Actividades y Procedimientos para la Reparación de Fallas del Pavimento.....	153
3.15.1. Cortado y Demolición del Pavimento Fallado .....	153
3.15.2. Retiro del Empedrado.....	154
3.15.3. Mejoramiento de Subrasante y Nivelación .....	154
3.15.4. Reposición de Empedrado.....	154
3.15.5. Limpieza de Empedrado.....	155
3.15.6. Bacheo .....	155
3.15.7. Reparación de Grietas.....	155
3.15.8. Reparación de Deformaciones.....	161
3.15.9. Reparaciones de la Desintegración.....	164
3.15.10. Reparación de Superficies Resbaladizas .....	167
3.16. Riegos Asfálticos para la Reparación del Pavimento.....	168
3.16.1. Riegos de Liga.....	169
3.16.2. Riegos de Imprimación .....	169

3.17. Presupuesto de los Trabajos de Mantenimiento .....	169
3.18. Alternativa de Diseño Correcto de una Estructura de Pavimento Flexible sobre Empedrado para Situaciones Futuras .....	171

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>PAGINA</b>
4.1. Conclusiones.....	175
4.2. Recomendaciones .....	178

Bibliografía

Anexos

## INDICE DE TABLAS

	PAGINA
Tabla 2.1 Características Físico – Mecánicas del Material de Empedrado .....	15
Tabla 2.2 Características técnicas de la Subrasante y del Diseño Geométrico .....	15
Tabla 2.3 Dosificación para Mezcla Asfáltica sobre Empedrado .....	29
Tabla 2.4 Longitud de Unidades de Muestreo.....	39
Tabla 2.5 Rangos Clasificación PCI.....	42
Tabla 2.6 Fallas en Pavimentos Flexibles .....	43
Tabla 2.7 Calificación de la Serviciabilidad según el Valor PSI.....	62
Tabla 2.8 Coeficientes de apreciación del pavimento para el Cálculo del PSI .....	63
Tabla 2.9 Referencia de Valores IRI .....	64
Tabla 2.10 Longitud máxima y Delta del tramo.....	66
Tabla 2.11 Valores del PSI Aplicando la Ecuación General.....	68
Tabla 2.12 Rugosidad Admisible y Mantenimiento a Realizar.....	70
Tabla 2.13 Relación de Rugosidad (QI) con el (PSI).....	70
Tabla 2.14 Rangos de Relación (PCI), (QI), (PSI).....	71
Tabla 2.15 Rangos de Relación (IRI), (QI), (PSI).....	72
Tabla 2.16 Clasificación de Suelos Método AASTHO .....	82
Tabla 2.17 Factores de Equivalencia de Carga.....	93
Tabla 2.18 Configuración de Ejes de los Vehículos.....	94
Tabla 2.19 Carga de Diseño (Empedrado) .....	96
Tabla 2.20 Requisitos para la Capa Base (Empedrado) .....	97
Tabla 2.21 Granulometrías para la Capa Base (Empedrado) .....	97
Tabla 2.22 Factor por Incremento por mal Drenaje (Empedrado) .....	98
Tabla 2.23 Niveles de Confiabilidad R .....	102
Tabla 2.24 Desviación Estándar $S_o$ .....	103
Tabla 2.25 Desviación Estándar Normal $Z_r$ .....	103
Tabla 2.26 Valores mínimos D1, D2 en función de los ejes equivalentes W18 .....	105
Tabla 2.27 Coeficientes Estructurales $a_1$ para Capas Asfálticas.....	107
Tabla 2.28 Valores de $a_2$ si se conoce el % del CBR de la Capa Base .....	108
Tabla 2.29 Valores de $a_3$ si se conoce el % del CBR de la Capa Sub Base.....	108

Tabla 2.30 Capacidad de Drenaje para remover la humedad .....	110
Tabla 2.31 Valores de $m_i$ .....	110

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

	<b>PAGINA</b>
Fotografía 2.1 Fuente de Materiales: terraza aluvial .....	16
Fotografía 2.2 Carga de material a Volqueta.....	16
Fotografía 2.2 Explotación manual .....	17
Fotografía 2.4 Explotación Mecánica.....	17
Fotografía 2.5 Cribado de material.....	17
Fotografía 2.6 Transporte y Acopio de Material .....	18
Fotografía 2.7 Disgregación de Subrasante .....	21
Fotografía 2.8 Colocación de Maestras o Cordones maestros.....	22
Fotografía 2.9 Colocación e Hincado de Piedra en Empedrado.....	22
Fotografía 2.10 Empodrado.....	23
Fotografía 2.11 Rodillado del Emporado .....	23
Fotografía 2.12 Imprimación y Colocación de la Carpeta Asfáltica sobre Empedrado ...	30
Fotografía 2.13 Carpeta Asfáltica sobre empedrado .....	31
Fotografía 2.14 Grieta piel de cocodrilo.....	44
Fotografía 2.15 Exudación del asfalto.....	45
Fotografía 2.16 Grietas de contracción.....	46
Fotografía 2.17 Elevaciones – hundimiento .....	47
Fotografía 2.18 Corrugaciones .....	48
Fotografía 2.19 Depresiones.....	49
Fotografía 2.20 Grietas de borde .....	50
Fotografía 2.21 Grietas de reflexión de juntas .....	50
Fotografía 2.22 Desnivel de carril – berma .....	52
Fotografía 2.23 Grietas longitudinales y transversales.....	52
Fotografía 2.24 Bacheo y zanjas reparadas .....	54
Fotografía 2.25 Agregados pulidos .....	55
Fotografía 2.26 Huecos .....	55
Fotografía 2.27 Acceso a puentes – rejillas de drenaje .....	56
Fotografía 2.28 Ahuellamiento.....	57
Fotografía 2.29 Deformación por empuje .....	58

Fotografía 2.30 Grietas de deslizamiento .....	59
Fotografía 2.31 Hinchamiento .....	60
Fotografía 2.32 Disgregación y desintegración .....	60
Fotografías de las Fallas Superficiales del Área de Estudio	
Fotografía 3.1 Piel de cocodrilo .....	117
Fotografía 3.2 Exudación del Asfalto .....	118
Fotografía 3.3 Grietas de Contracción ó Bloques .....	118
Fotografía 3.4 Elevaciones - Hundimiento .....	119
Fotografía 3.5 Corrugaciones .....	120
Fotografía 3.6 Depresiones .....	120
Fotografía 3.7 Grietas de Borde .....	121
Fotografía 3.8 Desnivel Calzada - Berma .....	121
Fotografía 3.9 Grietas longitudinales .....	122
Fotografía 3.10 Grietas Transversales .....	122
Fotografía 3.11 Baches y Zanjas Reparadas .....	123
Fotografía 3.12 Agregado Pulido .....	123
Fotografía 3.13 Huecos .....	124
Fotografía 3.14 Acceso a Puentes .....	124
Fotografía 3.15 Ahuellamiento .....	125
Fotografía 3.16 Deformación por Empuje .....	125
Fotografía 3.17 Grietas de Deslizamiento .....	126
Fotografía 3.18 Hinchamiento .....	126
Fotografía 3.19 Disgregación y Desintegración .....	127

## INDICE DE FIGURAS

	<b>PAGINA</b>
Figura 2.1 Conformación con Maquinaria de la Subrasante del Empedrado .....	19
Figura 2.2 Hidratación y Compactación de la Subrasante del Empedrado .....	20
Figura 2.3 Procedimiento de Reconformación de Subrasante con uso de mano de obra....	20
Figura 2.4 Esquema de un Pavimento Sobre Empedrado .....	31
Figura 2.5 Comportamiento Estructural de un Pavimento Flexible y Rígido .....	32
Figura 2.6 Componentes de un Pavimento Flexible.....	32
Figura 2.7 Transmisión de cargas por efectos del tránsito .....	33
Figura 2.8 Impermeabilidad en el Pavimento.....	34
Figura 2.9 Acción Abrasiva de Llantas .....	34
Figura 2.10 Resistencia a los agentes atmosféricos.....	35
Figura 2.11 Transito Confortable .....	35
Figura 2.12 Adaptación a Fallas .....	35
Figura 2.13 Relación entre Rugosidad – Índice de Serviciabilidad .....	69
Figura 2.14 Curva de Deterioro Típico para una Carretera Pavimentada .....	75
Figura 2.15 Ciclo de Vida Deseable de una Carretera Pavimentada.....	78
Figura 2.16 Diagrama de Flujo del Ciclo de Vida Fatal y Deseable .....	78
Figura 2.17 Fases de un Sistemas de Gestión.....	85
Figura 2.18 Espesor del Pavimento Método del C.B.R de la Subrasante (Empedrado) ....	99
Figura 2.19 Espesor del Pavimento Método del Índice de Grupo de la Subrasante (Empedrado).....	99
Figura 2.20 Sistema Multicapa Pavimento Flexible.....	106
Figura 2.21 Abaco para el Diseño de Estructuras de Pavimento Flexible .....	110
Figura 3.1 Mapa de ubicación .....	112
Figura 3.2 Imagen Satelital del Tramo Tomatitas Coimata .....	112
Figura 3.3 Espesores de las Capas del Pavimento sobre Empedrado Actual .....	114
Figura 3.4 Curva Granulométrica del Material de la Subrasante .....	134
Figura 3.5 Diseño adecuado del empedrado .....	141
Figura 3.6 Empedrado Actual.....	141
Figura 3.7 Diseño de la Carpeta Adecuado al Tráfico Actual.....	146

Figura 3.8 Diagrama de Causas posibles del deterioro prematuro Tomatitas-Coimata ...	149
Figura 3.9 Sistema de Mantenimiento Planteado .....	152
Figura 3.10 Ciclo Para la Conservación del Pavimento del Tramo Tomatitas-Coimata..	153
Figura 3.11 Limpieza de las grietas.....	157
Figura 3.12 Relleno de grietas con CA .....	158
Figura 3.13 Corte con sierra eléctrica alrededor del hueco .....	165
Figura 3.14 Riego de Liga o Riego de Imprimación .....	165
Figura 3.15 Compactación del Parche .....	166
Figura 3.16 Diseño Correcto de Pavimento sobre Empedrado .....	174



## INDICE DE ECUACIONES

	PAGINA
Ecu. 2.1 Determinación de las Unidades de Muestreo .....	39
Ecu. 2.2 El intervalo de muestreo.....	40
Ecu. 2.3 Calculo PCI .....	40
Ecu. 2.4 Promedio PCI.....	42
Ecu. 2.5 Calculo PSI .....	62
Ecu. 2.6 Promedio PSI.....	62
Ecu. 2.7 Ecuación General PSI.....	67
Ecu. 2.8 Relación PCI - PSI .....	72
Ecu. 2.9 Relación IRI - PCI (Sayers).....	73
Ecu. 2.10 Ejes Equivalentes W18.....	92
Ecu. 2.11 Índice de Crecimiento .....	92
Ecu. 2.12 Formula para Calculo Espesores Pavimento Empedrado Ing. William Mills.....	95
Ecu. 2.13 Modelo básico del Método AASHTO.....	100
Ecu. 2.14 Serviciabilidad.....	101
Ecu. 2.15 Modulo Resiliencia de la Subrasante Recomendada AASHTO .....	104
Ecu. 2.16 Número Estructural SN .....	105
Ecu. 2.17 Análisis por Capas $D_1^*$ .....	106
Ecu. 2.18 Análisis por Capas $SN_1^*$ .....	106
Ecu. 2.19 Análisis por Capas $D_2^*$ .....	106
Ecu. 2.20 Análisis por Capas $SN_2^*$ .....	106
Ecu. 2.21 Análisis por Capas $D_3^*$ .....	106

## INDICE DE CUADROS

	<b>PAGINA</b>
Cuadro 3.1 Cantidad-Severidad-Porcentaje de Fallas .....	127
Cuadro 3.2 Severidad-Porcentaje de Fallas .....	128
Cuadro 3.3 Resultado PCI del Tramo.....	129
Cuadro 3.4 Resultado IRI del Tramo.....	130
Cuadro 3.5 Resultado PSI del Tramo .....	132
Cuadro 3.6 Resultados del PCI, IRI expresados en PSI .....	132
Cuadro 3.7 Diagnóstico General del Tramo .....	133
Cuadro 3.8 Granulometría del Material de la Subrasante .....	133
Cuadro 3.9 Limite Líquido y Plástico de la Subrasante .....	134
Cuadro 3.10 Clasificación del Suelo de la Subrasante .....	134
Cuadro 3.11 Resultados de la Compactación T-180 de la Subrasante .....	135
Cuadro 3.12 Resultados de la Densidad de la Subrasante .....	136
Cuadro 3.13 Resultados del CBR de la Subrasante.....	136
Cuadro 3.14 TPH de los Carriles de Ida y Vuelta del Tramo.....	138
Cuadro 3.15 TPD del Tramo .....	138
Cuadro 3.16 Factores de Carga Equivalente Según Tipo de Vehículo .....	139
Cuadro 3.17 Total de Ejes Equivalentes del Tramo Evaluado .....	139
Cuadro 3.18 Análisis del Espesor del Pavimento sobre Empedrado Mediante el Software. DARWin .....	145
Cuadro 3.19 Cantidades de Actividades para Reparación del Pavimento.....	170
Cuadro 3.20 Presupuesto para la Reparación del Pavimento .....	170
Cuadro 3.21 Diseño del Pavimento sobre Empedrado Mediante el Software. DARWin	174

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I Ábacos para el Cálculo de los Valores de Deducción, Severidad, Densidad y Valores de Deducción Corregidos.

ANEXO II Método de Evaluación (PCI)

ANEXO III Método de Evaluación (PSI).

ANEXO IV Método de Evaluación (IRI) y Perfiles Longitudinales de la Superficie del Pavimento.

ANEXO V Análisis de Suelos

ANEXO VI Análisis de Trafico

ANEXO VII Presupuesto General y Precios Unitarios