

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



**“ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS APLICANDO UNA CARGA ESTÁTICA”**

Por:

HIGUERAS FERNANDEZ EYLAN BELARMINO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL

SEMESTRE II-2020

TARIJA – BOLIVIA

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

**“ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS APLICANDO UNA CARGA ESTÁTICA”**

Por:

HIGUERAS FERNANDEZ EYLAN BELARMINO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV-502

SEMESTRE II - 2020

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios por su amor infinito, a mi madre Casilda Fernandez que con tanto sacrificio pudo hacer de mi la persona que hoy en día soy, a mi padre Belarmino Higuera que me brindó toda su sabiduría y experiencia, a mis queridos hermanos Dennis, Eliana y Alejandro por su constante apoyo cuando más lo necesitaba y sobre todo a mi querido hijo Rafael que es razón de mi vivir y el motor para seguir adelante.

CAPÍTULO 1

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

	Página
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	1
1.3. ANTECEDENTES.....	2
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.4.1. Situación problemática.....	3
1.4.2. Problema	3
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.5.1. Objetivo general	3
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.5.3. Hipótesis.....	4
1.5.4. Variables	4
1.6. DISEÑO METODOLÓGICO	6
1.6.1. Componentes.....	6
1.6.2. Método y técnicas empleadas	9
1.6.3. Procedimiento de aplicación	10
1.7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	12

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

	Página
2.1. PAVIMENTO	13
2.1.1. Pavimento flexible	13

2.1.2.	Agregados pétreos.....	17
2.1.3.	Cementos asfálticos.....	22
2.2.	DEFORMACIÓN EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	23
2.2.1.	Causas de la deformación.....	25
2.2.2.	Consecuencias de la deformación en mezclas asfálticas.....	25
2.2.3.	Influencia de la granulometría en la resistencia a la deformación en mezclas asfálticas.....	26
2.2.4.	Mezclas asfálticas en caliente y su relación con la deformación	28
2.2.5.	Efectos del cemento asfáltico.....	29
2.2.6.	Efectos del agregado	29
2.3.	PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE LA MUESTRA.....	30
2.4.	ROL DEL ASFALTO ANTE CONDICIONES DE TEMPERATURA	31
2.5.	CARGAS DE TRANSITO Y SU INFLUENCIA EN LA DEFORMACIÓN.....	33

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

	Página	
3.1.	OBTENCIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS Y EL CEMENTOASFÁLTICO	34
3.2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS	35
3.2.1.	Análisis granulométrico – granulometría (agregado, grueso y fino)	37
3.2.2.	Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso y fino	49
3.2.3.	Peso unitario.....	59
3.2.4.	Desgaste de los ángeles o abrasión	67
3.2.5.	Índice de lajas.....	73
3.2.6.	Ensayo de equivalente de arena	77

3.3.	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO	79
3.3.1.	Cemento asfáltico.....	79
3.3.2.	Ensayo de penetración.....	80
3.3.3.	Ensayo de ductilidad	81
3.3.4.	Ensayo de punto de inflamación	83
3.3.5.	Ensayo de pérdida de masa	85
3.3.6.	Ensayo de punto de ablandamiento.....	87
3.3.7.	Ensayo de peso específico.....	88
3.3.8.	Ensayo de SAYBOLT para la viscosidad	90
3.4.	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALESEMPLEADOS	92
3.4.1.	Resultados de los materiales pétreos empleados.....	92
3.4.2.	Resultado del material asfáltico empleado Stratura 85-100.....	94

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN POR MEDIO DE UNA CARGA ESTÁTICA

	Página	
4.1.	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE	96
4.1.1.	Combinación de agregados provenientes de la constructora ERIKA	97
4.1.2.	Combinación de agregados provenientes de La Pintada.....	98
4.1.3.	Dosificación de briquetas según el tipo de agregado	100
4.1.4.	Elaboración de briquetas y toma de datos de las mismas	101
4.1.5.	Obtención del porcentaje óptimo de asfalto 85-100	106
4.1.6.	Dosificación de briquetas según el porcentaje óptimo.....	116

4.2.	CRITERIO PARA LA DISTRIBUCION DE PESOS Y VARIACION DELA TEMPERATURA	117
4.3.	DISTRIBUCIÓN DE CARGA SEGÚN LA PRESIÓN DE CONTACTODE LA RUEDA TIPO	118
4.4.	VARIACION DE LA TEMPERATURA SOBRE EL PAVIMENTO	120
4.5.	ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN PARA UNA CIERTATEMPERATURA BAJO UNA DETERMINADA CARGA.....	121
4.6.	ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN BAJO CARGAS ESTÁTICASA UNA CIERTA TEMPERATURA.....	126
4.7.	ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	134

CÁPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página	
5.1.	CONCLUSIONES	140
5.2.	RECOMENDACIONES	141

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

- ANEXOS 1 Especificaciones técnicas de los agregados pétreos
- ANEXOS 1 Caracterización de los agregados pétreos (La Pintada)
- ANEXOS 2 Caracterización de los agregados pétreos (ERIKA)
- ANEXOS 3 Caracterización del cemento asfáltico Stratura 85-100
- ANEXOS 4 Mediciones de muestras asfálticas confinadas antes y después de la carga estática.
- ANEXOS 5 Memoria fotográfica del análisis.

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. 1 Variable independiente 1	5
Tabla 1. 2 Variable independiente 2	5
Tabla 1. 3 Variable dependiente.....	6
Tabla 1. 4 Planilla de muestreo	8
Tabla 3. 1 Coordenadas de la ubicación exacta de la seleccionadora ERIKA.....	35
Tabla 3. 2 Coordenadas de la seleccionadora de La Pintada	35
Tabla 3. 3 Número de ensayos de los agregados pétreos	36
Tabla 3. 4 Granulometría agregado 3/4”	38
Tabla 3. 5 Granulometría agregado 3/8”	40
Tabla 3. 6 Granulometría agregado fino	42
Tabla 3. 7 Granulometría agregado 3/4”	44
Tabla 3. 8 Granulometría agregado 3/8”	46
Tabla 3. 9 Granulometría agregado fino	48
Tabla 3. 10 Peso específico y (%) de absorción grava 3/4”	53
Tabla 3. 11 Peso específico y (%) de absorción gravilla 3/8”	53
Tabla 3. 12 Peso específico y (%) de absorción arena.	55
Tabla 3. 13 Peso específico y (%) de absorción grava 3/4”	57
Tabla 3. 14 Peso específico y (%) de absorción gravilla 3/8”	57
Tabla 3. 15 Peso específico y (%) de absorción arena.	59
Tabla 3. 16 Peso unitario suelto de la grava 3/4”, constructora ERIKA.....	62
Tabla 3. 17 Peso unitario compactado de la grava 3/4”, constructora ERIKA	63
Tabla 3. 18 Peso unitario suelto de la gravilla 3/8”, constructora ERIKA	63

Tabla 3. 19	Peso unitario compactado de la gravilla 3/8", constructora ERIKA.....	63
Tabla 3. 20	Peso unitario suelto del agregado fino, constructora ERIKA	64
Tabla 3. 21	Peso unitario compactado del agregado fino, constructora ERIKA	64
Tabla 3. 22	Peso unitario suelto de la grava 3/4" La Pintada.....	65
Tabla 3. 23	Peso unitario compactado de la grava 3/4" La Pintada.....	66
Tabla 3. 24	Peso unitario suelto de la gravilla 3/8" La Pintada	66
Tabla 3. 25	Peso unitario compactado de la gravilla (3/8)" La Pintada.....	66
Tabla 3. 26	Peso unitario suelto del agregado fino La Pintada	67
Tabla 3. 27	Peso unitario compactado del agregado fino, La Pintada	67
Tabla 3. 28	Tabla de requerimiento según el tamaño de material que se tenga.....	69
Tabla 3. 29	Datos para el desgaste de la grava.....	70
Tabla 3. 30	Resultados de la prueba (grava)	70
Tabla 3. 31	Datos para el desgaste de la gravilla	71
Tabla 3. 32	Resultados de la prueba (gravilla).....	71
Tabla 3. 33	Datos para el desgaste de la grava.....	72
Tabla 3. 34	Resultados de la prueba (grava)	72
Tabla 3. 35	Datos para el desgaste de la gravilla	73
Tabla 3. 36	Resultados de la prueba (gravilla).....	73
Tabla 3. 37	Datos para el cálculo índice de lajas	75
Tabla 3. 38	Porcentajes de lajas en el agregado grueso ERIKA	75
Tabla 3. 39	Datos para el cálculo índice de lajas	76
Tabla 3. 40	Porcentajes de lajas en el agregado grueso La Pintada	76
Tabla 3. 41	Porcentajes del equivalente de arena ERIKA	78
Tabla 3. 42	Porcentajes del equivalente de arena La Pintada	79

Tabla 3. 43 Resultado de la penetración del asfalto 85-100.....	81
Tabla 3. 44 Resultado de la ductilidad del cemento asfáltico 85-100.....	83
Tabla 3. 45 Resultado del ensayo de punto de inflamación del cementoasfáltico 85-100.....	85
Tabla 3. 46 Resultado de la pérdida de masa por película delgada.....	86
Tabla 3. 47 Resultado del ensayo punto de ablandamiento	88
Tabla 3. 48 Tabla de corrección por temperatura.....	90
Tabla 3. 49 Resultados del ensayo de peso específico del cemento asfáltico 85-100.....	90
Tabla 3. 50 Ensayo de viscosidad por Saybolt Furol a 135°C	92
Tabla 3. 51 Resultados de la caracterización de los agregados pétreos ERIKA	93
Tabla 3. 52 Resultados de la caracterización de los agregados pétreos La Pintada.....	94
Tabla 3. 53 Resultados de la caracterización del cemento asfáltico Stratura 85-100	95
Tabla 4. 1 Graduaciones propuestas para mezclas asfálticas	96
Tabla 4. 2 Granulometría formada para el diseño Marshall ERIKA	97
Tabla 4. 3 Porcentajes granulométricos obtenidos para el diseño Marshall ERIKA	97
Tabla 4. 4 Granulometría formada para el diseño Marshall La Pintada	99
Tabla 4. 5 Porcentajes granulométricos obtenidos para el diseño MarshallLa Pintada.....	99
Tabla 4. 6 Dosificación para briquetas ERIKA.....	100
Tabla 4. 7 Dosificación para briquetas La Pintada.....	101
Tabla 4. 8 Número de briquetas usadas para la obtención del % óptimo	101
Tabla 4. 9 Datos de la mezcla asfáltica convencional constructora ERIKA.....	107
Tabla 4. 10 Valores obtenidos a partir de gráficas para un porcentaje deasfalto ERIKA.....	108

Tabla 4. 11 Porcentaje de asfalto obtenido por gráficas y las especificaciones técnicas ERIKA.....	111
Tabla 4. 12 Valores obtenidos a partir del porcentaje de cemento asfáltico óptimo ERIKA	111
Tabla 4. 13 Datos de la mezcla asfáltica convencional La Pintada.....	112
Tabla 4. 14 Valores obtenidos a partir de gráficas para un porcentaje deasfalto La Pintada.....	113
Tabla 4. 15 Porcentaje de asfalto obtenido por gráficas y las especificaciones técnicas La Pintada.....	116
Tabla 4. 16 Valores obtenidos a partir del porcentaje de cemento asfáltico óptimo La Pintada	116
Tabla 4. 17 Dosificación con el porcentaje de cemento asfáltico óptimo ERIKA.....	117
Tabla 4. 18 Dosificación con el porcentaje de cemento asfáltico óptimo La Pintada...	117
Tabla 4. 19 Distribución de cargas en vehículos con permanencia urbana.....	118
Tabla 4. 20 Peso que será aplicado según la rueda tipo	119
Tabla 4. 21 Deformación en una mezcla asfáltica aplicando una carga estática haciendo variar la temperatura La Pintada.....	121
Tabla 4. 22 Deformación en una mezcla asfáltica aplicando una carga estática haciendo variar la temperatura ERIKA.....	124
Tabla 4. 23 Composición de la mezcla ERIKA	134
Tabla 4. 24 Dosificación para 1m ³ ERIKA.....	135
Tabla 4. 25 Análisis de precios unitarios ERIKA	136
Tabla 4. 26 Composición de la mezcla La Pintada	137
Tabla 4. 27 Dosificación para 1m ³ La Pintada	137
Tabla 4. 28 Análisis de precios unitarios La Pintada	138
Tabla 4. 29 Costos de producción	139

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico N°:3. 1 Curva granulométrica agregado 3/4” constructora ERIKA	39
Gráfico N°:3. 2 Curva granulométrica agregado 3/8” constructora ERIKA	41
Gráfico N°:3. 3 Curva granulométrica agregado fino constructora ERIKA.....	43
Gráfico N°:3. 4 Curva granulométrica agregado 3/4” La Pintada	45
Gráfico N°:3. 5 Curva granulométrica agregado 3/8” La Pintada	47
Gráfico N°:3. 6 Curva granulométrica agregado fino La Pintada	49
Gráfico N°: 4. 1 Curva granulométrica formada para el diseño Marshall ERIKA.....	98
Gráfico N°: 4. 2 Curva granulométrica formada para el diseño MarshallLa Pintada	100
Gráfico N°: 4. 3 Estabilidad vs Cemento asfáltico ERIKA	108
Gráfico N°: 4. 4 Fluencia vs Cemento asfáltico ERIKA	109
Gráfico N°: 4. 5 Densidad vs Cemento asfáltico ERIKA.....	109
Gráfico N°: 4. 6 Porcentaje de vacíos de la mezcla vs Cemento asfáltico ERIKA	109
Gráfico N°: 4. 7 Porcentaje de vacíos del agregado mineral vs Cemento asfálticoERIKA	110
Gráfico N°: 4. 8 Relación betún vacíos vs Cemento asfáltico ERIKA.....	110
Gráfico N°: 4. 9 Estabilidad vs Cemento asfáltico La Pintada	113
Gráfico N°: 4. 10 Fluencia vs Cemento asfáltico La Pintada	114
Gráfico N°: 4. 11 Densidad vs Cemento asfáltico La Pintada.....	114
Gráfico N°: 4. 12 Porcentaje de vacíos de la mezcla vs Cemento asfálticoLa Pintada	114
Gráfico N°: 4. 13 Porcentaje de vacíos del agregado mineral vs Cemento asfáltico La Pintada	115

Gráfico N°: 4. 14 Relación betún vacíos vs Cemento asfáltico La Pintada.....	115
Gráfico N°: 4. 15 Deformación vs Temperatura a 0,500 toneladas de presión La Pintada	122
Gráfico N°: 4. 16 Deformación vs Temperatura a 0,700 toneladas de presiónLa Pintada	122
Gráfico N°: 4. 17 Deformación vs Temperatura a 0,850 toneladas de presiónLa Pintada	123
Gráfico N°: 4. 18 Influencia de la temperatura y presión de contacto en ladeformación de mezclas asfálticas La Pintada.....	123
Gráfico N°: 4. 19 Deformación vs Temperatura a 0,500 toneladas de presiónERIKA.....	124
Gráfico N°: 4. 20 Deformación vs Temperatura a 0,700 toneladas de presiónERIKA.....	125
Gráfico N°: 4. 21 Deformación vs Temperatura a 0,850 toneladas de presiónERIKA.....	125
Gráfico N°: 4. 22 Influencia de la temperatura y presión de contacto enla deformación de mezclas asfálticas ERIKA.....	126
Gráfico N°: 4. 23 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de35°C La Pintada	127
Gráfico N°: 4. 24 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de40°C La Pintada	127
Gráfico N°: 4. 25 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de45°C La Pintada	128
Gráfico N°: 4. 26 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de50°C La Pintada	128
Gráfico N°: 4. 27 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de55°C La Pintada	129

Gráfico N°: 4. 28 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de60°C La Pintada	129
Gráfico N°: 4. 29 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de35°C ERIKA	130
Gráfico N°: 4. 30 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de40°C ERIKA	130
Gráfico N°: 4. 31 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de45°C ERIKA	131
Gráfico N°: 4. 32 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de50°C ERIKA	131
Gráfico N°: 4. 33 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de55°C ERIKA	132
Gráfico N°: 4. 34 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de60°C ERIKA	132

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Fig. 1. 1 Flujograma.....	11
Fig. 2. 1 Distribución de cargas en el pavimento flexible	15
Fig. 2. 2 Correcta evacuación del agua sobre la superficie del pavimento	15
Fig. 2. 3 Superficie de rodamiento adecuada.....	16
Fig. 2. 4 Flexibilidad del pavimento	16
Fig. 2. 5 Tipos de rocas según su origen.....	17
Fig. 2. 6 Agregados naturales	19
Fig. 2. 7 Agregado triturado.....	20
Fig. 2. 8 Cemento asfáltico	23
Fig. 2. 9 Modelo reológico del comportamiento de materiales viscoelásticos	24
Fig. 2. 10 Consecuencias de la deformación.....	25
Fig. 2. 11 Desplazamiento de la mezcla asfáltica a ambos lados de la huella	26
Fig. 2. 12 Capas del pavimento flexible	26
Fig. 2. 13 Deformación por fallo en la mezcla asfáltica	27
Fig. 2. 14 Deformación por fallo en la subrasante	28
Fig. 2. 15 Variación de la densidad y contenido de vacíos en la mezcla asfáltica	30
Fig. 2. 16 Cambio en el comportamiento del asfalto en función de la temperatura.	32
Fig. 2. 17 Acumulación de deformaciones permanentes en sucesivos veranos.....	32
Fig. 2. 18 Cargas por eje según el tipo de vehículo	33
Fig. 3. 1 Ubicación satelital de la seleccionadora ERIKA.....	34
Fig. 3. 2 Ubicación satelital de la seleccionadora de La Pintada.....	35
Fig. 3. 3 Tamizado de agregados finos y gruesos	37

Fig. 3. 4 Muestras del agregado saturándose por 24 horas	50
Fig. 3. 5 Pesaje del agregado grueso superficialmente seco	50
Fig. 3. 6 Agregado fino saturándose por 24 horas	51
Fig. 3. 7 Muestra fina superficialmente seca lista para pesar	51
Fig. 3. 8 Muestra suelta en el molde lista para ser pesada	60
Fig. 3. 9 Agregado grueso compactado en el molde listo para ser pesado	60
Fig. 3. 10 Peso del agua a cierta temperatura para calcular el volumen del molde	61
Fig. 3. 11 Peso del agregado fino compactado más el molde	61
Fig. 3. 12 Material granular vertido a la máquina de los ángeles	68
Fig. 3. 13 Tamizado del material granular por el tamiz N°12.....	69
Fig. 3. 14 Tipo de tamiz para determinar el índice de lajas	74
Fig. 3. 15 Tamizado del material granular	74
Fig. 3. 16 Ensayo de equivalente de arena.....	77
Fig. 3. 17 Ensayo de penetración	80
Fig. 3. 18 Muestras en baño María por un determinado tiempo	80
Fig. 3. 19 Ensayo de ductilidad del cemento asfáltico 85-100	82
Fig. 3. 20 Ensayo de punto de inflamación del cemento asfáltico 85-100	84
Fig. 3. 21 Horno centrífugo usado en el ensayo de pérdida de masa.....	86
Fig. 3. 22 Ensayo del punto de ablandamiento	87
Fig. 3. 23 Ensayo del peso específico del cemento asfáltico 85-100.....	89
Fig. 3. 24 Ensayo de viscosidad del cemento asfáltico a 135°C medianteSAYBOLT	91
Fig. 4. 1 Pesaje de la dosificación de la mezcla asfáltica	103
Fig. 4. 2 Preparación de la mezcla asfáltica en caliente.....	103
Fig. 4. 3 Desmoldado de la briqueta	104

Fig. 4. 4 Peso sumergido de las briquetas.....	104
Fig. 4. 5 Briquetas antes de ser pesadas a 25°C por 5 minutos.....	105
Fig. 4. 6 Medición de alturas en cuatro lados de la briqueta	105
Fig. 4. 7 Prensa hidráulica con rueda modelo.....	119
Fig. 4. 8 Muestra calentada y verificada por termómetro superficial	120