

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



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS
RÍGIDOS DE BAJO, MEDIO Y ALTO TRÁFICO APLICABLES A
NUESTRA REGIÓN POR EL MÉTODO AASHTO 93,
MECANICISTA Y EL PCA”**

Por:

GABRIEL AMED BALCAZAR VACA

Semestre II - 2022

TARIJA – BOLIVIA

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

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS
RÍGIDOS DE BAJO, MEDIO Y ALTO TRÁFICO APLICABLES A
NUESTRA REGIÓN POR EL MÉTODO AASHTO 93,
MECANICISTA Y EL PCA”**

Por:

GABRIEL AMED BALCAZAR VACA

Semestre II - 2022

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

A mi padre y a mi madre, hermanos,
a mi novia, a mis amigos

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Situación problemática	1
1.2.1. Problema	2
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema.....	2
1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema.....	2
1.2.3.1. Delimitación temporal	2
1.2.3.2. Delimitación espacial.....	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis	3
1.6. Operacionalización de las variables.....	4
1.6.1. Variable independiente: Calidad de los materiales en cada tramo.....	4
1.6.2. Variable dependiente: Diseño de Pavimento Rígido por metodologías AASHTO 93, Mecanicista y PCA.....	4
1.7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	6

CAPÍTULO II BASES TEÓRICAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

	Página
2.1 Marco Teórico	7
2.2. Bases teóricas y conceptuales	7
2.2.1. Pavimentos rígidos.....	7
2.2.1.1. Sub rasante.....	8
2.2.1.2. Sub Bases	8
2.2.1.3. Losa de Hormigón o Superficie de Rodadura.....	9
2.2.1.4. Hormigón	9
2.2.2. Tipos de Pavimentos Rígidos	9
2.3. Estudios geotécnicos.....	9
2.4. Clasificación de suelos.....	10
2.4.1. Sistema de Clasificación de Suelo de la AASHTO	10

2.4.2.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	11
2.4.2.1.	Suelos Granulares	12
2.4.2.2.	Suelos Finos	12
2.5.	Estudio de Tráfico.....	13
2.5.1.	Aforo o conteo volumétrico de tráfico.....	14
2.5.1.1.	Tránsito Promedio Diario Anual.....	14
2.5.1.2.	Tasa Anual del Crecimiento de Transito	14
2.6.	Diseño Estructural del Pavimento.....	14
2.7.	Diseño de Pavimentos Rígidos	14
2.7.1.	Consideraciones generales.....	14
2.7.2.	Espesor del pavimento	15
2.7.3.	Variables de diseño.....	15
2.7.3.1.	Método AASHTO 93 (American Association of State Higways and Transportation Officials)	16
2.7.3.1.1.	Módulo de Resilencia	16
2.7.3.1.2.	Ensayo de Resilencia	16
2.7.3.1.3.	Correlación entre el %CBR y Modulo de Resilencia	17
2.7.3.1.3.1.	Módulo de reacción de la subrasante “K”	17
2.7.3.1.4.	Periodo de Diseño.....	18
2.7.3.1.5.	Serviciabilidad	18
2.7.3.1.6.	Pérdida del Indicé de Serviaviabilidad	19
2.7.3.1.7.	Tráfico.....	19
2.7.3.1.7.1.	Configuración de Eje	21
2.7.3.1.7.2.	Tipo de Ejes	22
2.7.3.1.8.	Distribución direccional “Dd”	23
2.7.3.1.9.	Factor de distribución por carril “Di”	23
2.7.3.1.10	Factores equivalentes de carga (Lef)	23
2.7.3.1.11.	Factor camión	24
2.7.3.1.12.	Número de ejes equivalentes (ESAL’s).....	24
2.7.3.1.13.	Nivel de confianza y desviación estándar	24
2.7.3.1.14.	Coefficiente de drenaje	25

2.7.3.1.15.	Hormigón de Cemento Portland	26
2.7.3.1.16.	Resistencia a la Compresión Simple.....	27
2.7.3.1.17.	Resistencia a la Tracción Indirecta	27
2.7.3.1.18	Caracterización del Hormigón utilizado en el Pavimento	27
2.7.3.1.18.1.	Módulo Elástico del Pavimento.....	27
2.7.3.1.19.	Módulo de Rotura Resistencia a la Tracción por Flexión del Hormigón...28	
2.7.3.1.20.	Transferencia de Carga “J”	28
2.7.3.1.21.	Determinación del Espesor “D” losa de Hormigón.....	29
2.7.3.1.22.	Juntas en losas de hormigón	32
2.7.3.1.23.	Espaciamiento entre juntas	32
2.7.3.1.24.	Diseño de pasadores y juntas de hormigón.....	33
2.8.	Método PCA (Portland Cement Association).....	35
2.8.1.	Parámetros de diseño método PCA	35
2.8.1.1.	Resistencia a la capa de apoyo de la losa de concreto (k)	36
2.8.1.2.	Tránsito	37
2.8.1.3.	Factor de seguridad de carga	38
2.8.1.4.	Periodo de diseño (T).....	38
2.8.1.5.	Resistencia del hormigón.....	38
2.8.1.6.	Tipos de juntas y bermas.....	39
2.10.	Método Mecanicista.....	49
2.10.1.	Parámetros de diseño método mecanicista	49
2.10.1.1.	Subrasante.....	49
2.10.1.2.	Tránsito	49
2.10.1.3.	Propiedades mecánicas de los materiales	50
2.10.1.4.	Probabilidad de falla	51
2.10.1.5.	Valores de esfuerzos admisibles	52
2.10.1.7.	Esfuerzos producidos por las cargas del tránsito en el pavimento rígido ...	54
2.10.1.7.1.	Localizaciones críticas de carga	54
2.10.1.7.1.1.	Interior	54
2.10.1.7.1.2.	Borde.....	54
2.10.1.7.1.3.	Esquina.....	54
2.10.1.6.	Capas de pavimento según el tránsito.....	55

2.10.1.6.1. Calzadas con tránsito pesado y tránsito bajo	55
--	----

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

	Página
3.1. Ubicación geográfica	57
3.2. Fases del proyecto.....	57
3.3. Características del tramo de estudio	58
3.3.1. Caracterización y estudio de la subrasante	58
3.3.2. Reconocimiento de campo.....	59
3.3.3. Sondaje y Muestreo.....	59
3.3.3.1. Número de puntos de investigación.....	59
3.3.4. Ensayos de Suelos para su clasificación	61
3.3.4.1. Contenido de Humedad ASTM D2216	61
3.3.4.2. Análisis granulométrico por tamizado ASTM D422 AASHTO T88.....	63
3.3.4.3. Determinación de consistencia de los suelos: Limite líquido ASTM D4318 AASHTO T89, Límite plástico e Índice de plasticidad ASTM D4318 AASHTO T90	65
3.3.4.4. Ensayo de compactación AASHTO T272	69
3.3.4.5. Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) ASTM D1883 AASHTO T193	72
3.3.5. Resistencia máxima y mínima del Hormigón a compresión y flexo tracción..	78
3.3.5.1. Especificaciones técnicas del Cemento Fancesa IP 40	78
3.3.5.2. Características del Agregado Fino	78
3.3.5.3. Características del Agregado Grueso.....	78
3.3.5.4. Dosificación de Hormigones ACI 2.11.....	81
3.3.5.4.1. Características del diseño.....	81
3.3.5.4.2 Cantidad de dosificación para probetas cilíndricas.....	85
3.3.5.4.2 Cantidad de dosificación para Vigas.....	85
3.3.5.4.3 Ensayo de Rotura de Probetas a compresión	89
3.3.5.4.4. Ensayo a Flexo tracción de Vigas.....	89
3.3.6. Estudios de Tráfico	91

3.3.6.1.	Tráfico según AASHTO 93	91
3.3.6.1.1.	Barrio Aranjuez Norte avenida San Antonio	91
3.3.6.1.2.	Barrio Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco	92
3.3.6.1.3.	Barrio Trigal Av. La Paz.....	93
3.3.6.1.4.	Resumen del tráfico promedio diario semanal TPDS vehicular en cada tramo de estudio	94
3.3.6.1.5.	Tránsito promedio diario anual.....	96
3.3.6.1.6.	Barrio Aranjuez Norte Av. San Antonio.....	98
3.3.6.1.7.	Barrio El Trigal Av. La Paz	100
3.3.6.1.8.	Barrio Tarijeño en Progreso Av. Gran Chaco.....	101
3.3.6.1.9.	Tasa anual de crecimiento.....	103
3.3.6.1.10.	Factor camión	104
3.3.6.1.10.1	Factor de equivalencia de carga.....	104
3.3.6.1.10.2.	Cálculo del factor camión.....	105
3.3.6.1.11.	Número de ejes equivalentes.....	106
3.3.6.1.11.1.	Cálculo del factor de crecimiento (Fcr)	107
3.3.6.1.11.2.	Periodo de diseño.....	107
3.3.6.1.11.3.	Cálculo de ESAL's en tramos de estudio	108
3.3.6.2.	Tráfico según PCA.....	111
3.3.6.2.1.	Cálculo de ESAL's por eje en cada tramo de estudio.....	111
3.3.6.3.	Tráfico según método Mecanicista.....	116
3.3.6.3.1.	Cálculo de ESAL's por eje en cada tramo de estudio.....	116

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO RÍGIDOS Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE METODOLOGÍAS

	Página	
4.1.	Diseño de espesor de pavimento rígido ASHTO 93 “El Trigal”	119
4.1.1.	Clasificación del Tráfico Barrio El Trigal	119
4.1.2.	Módulo de reacción de la subrasante “K”	119
4.1.3.	Confiabledad R (%) y desviación estándar (Zr)	121
4.1.4.	Error estándar combinado	121
4.1.5.	Serviciabilidad	121
4.1.6.	Módulo de Ruptura del hormigón (S’c).....	122

4.1.7.	Coeficiente de drenaje (Cd)	122
4.1.8.	Módulo de Elasticidad del Hormigón (Ec)	123
4.1.9.	Coeficiente de transferencia de carga (J)	123
4.1.10.	Aplicación del software AASHTO 93 “El Trigal”	125
4.1.11.	Aplicación de nomogramas pavimento rígido “El Trigal”	126
4.1.11.	Diseño de espaciamiento entre juntas y pasadores “El Trigal” AASHTO 93	128
4.1.11.1.	Diseño de juntas longitudinales	128
4.2.11.2.	Diseño de pasadores y juntas de hormigón	128
4.2.11.2.1.	Relación de lados de la losa	128
4.2.11.2.2.	Esfuerzo de tensión del hormigón.....	128
4.2.11.2.3	Planilla de fierro	130
4.2.	Diseño de espesor pavimento rígido AASHTO93 Barrio Tarijeños en Progreso	131
4.2.1.	Clasificación del Trafico Barrio Tarijeños en Progreso.....	131
4.2.2.	Módulo de reacción de la subrasante “K”	131
4.2.3.	Confiabilidad R (%) y desviación estándar (Zr):	132
4.2.4.	Error estándar combinado	133
4.2.5.	Serviciabilidad	133
4.2.6	Módulo de Ruptura del hormigón (S’c)	133
4.2.7.	Coeficiente de drenaje (Cd)	133
4.2.8.	Módulo de Elasticidad del Hormigón (Ec)	134
4.2.9.	Coeficiente de transferencia de carga (J)	134
4.2.10.	Aplicación del software AASHTO 93 “Tarijeños en Progreso”	136
4.2.11.	Aplicación de nomogramas pavimento rígido “Tarijeños en Progreso”	136
4.2.12.	Diseño de espaciamiento entre juntas y pasadores “Tarijeños en Progreso” AASHTO 93	138
4.2.12.1.	Datos de la losa de hormigón.....	138
4.2.12.2.	Diseño de pasadores y juntas de hormigón	138
4.2.12.2.1.	Relación de lados de la losa	138
4.2.12.2.2.	Esfuerzo de tensión del hormigón.....	138
4.2.12.2.3	Planilla de fierro	140
4.3.	Diseño de espesor de pavimento rígido AASHTO 93 Barrio Aranjuez Norte.....	141
4.3.1.	Clasificación del Trafico Barrio Aranjuez Norte	141

4.3.2.	Módulo de reacción de la subrasante “K”	141
4.3.3.	Confiabilidad R (%) y desviación estándar (Z_r):	142
4.3.4.	Error estándar combinado.....	143
4.3.5.	Serviciabilidad	143
4.3.6	Modulo de Ruptura del hormigón ($S'c$)	143
4.3.7.	Coefficiente de drenaje (C_d).....	143
4.3.8.	Módulo de Elasticidad del Hormigón (E_c).....	144
4.3.9.	Coefficiente de transferencia de carga (J).....	144
4.3.10.	Aplicación del software AASHTO 93 “Aranjuez Norte”.....	146
4.3.11.	Aplicación de nomogramas de pavimento rígido “Aranjuez Norte”	146
4.3.12.	Diseño de espaciamiento entre juntas y pasadores “Aranjuez Norte” AASHTO 93	148
4.3.12.1.	Diseño de juntas longitudinales	148
4.3.12.2.	Diseño de pasadores y juntas de hormigón.....	148
4.3.12.2.1.	Relación de lados de la losa	148
4.3.12.2.2	Esfuerzo de tensión del hormigón	148
4.3.12.2.3	Planilla de fierro	150
4.4.	Diseño de espesor de pavimento rígido método PCA “El Trigal”	151
4.4.1.	Módulo de reacción de la subrasante.....	151
4.4.2.	Cálculo del módulo de reacción combinado de subrasante y subbase.....	151
4.4.3.	Cálculo de esfuerzos para fatiga y factores de erosión.....	154
4.5.	Diseño de Espeso de Pavimento Rígido PCA Barrio Tarijeños en Progreso	159
4.5.1.	Módulo de reacción de la subrasante.....	159
4.5.2.	Cálculo del módulo de reacción combinado de subrasante y subbase.....	159
4.5.3.	Cálculo de esfuerzos para fatiga y factores de erosión.....	162
4.6.	Diseño de espesor de pavimento rígido PCA “Aranjuez Norte”	167
4.6.1.	Módulo de reacción de la subrasante.....	167
4.6.2	Cálculo del módulo de reacción combinado de subrasante y subbase.....	167
4.6.3.	Cálculo de esfuerzos para fatiga y factores de erosión.....	170
4.7.	Método mecanicista Barrio El Trigal.....	175
4.7.1.	Subrasante.....	175
4.7.2	Tipo de Estructura	175

4.7.3.	Tipo de Subrasante	175
4.7.4.	Tipo de Plataforma: PF1	175
4.7.5.	Calculo y clasificación del tránsito de diseño	176
4.7.6.	Aplicación del catálogo según el tránsito.....	177
4.7.7.	Cálculo de esfuerzos en la losa.....	183
4.7.8.	Cuadro resumen de esfuerzo en la losa	184
4.8.	Método mecanicista Barrio Tarijeños en Progreso	185
4.8.1.	Subrasante	185
4.8.2	Tipo de Estructura.....	185
4.8.3.	Tipo de Subrasante	185
4.8.4.	Tipo de Plataforma: PF1	185
4.8.5.	Cálculo y clasificación del tránsito de diseño	186
4.8.6.	Aplicación del ábaco para determinar la capa estructural para transito bajo ..	187
4.8.7.	Cálculo de esfuerzos en la losa.....	192
4.8.8	Cuadro resumen de esfuerzo en la losa.....	194
4.9.	Método mecanicista Barrio Aranjuez Norte.....	195
4.9.1.	Subrasante	195
4.9.2	Tipo de Estructura.....	195
4.9.3.	Tipo de Subrasante	195
4.9.4.	Tipo de Plataforma: PF1	195
4.9.5.	Cálculo y clasificación del tránsito de diseño	196
4.9.6.	Aplicación del catálogo según el tránsito pesado.....	197
4.9.7.	Cálculo de esfuerzos en la losa.....	198
4.9.8.	Cuadro resumen de esfuerzo en la losa	200
4.10.	Comparación de espesores pavimento rígido según metodología propuesta ..	201
4.10.1.	Tráfico Bajo “Tarijeños en Progreso”	201
4.10.2.	Tráfico Medio “El Trigo”	201
4.10.3.	Tráfico Alto “Aranjuez Norte”	201
4.11.	Análisis comparativo de variables en metodologías propuestas	202
4.11.1.	Módulo de rotura del Hormigón (MR).....	202
4.11.2.	Resistencia de la subrasante (Ko) y módulo dinámico de la subrasante	203
4.11.3.	Cargas de Tránsito.....	203

4.11.4. Periodo de diseño.....	203
4.11.5. Transferencia de carga.....	203
4.11.6. Módulo de elasticidad del Hormigón.....	204
4.11.7. Serviciabilidad	204
4.11.8. Coeficiente de drenaje	204
4.11.9. Confiabilidad	204
4.11.10 Factor de seguridad.....	204
4.11.11.Esfuerzos admisibles.....	205
4.12. Precio Unitario por actividad en la construcción del pavimento rígido	208
4.13. Comparación de precios unitarios de espesor de losa en tramos de estudio.....	211
4.13.1. Diferencia de costos parciales entre metodologías propuestas	212

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONE

	Página
5.1. Conclusiones.....	212
5.2. Recomendaciones	215

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO I: Permisos y solicitudes
- ANEXO II: Aforo vehicular y clasificación de vehículos Barrio “Aranjuez Norte”
Av. San Antonio
- ANEXO III: Aforo vehicular y clasificación de vehículos Barrio “El Trigal” Av. La Paz
- ANEXO IV: Aforo vehicular y clasificación de vehículos Barrio “Tarijeños en
Progreso” Av. Gran Chaco
- ANEXO V: Ensayos de caracterización de agregado fino y grueso “Chancadora San
Blas” en lab.de hormigón
- ANEXO VI: Ensayos de caracterización de agregado fino muestra “El Trigal” Av. La
Paz
- ANEXO VII: Ensayos de caracterización de agregado fino muestra “Tarijeños en
Progreso” Av. Gran Chaco

ANEXO VIII: Ensayos de caracterización de agregado fino muestra “Aranjuez Norte”

Av. San Antonio

ANEXO IX: Planos

Índice de Tablas

	Página
Tabla 1.1: Tramos seleccionados para estudio de tráfico	2
Tabla 1.2: Descripción de variables dependientes e independientes	5
Tabla 2.1: Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO	11
Tabla 2.2: Sistema de Clasificación de Suelos SUCS.....	13
Tabla 2.3: Periodo de Diseño.....	18
Tabla 2.4: Índice de Serviciabilidad	18
Tabla 2.5: Clasificación de Vehículos	20
Tabla 2.6: Factor de Crecimiento	21
Tabla 2.7: Factor de distribución por carril	23
Tabla 2.8: Niveles de confianza.....	25
Tabla 2.9: Factores de desviación normal	25
Tabla 2.10: Tiempos de drenaje.....	26
Tabla 2.11: Coeficientes de drenaje para pavimento rígido.....	26
Tabla 2.12: Coeficiente de transferencia de carga	28
Tabla 2.13: Espaciamiento entre juntas	32
Tabla 2.14: Dimensiones en pasajuntas urbanos	33
Tabla 2.15: Efecto de la subbase granular sobre el valor de k.....	37
Tabla 2.16: Valores de diseño para subbase tratada con cemento.....	37
Tabla 2.17: Esfuerzo equivalente sin berma hormigón (eje sencillo y eje tándem)....	30
Tabla 2.18: Esfuerzo equivalente con berma de hormigón (eje sencillo y tándem)....	40
Tabla 2.19: Factor de erosión juntas con pasadores sin bermas en hormigón (eje simple y tándem).....	42
Tabla 2.20: Factor de erosión, trabazón de agregados, sin bermas de hormigón (eje sencillo y tándem)	43
Tabla 2.21: Factores de erosión – juntas con pasadores – bermas de hormigón (eje sencillo y tándem)	45
Tabla 2.22: Factores de erosión – trabazón de agregados, bermas de hormigón (eje simple y tándem).....	46
Tabla 2.23: Datos de distribución de las cargas del tránsito PCA	48
Tabla 2.24: Clasificación de Tránsito	50
Tabla 2.25: Coeficiente de poisson para diferentes materiales.....	51

Tabla 2.26: Valores Probabilísticos de la ley normal, valor fractil u	51
Tabla 2.27: Valores de K_s	52
Tabla 2.28: Valores para K_d	53
Tabla 2.29: Tipo de plataforma y clasificación de suelos según CBR método mecanicista	54
Tabla 3.1: Coordenadas de tramos de estudio	58
Tabla 3.2: Número de puntos de investigación	59
Tabla 3.3: Datos y resultados de laboratorio de suelos	77
Tabla 3.4: Especificaciones técnicas del cemento Fancesa IP 40.....	78
Tabla 3.5: Resistencia promedio a la compresión cuando no hay datos disponibles para establecer un desviación estándar de la muestra	81
Tabla 3.6: Selección asentamiento (slump recomendada según el tipo de estructura)	82
Tabla 3.7: Relación agua/cemento (a/c)	82
Tabla 3.8: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.....	83
Tabla 3.9: Requerimientos aproximados de agua para diferentes valores de asentamientos	83
Tabla 3.10: Primera estimación del peso del hormigón fresco.....	84
Tabla 3.11: Coordenadas UTM del tramo de estudio “Aranjuez Norte”	91
Tabla 3.12: Tipos de vehículo tramo Aranjuez Norte	92
Tabla 3.13: Coordenadas UTM del tramo de estudio “Tarijeños en Progreso”	92
Tabla 3.14: Tipo de vehículos Tarijeños en Progreso	93
Tabla 3.15: Coordenadas UTM del tramo de estudio “El Trigal”	93
Tabla 3.16: Tipo de vehículos El Trigal.....	94
Tabla 3.17: TPDS Aranjuez Norte AASHTO 93	95
Tabla 3.18: TPDS Tarijeños en Progreso AASHTO 93	95
Tabla 3.19: TPDS El Trigal AASHTO 93.....	96
Tabla 3.20: Tabla resumen de TPDS de los tramos de estudio	96
Tabla 3.21: Niveles de confianza	97
Tabla 3.22: Aplicación de estadísticas en conteo diario acumulado de tráfico Aranjuez Norte”	98
Tabla 3.23: TPDA Aranjuez Norte AASHTO 93	99
Tabla 3.24: Aplicación de estadísticas en conteo diario acumulado “El Trigal”	100
Tabla 3.25: TPDA El Trigal AASHTO 93	101

Tabla 3.26: Aplicación de estadísticas en conteo diario vehicular acumulado “Tarijeños en Progreso”	102
Tabla 3.27: TPDA Tarijeños en Progreso AASHTO 93	103
Tabla 3.28: Tasa de crecimiento anual 2013 – 2016 de vehículos en Bolivia.....	104
Tabla 3.29: Relación cargas de ejes equivalentes	104
Tabla 3.30: Factor camión Aranjuez Norte, Tarijeños en Progreso y El Trigal AASHTO 93.....	106
Tabla 3.31: Numero de esal’s según dirección de carril.....	107
Tabla 3.32: Factor de crecimiento según tipo de carretera	107
Tabla 3.33: Factor de crecimiento (FC) y periodo de análisis en tramos de estudio...	108
Tabla 3.34: TPDA por vehículo Aranjuez Norte y factor camión “Aranjuez Norte”	108
Tabla 3.35: Esal’s de diseño Aranjuez Norte AASHTO 93	109
Tabla 3.36: TPDA por vehículo Aranjuez Norte y factor camión “El Trigal”	109
Tabla 3.37: ESAL’s de diseño El Trigal AASHTO 93.....	110
Tabla 3.38: TPDA por vehículo Aranjuez Norte y factor camión.....	110
Tabla 3.39: ESAL’s de diseño Tarijeños en Progreso AASHTO 93.....	111
Tabla 3.40: ESAL’s de diseño en los tramos de estudio	111
Tabla 3.41: % Vehículos y TPDS según PCA Barrio Aranjuez Norte.....	112
Tabla 3.42: TPDA % de vehículos comerciales	113
Tabla 3.43: % Vehículos y TPDS según PCA Barrio Tarijeños en Progreso	114
Tabla 4.1: Clasificación del tráfico promedio “El Trigal”.....	119
Tabla 4.2: Requisitos mínimo para pasadores de acero en junta de pavimento.....	128
Tabla 4.3: Planilla de fierro por losa de hormigón “El Trigal”	130
Tabla 4.4: Clasificación del tráfico promedio “Tarijeños en Progreso”	131
Tabla 4.5. Planilla de fierro por losa de hormigón “Tarijeños en Progreso”	140
Tabla 4.6: Clasificación del tráfico promedio “Aranjuez Norte”	141
Tabla 4.7: Planilla de fierro por losa de hormigón “Aranjuez Norte”	150
Tabla 4.8: Valor de K de subbase “El Trigal”	151
Tabla 4.9: Esfuerzo equivalente, sin berma de hormigón (ejes simples y eje tándem) “El Trigal”	152

Tabla 4.10: Factor de erosión, para pavimentos sin pasadores y sin apoyo lateral (eje simple y eje tándem) “El Trigal”	153
Tabla 4.11: Análisis por fatiga y erosión “El Trigal”	155
Tabla 4.12: Valor de K de subbase “Tarijeños en Progreso”	159
Tabla 4.13: Esfuerzo equivalente, sin berma de hormigón (eje simple y eje tándem)“Tarijeños en Progreso”	162
Tabla 4.14: Factor de erosión, para pavimentos sin pasajuntas y sin apoyo Lateral (eje simple, y eje tándem) “Tarijeños en Progreso”	161
Tabla 4.15: Análisis por fatiga y erosión “Tarijeños en Progreso”	163
Tabla 4.16: Valor de K de subbase “Aranjuez Norte”	167
Tabla 4.17: Esfuerzos equivalentes - sin berma de hormigón PCA (eje simple y eje tándem).....	168
Tabla 4.18: Factor de erosión, para pavimentos sin pasadores y sin apoyo lateral (Eje simple y eje tándem).....	169
Tabla 4.19: Análisis por fatiga y erosión “Aranjuez Norte”	171
Tabla 4.20: Materiales tratados en comportamiento en fatiga en capa de subbase “El Trigal”	179
Tabla 4.21: Materiales tratados en comportamiento en fatiga en capa de fundación “El Trigal”	181
Tabla 4.22: Materiales tratados en comportamiento en fatiga en capa subbase “Tarijeños en Porgreso”	188
Tabla 4.23: Materiales tratados en comportamiento en fatiga en capa de fundación “Tarijeños en Progreso”	190
Tabla 4.24: Comparación de espesores “Tarijeños en Progreso”	201
Tabla 4.25: Comparación de espesores “El Trigal”	201
Tabla 4.26: Comparación de espesores “Aranjuez Norte”	201
Tabla 4.27: Comparación de variables AASHTO 93, PCA y Mecanicista.....	205
Tabla 4.28: Precio unitario ítem movimientos de tierra.....	206
Tabla 4.29: Precio unitario ítem perfilado y compactado de subrasante.....	207
Tabla 4.30: Precio unitario ítem conformación de capa subbase granular.....	208
Tabla 4.31: Precio unitario ítem acero de construcción en juntas del pavimento de hormigón	209
Tabla 4.32: Precio unitario ítem pavimento de hormigón de cemento portland.....	210
Tabla 4.33: Costo parcial de pavimento rígido “Tarijeños en Progreso”	211
Tabla 4.34: Costo parcial de pavimento rígido “El Trigal”	211

Tabla 4.35: Costo parcial de pavimento rígido “Aranjuez Norte”	211
Tabla 4.36: Cuadro comparativo de precios unitarios del espesor de losa según metodologías propuestas en el proyecto en cada tramo de estudio	212

Índice de Figuras

	Página
Figura 2.1: Estructuras de un Pavimento Rígido.....	8
Figura 2.2: Carta de Plasticidad	12
Figura 2.3: Relación entre el CBR y el módulo de reacción de la subrasante	17
Figura 2.4: Ejes simples de 2 Neumáticos de 7000 kg.....	22
Figura 2.5: Ejes simples de 4 Neumáticos de 11000 kg.....	22
Figura 2.6: Ejes tándem de 8 Neumáticos de 18000 kg	22
Figura 2.7: Eje tridem de 6 Neumáticos de 25000 kg	23
Figura 2.8: Ábaco de Diseño para Pavimentos Rígidos	30
Figura 2.9: Ábaco de Diseño para Pavimentos Rígidos.....	31
Figura 2.10: Pasajuntas y pasadores en pavimentos rígidos.....	34
Figura 2.11: Relaciones entre ensayos de capacidad soporte clasificación del suelo...36	36
Figura 2.12: Porcentaje de vehículos comerciales en el carril derecho de una carretera decarriles múltiples (con separador central)	38
Figura 2.13: Análisis de fatiga-repetición de carga admisible con base en el factor de relación de esfuerzos (con y sin bermas de hormigón)	41
Figura 2.14: Repetición de carga admisible con base en el factor de erosión (sin bermas de hormigón)	44
Figura 2.15: Repetición de carga admisible con base en el factor de erosión (con bermas de hormigón)	47
Figura 2.16: Conformación de capas de pavimento rígido según método mecanicista o racional.....	55
Figura 2.17: Ejemplo de catálogos de estructuras.....	56
Figura 3.1: Provincia Cercado.....	57
Figura 3.2: Mapa de Bolivia.....	57
Figura 3.3: Tramos seleccionados del proyecto.....	58
Figura 3.4: Calicata Barrio el Trigal Av. La Paz	59
Figura 3.5: Calicata Barrio Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco.....	60
Figura 3.6: Calicata Barrio Aranjuez Norte Av. San Antonio	60
Figura 3.7: Ensayo contenido de humedad, peso suelo húmedo más tara (1.1), muestra de suelo Barrio Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco.....	61
Figura 3.8: Ensayo contenido de humedad, peso suelo húmedo más tara (2.1), muestra de suelo Barrio El Trigal Av. La Paz.....	62

Figura 3.9: Ensayo contenido de humedad, peso suelo húmedo más tara (2.1), muestra de suelo Barrio Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco	62
Figura 3.10: Lavado del material fino por el tamiz N°200.....	64
Figura 3.11: Tamizado del material fino por tamiz N°10,40 Y 200.....	64
Figura 3.12: Equipo de Casagrande para determinar el límite líquido de un suelo.....	67
Figura 3.13: Hendidura y Número de golpes con el equipo de Casagrande	67
Figura 3.14: Equipo para determinar el límite plástico suelo, reloj y base de vidrio	68
Figura 3.15: Dato de peso de suelo seco más tara en balanza, después de estar en el horno 24 horas, ensayo límite líquido	68
Figura 3.16: Molde cilíndrico T-99 ensayo compactación de suelos.....	70
Figura 3.17: Materiales misceláneos para el ensayo de compactación de suelos	70
Figura 3.18: Probeta para el cálculo del volumen de agua en el ensayo de compactación de suelos.....	71
Figura 3.19: Compactación de suelos T-99, Número de golpes 25 para suelos finos ..	71
Figura 3.20: Peso suelo húmedo más molde cilíndrico base T-99.....	72
Figura 3.21: Peso e identificación del Molde cilíndrico CBR de 25 golpes	74
Figura 3.22: Mezclado del volumen del agua y el suelo para ensayo de CBR	74
Figura 3.23: Peso del suelo en balanza 5 kg para ensayo de CBR.....	75
Figura 3.24: Compactación del molde CBR a 12, 25 y 56 golpes	75
Figura 3.25: Peso del Molde cilíndrico CBR más suelo húmedo	76
Figura 3.26: Lectura con el extensómetro sobre moldes cilíndricos ensayo CBR.....	76
Figura 3.27: Moldes cilíndricos ensayo CBR en piscina para su saturación.....	77
Figura 3.28: Juego de tamices para granulometría de agregado grueso y fino	79
Figura 3.29: Determinación del peso específico del agregado fino, secado superficialmente.....	79
Figura 3.30: Preparación de muestra para determinar peso específico del agregado fino, matraz más agregado húmedo más agua	80
Figura 3.31: Ensayo peso específico del agregado grueso, secado superficialmente y peso sumergido	80
Figura 3.32: Ensayo peso unitario y compactado del agregado grueso y fino	81
Figura 3.33: Preparación de material para dosificación de hormigones, cemento, arena, grava y agua.....	86
Figura 3.34: Dosificación de probetas y vigas	87

Figura 3.35: Eliminación de aire atrapado en probetas	88
Figura 3.36: Verificación del asentamiento mediante el cono de Abraham.....	88
Figura 3.37: Probeta cilíndrica y viga rectangular con dimensiones según ASTM 192 AASHTO T 126)	90
Figura 3.38: Ensayo de compresión en probetas cilíndricas (D = 15 cm; L = 30 cm) y flexión en vigas (15 cm x 15 cm x 50 cm)	90
Figura 3.39: Tramo 1 Aranjuez Norte.....	91
Figura 3.40: Tramo 2 Tarijeños en progreso.....	92
Figura 3.41: Tramo 3 El Trigal.....	93
Figura 3.42: % de camiones “Aranjuez Norte”	112
Figura 3.43: % de camiones “El Trigal”	114
Figura 3.44: % camiones “Tarijeños en Progreso”	115
Figura 4.1: Relación entre el CBR y el módulo de la subrasante “El Trigal”.....	120
Figura 4.2: Espesor de pavimento rígido “El Trigal”	125
Figura 4.3: Software AASHTO 93.....	125
Figura 4.4: Nomogramas pavimento rígido primera parte “El Trigal”	126
Figura 4.5: Nomogramas pavimento rígido segunda parte “El Trigal”	127
Figura 4.6: Relación CBR y el módulo de la subrasante “Tarijeños en Progreso”	131
Figura 4.7: Pavimento rígido AASHTO 93 “Tarijeño en Progreso”	135
Figura 4.8: Software AAHTO 93 “Tarijeños en Progreso”	136
Figura 4.9: Nomogramas de pavimento rígido primera parte “Tarijeños en Progreso”	136
Figura 4.10: Nomogramas de pavimento rígido segunda parte “Tarijeños en Progreso”	137
Figura 4.11: Relación entre el CBR y el módulo de la subrasante “Aranjuez Norte”	141
Figura 4.12: Pavimento rígido AASHTO 93 “Aranjuez Norte”	145
Figura 4.13: Software AASHTO 93 “Aranjuez norte”	146
Figura 4.14: Nomogramas de pavimento rígido primera parte “Aranjuez Norte”....	146
Figura 4.15: Nomogramas de pavimento rígido segunda parte “Aranjuez Norte” ...	147
Figura 4.16: Determinación de cargas permisibles ábaco PCA fatiga “El Trigal”.....	156
Figura 4.17: Determinación de cargas permisibles por ábaco PCA por erosión “El Trigal”	157
Figura 4.18: Pavimento rígido PCA “El Trigal”	158

Figura 4.19: Determinación de cargas permisibles por ábaco PCA por fatiga “Tarijeños en Progreso”	164
Figura 4.20: Determinación de cargas permisibles por ábaco PCA por erosión “Tarijeños en Progreso”	165
Figura 4.21: Pavimento rígido método PCA “Tarijeños en Progreso”	166
Figura 4.22: Determinación de carga permisible por ábaco PCA por fatiga “Aranjuez Norte”	172
Figura 4.23: Determinación de carga permisible por ábaco PCA por erosión “Aranjuez Norte”	173
Figura 4.24: Pavimento rígido método PCA “Aranjuez Norte”	174
Figura 4.25: Pavimento rígido método mecanicista “El Trigal”	178
Figura 4.26: Ejes de 18 toneladas en cálculo de esfuerzos en la losa	183
Figura 4.27: Pavimento rígido método mecanicista “Tarijeños en Progreso”	188
Figura 4.28: Ejes de 18 toneladas en cálculo de esfuerzos en la losa	193
Figura 4.29: Pavimento rígido método mecanicista “Aranjuez Norte”	198
Figura 4.30: Ejes de 18 toneladas en cálculo de esfuerzos en la losa	199