

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



**“ANÁLISIS DEL EFECTO DEL COMPORTAMIENTO Y  
DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON  
DISTINTOS MATERIALES DE CAPAS BASE Y SUB BASE”**

**Por:**

**JOSE LUIS FARFÁN RODRIGUEZ**

Tesis presentada a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura de 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**

**“ANÁLISIS DEL EFECTO DEL COMPORTAMIENTO Y  
DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON  
DISTINTOS MATERIALES DE CAPAS BASE Y SUB BASE”**

**Por:**

**JOSE LUIS FARFÁN RODRIGUEZ**

SEMESTRE I – 2020

**TARIJA - BOLIVIA**

.....  
M. Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez  
**DECANO**  
**FAC CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....  
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa  
**VICEDECANA**  
**FAC CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**TRIBUNAL:**

.....  
**M. Sc. Ing.: Luis Alberto Yurquina**

.....  
**M. Sc. Ing.: Mabel Zambrana Velasco**

.....  
**Ing.: Ada López Rueda**

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

### **DEDICATORIA:**

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por brindarme el regalo de la vida y permitirme alcanzar mis metas, siendo mi fortaleza en los momentos adversos.

A mis padres; Lidio Farfán Castillo y Rosa Rodríguez Vilca por su sacrificio, amor, apoyo y ser ejemplo de perseverancia en mi vida.

A mis hermanos: Víctor Hugo Farfán y Patricia Farfán quienes me enseñan grandes valores, por su ejemplo y apoyo incondicional en todo momento.

A mi tío: José Rodríguez Vilca por su ejemplo de persona y su apoyo incondicional en todo momento.

### **AGRADECIMIENTO:**

Agradezco a Dios por guiarme, cuidarme y protegerme siempre, por brindarme sabiduría y entendimiento para poder alcanzar este logro, a mis padres por su apoyo moral e incondicional, por la educación recibida desde mi infancia, a mis hermanos que son una parte importante en mi vida, donde siempre me estuvieron apoyando en cada etapa que me tocó vivir, gracias por su ayuda.

A los encargados del laboratorio de suelos y amigos por brindarme su ayuda, por su apoyo incondicional en todo momento cuando lo necesite.

**PENSAMIENTO:**

*“Reconoceré la recompensa porque constituye mi pago; pero daré acogida a los obstáculos porque constituyen para mí un desafío”*

***Og Mandino***

## INDICE

ADVERTENCIA  
DEDICATORIA  
AGRADECIMIENTO  
PENSAMIENTO  
RESUMEN

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

	Pág.
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3 DISEÑO TEÓRICO.....	3
1.3.1 Planteamiento del problema.....	3
1.3.1.1 Situación problemática.....	3
1.3.1.2 Problema .....	4
1.4 OBJETIVOS .....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
1.5 ALCANCE.....	5
1.6 HIPÓTESIS.....	6
1.7 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	6
1.7.1 Variable independiente .....	6
1.7.2 Variable dependiente .....	6
1.7.3 Conceptualización y operacionalización de variables .....	6



1.8	DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
1.8.1	Identificación del tipo del diseño de investigación.....	7
1.8.2	Unidades de estudio y decisión muestral por variable.....	7
1.8.2.1	Unidad de estudio o muestreo.....	7
1.8.2.2	Población.....	7
1.8.2.3	Muestra .....	8
1.8.2.4	Muestreo .....	8
1.9	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS .....	8
1.9.1	Listado de actividades a realizar.....	8
1.9.2	Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva .....	9
1.9.3	Método y técnicas empleadas .....	10
1.9.3.1	Métodos.....	10
1.9.3.2	Técnicas .....	10
1.9.3.3	Descripción de los instrumentos para la obtención de datos .....	10
1.9.3.4	Procedimientos de aplicación .....	11

## **CAPÍTULO II**

### **CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA**

	Pág.	
2.1	GENERALIDADES SOBRE PAVIMENTOS.....	13
2.1.1	Funciones de un pavimento .....	13
2.1.2	Componentes de un pavimento.....	13
2.2	TIPOS DE PAVIMENTO.....	14
2.3	PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	15

2.3.1	Definición del pavimento flexible .....	15
2.3.2	Propiedades y funciones de los pavimentos flexibles.....	16
2.3.2.1	Propiedades.....	16
2.3.2.1.1	Estabilidad.....	16
2.3.2.1.2	Durabilidad .....	16
2.3.2.1.3	Flexibilidad .....	17
2.3.2.1.4	Resistencia a la fatiga.....	17
2.3.2.1.5	Resistencia al deslizamiento .....	17
2.3.2.1.6	Impermeabilidad .....	17
2.3.2.1.7	Trabajabilidad .....	17
2.4	<b>FUNCIONES DE LAS DISTINTAS CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.....</b>	<b>18</b>
2.4.1	Subrasante.....	18
2.4.2	Capas de relleno o material selecto.....	18
2.4.3	Capa de subbase.....	18
2.4.4	Capa de base .....	20
2.4.5	Carpeta asfáltica.....	22
2.4.6	Criterios de diseño normalizado .....	23
2.4.7	Requisitos del agregado pétreo .....	24
2.4.7.1	Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.....	24
2.4.7.2	Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa .....	24
2.4.7.3	Requisitos del ligante asfáltico .....	25
2.4.8	Método de diseño Marshall.....	26
2.4.8.1	Especificaciones de la metodología .....	26

2.5	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PARA PAVIMENTO .....	27
2.5.1	Granulometría .....	28
2.5.2	Peso unitario seco máximo .....	28
2.5.3	Plasticidad y susceptibilidad al agua.....	29
2.5.4	CBR (California Bearing Ratio) .....	29
2.6	METODOLOGÍA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO.....	30
2.6.1	Método AASHTO 93 .....	30
2.6.2	Diseño del dimensionamiento estructural de un pavimento flexible .....	30
2.6.3	Variables que intervienen en el diseño (ESTRUCPAV) .....	38
2.7	ESFUERZOS PRODUCIDOS EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFALTICO.....	38
2.7.1	Tipos de fallas en pavimentos flexibles .....	40

### **CAPÍTULO III**

#### **RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN**

	Pág.	
3.1	SELECCIÓN DE MATERIALES EN ESTUDIO PARA CAPA SUBBASE Y BASE .....	43
3.1.1	Criterios de selección de Muestreo .....	43
3.2	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	43
3.2.1	Banco de Carachimayo .....	43
3.2.2	Banco de San Jacinto Norte .....	44
3.2.3	Banco de Puente Jarkas – Piedra Larga .....	44
3.3	MATERIALES PARA SUBRASANTE, SUBBASE Y BASE .....	44
3.4	MATERIALES EN ESTUDIO PARA CAPA DE RODADURA .....	45

3.4.1	Criterios de selección de Muestras .....	45
3.4.2	Agregados .....	45
3.4.3	El cemento asfáltico.....	46
3.5	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE SUBRASANTE, SUBBASE Y BASE .....	46
3.5.1	Análisis granulométrico .....	46
3.5.2	Límites de Atterberg .....	47
3.5.3	Contenido de humedad y clasificación .....	47
3.5.4	Compactación .....	48
3.5.5	California Bearing Ratio (CBR) .....	48
3.5.6	Resumen de resultados de caracterización de materiales .....	50
3.6	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA CAPA DE RODADURA.....	51
3.6.1	Materiales nuevos .....	51
3.6.1.1	Granulometría ASTM D422 – AASHTO T88.....	51
3.6.1.2	Peso específico del agregado grueso ASTM C-127 .....	55
3.6.1.3	Peso específico del agregado fino (arena) (ASTM C-128).....	57
3.6.1.4	Ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles (ASTM C 131) ...	58
3.6.1.5	Equivalente de arena ASTM D 2419 .....	59
3.6.2	Caracterización del cemento asfáltico nuevo.....	61
3.6.2.1	Ensayo de penetración (AASHTO T49-97); (ASTM D-5).....	61
3.6.2.2	Ensayo punto de inflamación (AASHTO T-48) (ASTM D-92) .....	62
3.6.2.3	Ensayo punto de ablandamiento (AASHTO T-53) (ASTM D-36).....	63
3.6.2.4	Ensayo peso específico del asfalto (AASHTO T-43) (ASTM D-70) .....	64
3.6.2.5	Ductilidad (AASHTO T51-00) (ASTM D-113).....	65

3.7	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR EL MÉTODO MARSHALL	67
3.7.1	3.6.1 Método de diseño Marshall convencional AASHTO T 245	67
3.7.2	Preparación de los especímenes Marshall	69
3.7.3	Cálculo de las propiedades volumétricas	71
3.8	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL EN CALIENTE	73
3.8.1	Granulometría combinada	74
3.8.2	Proceso de cálculo de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica	76
3.8.3	Mezcla asfáltica convencional	83
3.8.3.1	Gráficas de las resistencias técnicas del método Marshall	84
3.8.3.2	Resultados del diseño convencional de la mezcla con agregados nuevos	87
3.9	ELABORACION DEL DIMENSIONAMIENTO DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE	89
3.9.1	Datos de entrada para el diseño del tramo Carachimayo con el programa ESTRUCPAV	89
3.9.2	Datos de entrada para el diseño del tramo San Jacinto Norte con el programa ESTRUCPAV	89
3.9.3	Datos de entrada para el diseño del tramo Puente Jarkas – Piedra Larga con el programa ESTRUCPAV	90
3.9.4	Diseño del tramo Carachimayo	91
3.9.5	Diseño del tramo San Jacinto Norte	92
3.9.6	Diseño del tramo Puente Jarkas – Piedra Larga	93
3.10	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	94
3.10.1	Descripción del ensayo	94
3.10.1.1	Cálculo de la carga de ensayo a utilizar en la prensa hidráulica	95

3.10.1.2	Ensayo de compresión de las muestras del paquete estructural en la prensa hidráulica.....	100
3.10.2	Resultado de las muestras sometidas a compresión para el banco de Carachimayo .....	102
3.10.3	Resultado de las muestras sometidas a compresión para el banco de San Jacinto Norte .....	102
3.10.4	Resultado de las muestras sometidas a compresión para el banco de Puente Jarkas - Piedra Larga.....	102

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

	Pág.	
4.1	ANÁLISIS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LOS DIFERENTES BANCOS DE MATERIALES.....	103
4.1.1	Análisis de resultados de los materiales de la subbase .....	103
4.1.2	Análisis de los materiales de la base.....	104
4.1.3	Análisis de los materiales para la carpeta de rodadura .....	105
4.1.4	Diseño de la carpeta de rodadura .....	106
4.1.5	Análisis de los factores de confiabilidad en el dimensionamiento por el programa ESTRUPAV.....	107
4.1.6	Análisis del comportamiento estructural del pavimento flexible al aplicar una carga estática .....	108
4.1.7	Análisis comparativo del comportamiento de la capa sub base de los tres bancos de materiales según su dimensionamiento.....	111
4.1.8	Análisis del comportamiento del pavimento sometido a compresión .....	113

4.1.9	Análisis de precios unitarios referenciales de la estructura de un pavimento flexible .....	115
-------	---	-----

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	Pág.	
5.1	CONCLUSIONES .....	116
5.2	RECOMENDACIONES.....	117

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO 1. Caracterización física y mecánicas de agregados para capa subbase y base
- ANEXO 2. Caracterización física y mecánicas del agregado grueso y fino y Marshall
- ANEXO 3. Caracterización del cemento asfáltico para Marshall
- ANEXO 4. Análisis de precios unitarios referenciales

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.7:1 Conceptualización y operacionalización de variable independiente .....	6
Tabla 1.7:2 Conceptualización y operacionalización de la variable dependiente.....	7
Tabla 1.9:1 Ensayos de caracterización de materiales estudiados .....	11
Tabla 2.4:1 Especificaciones de granulometría de capa subbase.....	20
Tabla 2.4:2 Especificaciones de materiales de capa subbase.....	20
Tabla 2.4:3 Especificaciones de granulometría de capa base .....	22
Tabla 2.4:4 Especificaciones de materiales de capa base .....	22
Tabla 2.4:5 Características de los agregados .....	24
Tabla 2.4:6 Granulometría de los agregados para la carpeta de rodadura .....	25
Tabla 2.4:7 Requisitos de calidad para cemento asfáltico .....	25
Tabla 2.4:8 Criterios de diseño Marshall .....	27
Tabla 2.4:9 Valor de vacíos de agregado mineral.....	27
Tabla 2.6:1 Valores de “R” de confiabilidad .....	31
Tabla 2.6:2 Valores de desviación estándar .....	32
Tabla 2.6:3 Espesores mínimos de las capas del pavimento.....	33
Tabla 3.5:1 Resultados de granulometría.....	47
Tabla 3.5:2 Resultados de Límites de Atterberg .....	47
Tabla 3.5:3 Resultados de contenido de humedad y clasificación.....	48
Tabla 3.5:4 Resultados de contenido de humedad y clasificación.....	48
Tabla 3.5:5 Resultados de contenido de humedad y clasificación.....	49
Tabla 3.5:6 Resumen de resultados de caracterización de materiales .....	50
Tabla 3.6:1 Granulometría de grava del material de aportación.....	52
Tabla 3.6:2 Granulometría de la gravilla del material de aportación.....	53
Tabla 3.6:3 Granulometría de arena del material de aportación.....	54
Tabla 3.6:4 Peso específico de la grava de aportación.....	56
Tabla 3.6:5 Peso específico de la gravilla de aportación .....	56
Tabla 3.6:6 Peso específico de la arena .....	58
Tabla 3.6:7 Desgaste de los ángeles.....	59
Tabla 3.6:8 Resultados del equivalente de arena .....	60
Tabla 3.6:9 Resultados del ensayo de penetración.....	62



Tabla 3.6:10 Resultado del ensayo punto de inflamación.....	63
Tabla 3.6:11 Resultados de punto de ablandamiento.....	64
Tabla 3.6:12 Resultados de peso específico.....	65
Tabla 3.6:13 Resultados del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico 85-100.....	66
Tabla 3.8:1 Combinación de la granulometría del material de aportación .....	74
Tabla 3.8:2 Altura de las briquetas .....	77
Tabla 3.8:3 Peso de la briqueta al aire .....	77
Tabla 3.8:4 Peso de briqueta en el aire saturada superficialmente seca.....	78
Tabla 3.8:5 Datos de peso de briqueta sumergida en agua .....	78
Tabla 3.8:6 Datos de estabilidad y fluencia .....	80
Tabla 3.8:7 Estabilidad corregida .....	81
Tabla 3.8:8 Datos de factor de corrección para briquetas.....	81
Tabla 3.8:9 Datos de fluencia.....	82
Tabla 3.8:10 Planilla Marshall de mezcla asfáltica convencional .....	83
Tabla 3.8:11 Resultados de diseño convencional de la mezcla .....	87
Tabla 3.8:12 Porcentaje optimo del cemento asfáltico .....	88
Tabla 3.8:13 Resultados óptimos según el porcentaje óptimo de la mezcla convencional.....	88
Tabla 3.9:1 Resumen de datos que intervienen en el diseño (ESTRUCPAV), Carachimayo, San Jacinto Norte, Puente Jarkas – Piedra larga .....	90
Tabla 3.9:2 Espesor de capas de pavimento de Carachimayo .....	91
Tabla 3.9:3 Espesor de capas de pavimento de San Jacinto Norte .....	92
Tabla 3.9:4 Espesor de capas de pavimento de Puente Jarkas – Piedra Larga .....	93
Tabla 3.10:1 Pesos brutos máximos permitidos por ejes y grupos de ejes .....	97
Tabla 3.10:2 Resumen de datos para cálculo de carga de ensayo.....	99
Tabla 3.10:3 Resultado de compresión para el banco de Carachimayo.....	102
Tabla 3.10:4 Resultado de compresión para el banco de San Jacinto Norte.....	102
Tabla 3.10:5 Resultado de compresión para el banco de Puente Jarkas - Piedra Larga.....	102

## INDICE DE IMÁGENES

Imagen 2.1:1 Sección típica de un pavimento .....	14
Imagen 2.2:1 Tipos de pavimentos .....	15
Imagen 2.3:1 Estructura típica de un pavimento asfáltico flexible .....	15
Imagen 2.6:1 Esquema estructural de un sistema multicapa elástico .....	35
Imagen 2.7:1 Distribución de esfuerzos en un pavimento flexible .....	39
Imagen 2.7:2 Deformaciones en un pavimento flexible .....	40
Imagen 2.7:3 Falta estructural en un pavimento flexible .....	42
Imagen 3.3:1 Acopio de los bancos de materiales para la capa sub base y base .....	44
Imagen 3.3:2 Facilidad de acceso a cada banco.....	45
Imagen 3.4:1 Banco de acopio de grava, gravilla y arena de la Pintada.....	46
Imagen 3.6:1 Pesado del agregado más los pesos de cada tamiz.....	51
Imagen 3.6:2 Tamizado del agregado para luego pesar lo retenido en cada tamiz.....	51
Imagen 3.6:3 Pesado de muestra en balanza para el peso sumergido del agregado .....	55
Imagen 3.6:4 Pesado del peso sumergido del agregado.....	56
Imagen 3.6:5 Humedad óptima de la arena y peso del matraz para el ensayo .....	57
Imagen 3.6:6 Peso de la arena con humedad óptima, peso del matraz + agua + arena .....	57
Imagen 3.6:8 Agregado grueso triturado por la máquina de los ángeles .....	59
Imagen 3.6:10 Arena total mente asentada para medir su altura .....	60
Imagen 3.6:9 Medición de la penetración.....	61
Imagen 3.6:14 Cocinilla especial para calentar el C.A. y medir temperatura de inflamación.....	63
Imagen 3.6:17 Enfriamiento del cemento asfáltico para luego calentar. ....	64
Imagen 3.6:19 Peso de muestra en balanza de precisión .....	65
Imagen 3.6:20 Moldes llenados con asfalto para la ductilidad .....	66
Imagen 3.6:22 Medición de la ductilidad del cemento asfáltico.....	66
Imagen 3.8:5 Briquetas elaboradas para realizar el baño maría a 60 °C para luego colocar en el anillo Marshall .....	75
Imagen 3.8:6 Colocado de briqueta en el Marshall para lectura de la estabilidad y fluencia. ....	76

Imagen 3.9:1 Cálculo de espesores Carachimayo.....	91
Imagen 3.9:2 Cálculo de espesores San Jacinto Norte.....	92
Imagen 3.9:3 Cálculo de Espesores Puente Jarkas – Piedra Larga .....	93
Imagen 3.10:1 Molde externo para compactación de capa subbase y base .....	94
Imagen 3.10:2 Muestra compactada del paquete estructural del pavimento flexible .....	95
Imagen 3.10:3 Área de contacto de la rueda sobre el pavimento.....	95
Imagen 3.10:4 Rueda de camión Nissan Cóndor .....	97
Imagen 3.10:5 Rueda pequeña de ensayo .....	99
Imagen 3.10:6 Rueda utilizada para los ensayos de compresión .....	100
Imagen 3.10:7 Ensayo de compresión de la muestra del paquete estructural.....	101
Imagen 3.10:8 Muestra después de aplicar la carga de compresión .....	101
Imagen 4.1:1 Probeta con ahullamiento y quiebre.....	114
Imagen 4.1:2 Probetas con quiebres en la capa base .....	114

## **INDICE DE GRAFICOS**

Gráfico 1.9:1 Esquema de actividades para la presente investigación.....	9
Gráfico 3.6:1 Curva granulométrica del agregado (grava) .....	53
Gráfico 3.6:2 Curva granulométría de agregado (gravilla).....	54
Gráfico 3.6:3 Curva granulométrica del agregado (arena).....	55
Gráfico 3.8:1 Curva granulométrica del diseño convencional.....	75
Gráfico 3.8:2 Densidad vs cemento asfáltico.....	84
Gráfico 3.8:3 Estabilidad vs cemento asfáltico.....	84
Gráfico 3.8:4 Fluencia vs cemento asfáltico .....	85
Gráfico 3.8:5 Vacíos vs cemento asfáltico.....	85
Gráfico 3.8:6 R.B.V. vs cemento asfáltico.....	86
Gráfico 3.8:7 V.A.M. vs cemento asfáltico .....	86
Gráfico 4.1:1 Curva granulométrica del diseño convencional.....	105
Gráfico 4.1:2 Espesores de cada capa de Carachimayo .....	109
Gráfico 4.1:3 Espesores de cada capa de San Jacinto - Norte .....	110

Gráfico 4.1:4 Espesores de cada capa de Puente Jarkas - Piedra Larga .....	111
Gráfico 4.1:5 Curvas granulométricas de la capa subbase.....	112
Gráfico 4.1:6 Curvas granulométricas de la capa base .....	113