

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



**“DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL  
CÁLCULO Y APROXIMACIÓN DEL EQUIVALENTE DE  
CARGA DE EJES SIMPLES (ESAL) EN EL DISEÑO DE  
PAVIMENTOS EN VÍAS URBANAS”**

**Por:**

**UNIV.: MIRLEN PIMENTEL SOLIZ**

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.

**Gestión 2014**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL**  
**CÁLCULO Y APROXIMACIÓN DEL EQUIVALENTE DE**  
**CARGA DE EJES SIMPLES (ESAL) EN EL DISEÑO DE**  
**PAVIMENTOS EN VÍAS URBANAS”**

**Por:**

**UNIV.: MIRLEN PIMENTEL SOLIZ**

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.

**Gestión 2014**

**TARIJA – BOLIVIA**

## **DEDICATORIA:**

**A DIOS:** Por haberme dado la vida, la inteligencia, la sabiduría y que con su infinito amor me ha guiado y fortalecido por el camino correcto durante todo el transcurso de mi carrera y en el desarrollo de éste proyecto de grado, permitiéndome cumplir una etapa más en mi vida.

## **AGRADECIMIENTO:**

### **A DIOS Y A LA VIRGEN MARÍA:**

Por estar conmigo y ser la luz en mi camino, por darme a entender como levantarme de mis tropiezos, y darle sentido a mi vida.

**A MIS PADRES:** Por su apoyo incondicional en mi lucha por lograr mis propósitos profesionales.

**AMIGOS Y COMPAÑEROS:** Con los que formamos una valiosa amistad, por todas aquellas horas de trabajo que compartimos, por todas las alegrías y penas que tuvimos que aprender a vivir juntos, por los grandes recuerdos inolvidables y que gracias a esto se convirtieron en un apoyo fundamental.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

Advertencia

Dedicatoria

Agradecimiento

Resumen

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Generalidades .....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Planteamiento del problema .....	5
1.3.1. Situación problemática .....	5
1.3.2. Problema .....	5
1.4. Objetivos .....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivo específicos.....	6
1.5. Métodos y técnicas empleadas .....	6
1.5.1. Medios.....	6
1.5.2. Procedimiento de aplicación.....	7
1.6. Alcance.....	9

## CAPÍTULO II

### ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS

2.1. Definición.....	11
2.1.1.- Características que debe reunir un pavimento.....	11

2.2. Clasificación de los pavimentos .....	12
2.3. Estructura de un pavimento flexible .....	13
2.3.1. Superficie de rodamiento .....	14
2.3.2. Base.....	14
2.3.3. Subbase.....	15
2.3.4. Terreno de fundación .....	15
2.4. Esfuerzos más importantes producidos en la estructura del pavimento asfáltico .....	15
2.6. Condiciones para el diseño de pavimentos .....	16
2.6.1. Clasificación de calles y carreteras .....	17
2.6.1.1. Vías urbanas .....	17
2.6.1.2 Calle.....	18
2.6.2. Diseño de la estructura del pavimento flexible.....	18
2.6.2.1. Método de AASTHO.....	18
2.6.2.1.1. Las variables que se tendrán que considerar en este método serán las siguientes .....	19
2.6.2.1.2. Determinación de espesores .....	21
2.6.2.1.3. Limitaciones en el método de diseño AASHTO.....	24

### CAPÍTULO III

#### CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO

3.1. Introducción.....	26
3.2.- Periodo de diseño del pavimento .....	26
3.3.- Caracterización de las cargas del tránsito .....	26
3.3.1. Tránsito mezclado .....	26
3.3.1.1. Diferentes tipos de vehículos.....	27

3.3.1.2. Diferentes magnitudes de carga por eje .....	29
3.3.1.3. Configuraciones usuales de los ejes y de las ruedas de los vehículos automotores que transmiten las cargas al pavimento .....	29
3.3.2. Peso de camiones .....	30
3.3.2.1. Estaciones permanentes de control de cargas .....	30
3.3.2.2. Estaciones portátiles .....	31
3.3.2.3. Pesaje en movimiento .....	31
3.3.3. Determinación del efecto de las cargas transmitidas por los diferentes ejes sobre un pavimento flexible .....	33
3.4.- El tráfico en el diseño de pavimentos .....	34
3.4.1.- Volúmenes de tránsito .....	35
3.4.1.1. Volúmenes de camiones .....	37
3.4.1.2. Uso de datos de volúmenes de tránsito .....	37
3.4.1.2.1. Información de tránsito requerida para el diseño de un pavimento .....	37
3.5.- Conversión de tránsito en ESALs .....	38
3.5.1.- Factor equivalente de carga .....	38
3.5.1.1. Procedimiento para el cálculo de ESAL .....	38
3.5.1.2. Consideraciones para el cálculo de ejes equivalentes .....	45
3.5.1.3. Equivalencias de carga por vehículo .....	57
3.5.1.3.1. Factor Camión .....	57
3.5.1.3.1.1. Estimación del factor camión para el caso en que no pueden pesarse los camiones .....	59
3.6. Deterioros de los pavimentos en vías urbanas .....	59

3.6.1. Fallas Superficiales:.....	61
3.6.1.1. Análisis, clasificación y cuantificación de los deterioros del pavimento .....	62

## CAPÍTULO IV

### APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1. Relevamiento de información técnica .....	65
4.1.1. Descripción de las vías del departamento de Tarija.....	65
4.1.1.1. Vías en el centro de la ciudad de Tarija.....	67
4.1.2. El parque automotor y el tráfico en el municipio de Tarija.....	68
4.2. Estudio de volúmenes de tráfico .....	69
4.2.1. Ubicación de las vías urbanas de estudio: .....	69
4.2.1.1. Estaciones de control .....	72
4.2.2. Mediciones y aforos.....	73
4.2.2.1. Aforos continuos de 24 horas .....	73
4.2.2.2. Aforos de horas pico.....	75
4.2.2.3. Análisis estadísticos de los aforos obtenidos y depuración de datos...77	
4.2.2.4. Tráfico promedio horario (T.P.H.).....	83
4.2.2.5. Tráficos promedio Diario .....	84
4.3. Índice de crecimiento para el tráfico en estudio .....	86
4.3.1. Determinación del índice de crecimiento según el parque automotor.....	86
4.3.2. Determinación del índice de crecimiento según el uso de combustible ....	87
4.3.3. Índice de crecimiento para todo el tráfico en estudio.....	88
4.3.4. Resultados del índice de crecimiento .....	89
4.4. Factor de crecimiento de transito .....	90

4.5. Desarrollo del factor de correccion.....	93
4.5.1. Procedimiento de cálculo.....	94
4.5.1.1. Determinación del ESAL normal, ESAL liviano, ESAL mediano y ESAL pesado.....	94
4.5.1.2. Resultados de ESAL (liviano, mediano, pesado).....	104
4.6. Factor de corrección propuesto.....	109
4.6.1. Análisis estadísticos para determinar el factor de corrección.....	109
4.6.2. LEF propuestos.....	112
4.7. Determinación del esal propuesto.....	113
4.7.1. Resultados de esal propuesto:.....	116
4.8. Análisis y evaluación de resultados.....	119

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	134
5.2. Recomendaciones.....	142
BIBLIOGRAFÍA.....	143
ANEXOS.....	

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Clasificación funcional de las carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Número de carriles y tipo de Superficie de Rodadura .....	17
Tabla 2: Periodos de diseño.....	20
Tabla 3: Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos.....	28
Tabla 4: Factores de Crecimiento de Tránsito .....	36
Tabla 5: Tipos De Estudios De Volúmenes Y Sus Aplicaciones .....	37
Tabla 6: Porcentaje del tránsito total de camiones en el carril de diseño.....	40
Tabla 7: Distribución de factores de camión para diferentes clases de carreteras y vehículos en Estados Unidos.....	41
Tabla 8: Factores típicos de equivalencia de carga.....	41
Tabla 9: Factores de equivalencia utilizados más frecuentemente en Colombia.....	44
Tabla 10: Índice de Serviciabilidad.....	46
Tabla 11: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t=2.0$ .....	47
Tabla 12: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tandem, $P_t=2.0$ .....	48
Tabla 13: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, $P_t=2.0$ .....	48
Tabla 14: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t=2.5$ .....	49
Tabla 15: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tandem, $P_t=2.5$ .....	49

Tabla 16: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt=2.5 .....	50
Tabla 17: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt=3.0 .....	50
Tabla 18: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt=3.0 .....	51
Tabla 19: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt=3.0 .....	51
Tabla 20: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples, Pt=2.0 .....	52
Tabla 21: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tandem, Pt=2.0 .....	52
Tabla 22: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem, Pt=2.0 .....	53
Tabla 23: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples, Pt=2.5 .....	53
Tabla 24: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem, Pt=2.5 .....	54
Tabla 25: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem, Pt=2.5 .....	54
Tabla 26: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples, Pt=3.0 .....	55
Tabla 27: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem, Pt=3.0 .....	55
Tabla 28: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem, Pt=3.0 .....	56

Tabla 29: Tipos de fallas en los pavimentos.....	61
Tabla 30: Clasificación general de los deterioros de los pavimentos asfálticos.....	64
Tabla 31: Vías urbanas de estudio .....	71
Tabla 32: Aforo vehicular (para determinar las horas pico).....	74
Tabla 33: Aforo Vehicular (horas pico) .....	75
Tabla 34: Análisis estadísticos de los aforos obtenidos y depuración de datos .....	78
Tabla 35: Resumen obtenida de la depuración de datos.....	82
Tabla 36: Resultados (T.P.H.).....	82
Tabla 37: Resultados de (T.P.H.) de las 30 calles.....	83
Tabla 38: Resultados (T.P.D.) de las 30 calles.....	85
Tabla 39: Parque automotor por municipio, clase de vehículo, (1998-2012).....	86
Tabla 40: Resultados "índice de crecimiento según el parque automotor" .....	86
Tabla 41: Datos del parque automotor según el uso de combustible.....	87
Tabla 42: Resumen de (públicos +privados +oficial).....	88
Tabla 43: Resultados "índice de crecimiento según el uso de combustible" .....	88
Tabla 44: Datos del parque automotor del municipio de tarija.....	89
Tabla 45: índice de crecimiento para todo el tráfico en estudio.....	89
Tabla 46: Resultados índice de crecimiento.....	89
Tabla 47: Factores de crecimiento de tránsito .....	91
Tabla 48: Factores de crecimiento de cada vehículo en estudio.....	92
Tabla 49: Factores de crecimiento de tránsito (para autos).....	92
Tabla 50: Factores de crecimiento de cada vehículo en estudio.....	93
Tabla 51: Determinación Del ESAL (Pavimento flexible) C/Bolívar (Av. La Paz – O'Connor).....	95

Tabla 52: Obtención del peso del eje delantero y el eje trasero.....	96
Tabla 53: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt=2.0 .....	97
Tabla 54: Factor equivalente eje delantero y eje trasero .....	97
Tabla 55: EAL delantero .....	98
Tabla 56: Determinación del ESAL (pavimento rígido).....	100
Tabla 57: Obtención del peso del eje delantero y el eje trasero.....	101
Tabla 58: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígido, ejes simples, Pt=2.5 .....	102
Tabla 59: Factor equivalente eje delantero y eje trasero .....	102
Tabla 60: EAL delantero .....	103
Tabla 61: Resultados del ESAL (Pavimento Flexible).....	104
Tabla 62: Resultados del ESAL (Pavimento Rígido).....	107
Tabla 63: Factor de corrección (Pavimento Flexible).....	110
Tabla 64: Factor de corrección (Pavimento Rígido).....	111
Tabla 65: LEF propuesto para vehículos livianos (Pavimento flexible).....	112
Tabla 66: Resultados de los LEF propuesto (Pavimento Flexible).....	112
Tabla 67: LEF propuesto para vehículos livianos (Pavimento Rígido).....	112
Tabla 68: Resultados de los LEF Propuesto (Pavimento Rígido).....	112
Tabla 69: Determinación del ESAL propuesto (pavimento flexible).....	114
Tabla 70: Determinación del ESAL propuesto (Pavimento Rígido).....	115
Tabla 71: Resultados del ESAL propuesto (Pavimento Flexible).....	116
Tabla 72: Resultados del ESAL propuesto (Pavimento Rígido).....	118
Tabla 73: Análisis y evaluación de resultados del T.P.D. ....	120

Tabla 74: Análisis y evaluación de resultados del ESAL (Pavimento Flexible).....	121
Tabla 75: Análisis y evaluación de resultados del ESAL (Pavimento Rígido).....	122
Tabla 76: Análisis y evaluación de resultados del ESAL propuesto (Pavimento Flexible).....	124
Tabla 77: Análisis y evaluación de resultados del ESAL propuesto (Pavimento Rígido).....	125
Tabla 78: Resultados del ESAL normal y ESAL propuesto .....	127
Tabla 79: Resultados del ESAL normal y ESAL propuesto (Pavimento Rígido)....	128
Tabla 80: Análisis estadístico para la determinación del porcentaje de mayoración del ESAL (Pavimento Flexible).....	129
Tabla 81: Análisis estadístico para la determinación del porcentaje de mayoración del ESAL en Pavimentos Rígidos .....	131
Tabla 82: Comparación del factor de corrección y el % de mayoración.....	132
Tabla 83: Comparación de los LEFs propuestos .....	132
Tabla 84: Análisis comparativo del ESAL normal y ESAL propuesto de un proyecto real.....	133
Tabla 85: Resultados del T.P.H.....	134
Tabla 86: Resultados del ESAL (Pavimento Flexible).....	136
Tabla 87: Resultados del ESAL (Pavimento Rígido).....	137
Tabla 88: Resultados índice de crecimiento.....	138
Tabla 89: Factores equivalentes de carga.....	138
Tabla 90: Resultados de los LEF propuestos .....	139
Tabla 91: ESAL normal y ESAL propuesto de un proyecto real.....	139
Tabla 92: Resultados del ESAL normal y ESAL propuesto (pavimento flexible)...	140

Tabla 93: Resultados del ESAL normal y ESAL propuesto (Pavimentos Rígidos).141

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
figura 1: Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos .....	12
Figura 2: Estructura típica de pavimentos asfálticos.....	14
Figura 3: Esfuerzos generados en las capas de una estructura típica de pavimento... ..	15
Figura 4: Esquema de la distribución de esfuerzos, kg/cm <sup>2</sup> en pavimentos típicos ... ..	16
Figura 5: Ábaco de diseño AASTHO para pavimentos flexibles .....	23
Figura 6: Tipos de vehículos .....	27
Figura 7: Magnitudes de carga por eje .....	29
Figura 8: Tipos de ejes.....	29
Figura 9: Diferentes configuraciones de ejes .....	30
Figura 10: Balanzas portátiles de carga por rueda.....	31
Figura 11: Sensores piezo-eléctricos adheridos sobre el pavimento .....	33
Figura 12: Equivalencia de carga.....	57
Figura 13: Efectos de la sobre carga vehicular.....	58
Figura 14: Efectos de la sobre carga vehicular sobre el pavimento .....	58
Figura 15: Plano de la ciudad de tarija.....	66
Figura 16: Preocupaciones recurrentes de los tarijeños según encuesta de promut ... ..	67
Figura 17: Evolución del parque automotor.....	68
Figura 18: Composición del tráfico .....	69
Figura 19: Vías urbanas de estudio .....	70
Figura 20: Gráfico de ubicación de las estaciones de control.....	72
Figura 21: Comportamiento del tráfico .....	74

Figura 22: Comportamiento del esal (pavimento flexible) en las diferentes calles ..	105
Figura 23: Comportamiento del esal (pavimento flexible) (liviano, mediano y pesado) en las diferentes calles .....	106
Figura 24: Comportamiento del esal en las diferentes calles (pavimento rígido).....	108
Figura 25: Comportamiento del esal liviano propuesto y el esal pesado en las diferentes calles (pavimento flexible).....	117
Figura 26: Comportamiento del esal propuesto en las diferentes calles (pavimento flexible).....	117
Figura 27: Comportamiento del esal liviano propuesto y el esal pesado en las diferentes calles (pavimento flexible).....	119
Figura 28: Comportamiento del esal liviano, mediano y pesado (pavimento flexible) .....	123
Figura 29: Comportamiento del ESAL liviano, mediano y pesado (pavimento rígido) .....	123
Figura 30: Análisis y evaluación del ESAL propuesto (pavimento flexible).....	126
Figura 31: Análisis y evaluación del ESAL propuesto (pavimento rígido).....	126
Figura 32: Flujo vehicular en las vías urbanas de la ciudad de Tarija.....	135

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Aforo vehicular.....	
Anexo 2: Aforo vehicular (horas pico).....	
Anexo 3: Análisis estadístico de los aforos obtenidos y depuración de datos.....	
Anexo 4: Estadísticas del parque automotor (1998-2012).....	
Anexo 5: Determinación del ESAL (pavimento flexible).....	
Anexo 6: Determinación del ESAL (pavimento rígido).....	
Anexo 7: Determinación del ESAL propuesto (pavimento flexible).....	
Anexo 8: Determinación del ESAL propuesto (pavimento rígido).....	