

“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**ANÁLISIS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE
PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SOPORTE
LATERAL**

Por:

FLORES LÓPEZ FERNANDO

SEMESTRE I - 2021

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 OPTIMIZACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE
PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SOPORTE
LATERAL**

Por:

FLORES LÓPEZ FERNANDO

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502

SEMESTRE I - 2021

TARIJA – BOLIVIA

.....
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

DECANA a.i.
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

.....
M. Sc. Ing. A. Jose Navia Ojeda

VICEDECANO a.i.
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

.....
Ing. J. Ricardo Arce Avendaño

.....
Ing. Laura K. Soto Salgado

.....
Ing. Julio N. Urzagaste Gutiérrez

ADVERTENCIA:

El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

A MIS PADRES: Gregorio Flores Cabrera y Cristina López Ríos, por haberme inculcado buenos valores, por guiarme en el camino de la vida, demostrándome siempre su amor, cariño y apoyo incondicional en todo momento, convirtiéndose ellos el motor fundamental en mi vida.

AGRADECIMIENTO:

Quiero expresar mi gratitud a Dios, porque gracias a él todo lo que te propones en la vida con amor es posible. Y agradecerle también de corazón a toda mi familia que nunca me dejaron solo en esta etapa, a mi pareja y mis amigos por que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, muchísimas gracias a todos.

PENSAMIENTO:

“Nunca sigas en un trabajo que no disfrutas. Si eres feliz con lo que haces tendrás paz interna. Si tienes eso... tendrás más éxito del que podrías haber imaginado”

Johnny Carson

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 SITUACIÓN PROBLÉMICA	2
1.2.1 Problema	3
1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema	3
1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 HIPÓTESIS	5
1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	5
1.6.1 Variable independiente	5
1.6.2 Variable dependiente	5
1.7 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN	6
1.7.1 Según su enfoque.....	6
1.7.2 Según su alcance.....	6
1.7.3 Línea de investigación	6
1.8 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL	7
1.8.1 Unidad de estudio	7
1.8.2 Población	7
1.8.3 Muestra	7
1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo	7
1.9 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.....	7
1.9.1 Métodos	7
1.9.2 Técnicas	8
1.10 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	9
1.11 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	10

CAPÍTULO II
ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO RÍGIDO

	Página
2.1 GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS	11
2.1.1 Definición de pavimento rígido	11
2.1.2 Estructura de los pavimentos rígidos	12
2.2 JUNTAS EN PAVIMENTO RÍGIDO.....	14
2.2.1 Tipos de juntas	14
2.3 TRANSFERENCIA DE CARGAS	15
2.4 SOPORTE LATERAL	17
2.4.1 Sobreancho.....	18
2.4.2 Hombros.....	18
2.4.3 Tipos de bermas según sus materiales	21
2.5 DEFINICIÓN DE DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO	21
2.5.1 Pérdida de la capacidad estructural.....	22
2.6 ESFUERZOS Y DEFLEXIONES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	23
2.6.1 Esfuerzos debidos a cambios de temperatura	23
2.6.2 Esfuerzos y deformaciones debido a cargas	28
2.6.3 Esfuerzos combinados	33
2.7 MODELACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	33
2.7.1 Los modelos de respuesta	33
2.7.2 Los modelos de comportamiento.....	34
2.7.3 Modelos clásicos de respuesta en pavimentos rígidos.....	35
2.8 INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	36
2.8.1 Descripción general del método de los elementos finitos.....	37
2.8.2 Pasos para el análisis de elementos finitos	37
2.8.3 Modelos de elementos finitos mediante EverFE 2.26	38

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

	Página
3.1 UBICACIÓN DEL TRAMO	40
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO EN ESTUDIO	42
3.2.1 Caracterización de los materiales	45
3.2.2 Proceso de recolección de datos	46
3.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS A UTILIZAR EN LA MODELACIÓN.....	64
3.3.1 Geometría.....	64
3.3.2 Propiedades de los materiales	65
3.3.3 Cargas de tráfico y gradiente térmico	71
3.4 DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS Y DEFLEXIONES	75
3.4.1 Análisis estructural por medio de elementos finitos en EverFE 2.26	76
3.4.2 Descripción del programa.....	76

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

	Página
4.1 RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS	91
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE CONTROL DE DISEÑO ESTRUCTURAL POR FATIGA	106
4.3 OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE LAS LOSAS DE CONCRETO LATERALMENTE SOPORTADO	109
4.3.1 Esfuerzos máximos producidos en el pavimento de hormigón reforzado con un espesor de 21 cm.....	111
4.3.2 Esfuerzos máximos producidos en el pavimento de hormigón reforzado con un espesor de 20 cm.....	112

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 CONCLUSIONES.....	113
5.2 RECOMENDACIONES.....	115

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A – 1 Granulometría

ANEXO A – 2 Límites de Atterberg

ANEXO A – 3 Compactación T – 180, Proctor modificado

ANEXO A – 4 C.B.R. sub rasante y sub base

ANEXO A – 5 Registros climáticos medios anuales

ANEXO A – 6 Comparación de los resultados obtenidos

ANEXO A – 7 Planos de la modelación

ANEXO A – 8 Plano de alineamiento del tramo

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Instrumentos requeridos para la modelación	9
Figura 2. Partes del pavimento rígido	11
Figura 3. Elementos típicos de un pavimento rígido.....	12
Figura 4. Esquema representativo de transferencia de cargas.....	15
Figura 5. Pavimento de concreto con berma.....	17
Figura 6. Pavimento de concreto con bordillo	18
Figura 7. Pérdida de la capacidad estructural después del tiempo y tránsito	22
Figura 8. Deformaciones debido al gradiente de temperatura	24
Figura 9. Gradiente térmico de una losa de concreto.....	25
Figura 10. Esfuerzos en la dirección x.....	26
Figura 11. Factor correctivo para esfuerzos, caso de losa finita	27
Figura 12. Carga en una esquina de la losa.....	29
Figura 13. Discretización básica de elementos finitos	38
Figura 14. Croquis de ubicación del tramo en estudio.....	41
Figura 15. Vista satelital del tramo campo Pajoso – Caraparí.....	42
Figura 16. Sección típica terrenos planos y ondulados	44
Figura 17. Sección típica terrenos montañosos.....	45
Figura 18. Vista en planta y sección transversal del pavimento en la progresiva 6+000	47
Figura 19. Vista en planta y sección transversal del pavimento en la progresiva 7+000	48
Figura 20. Vista en planta y sección transversal del pavimento en las progresivas 16+000 y 17+000.....	49
Figura 21. Vista en planta y sección transversal del pavimento en la progresiva 18+000	50
Figura 22. Extracción de muestras en campo.....	50
Figura 23. Esquema de la práctica de granulometría	52
Figura 24. Materiales y realización de límite líquido y límite plástico.....	57
Figura 25. Esquema del ensayo de compactación.....	58
Figura 26. Esquema del ensayo CBR.....	62

	Página
Figura 27. Estructura de pavimento tramo campo Pajoso – Caraparí.....	65
Figura 28. Detalle de barra pasajunta (Dovela)	70
Figura 29. Vista en planta de las barras de amarre y pasajuntas.....	71
Figura 30. Límites de pesos permitidos por ejes.....	72
Figura 31. Parámetros geométricos de los ejes de rueda eje simple, y tándem	73
Figura 32. Localización de ejes en losas sin soporte lateral	73
Figura 33. Localización de ejes en losas con soporte lateral	74
Figura 34. Seccion transeveral del pavimento en la progresiva 6+000 (Con berma).	78
Figura 35. Parámetros geométricos del pavimento a modelar	78
Figura 36. Panel de entrada de propiedades mecánicas y estructurales de los materiales de la estructura de pavimento rígido.....	79
Figura 37. Panel de entrada de cargas de tráfico, características geométricas de eje de rueda y cargas originada por el gradiente de temperatura actuante en la losa.....	80
Figura 38. Panel de modelado de dovelas y pasadores	81
Figura 39. Ventana de definición del modelo de trabazón de agregados y abertura de las juntas.....	81
Figura 40. Panel de configuración del mallado para el análisis de esfuerzos actuantes en las losas	82
Figura 41. Cuadro de dialogo Ejecutar	83
Figura 42. Cuadro de avance de la solución	84
Figura 43. Ventana de visualización de esfuerzos	84
Figura 44. Máximos esfuerzos principales en la cara inferior de las losas	85
Figura 45. Esfuerzos y desplazamientos por puntos en cada losa.....	85
Figura 46. Seccion transversal en la progresiva 6+000 (Sin berma).....	86
Figura 47. Parámetros geométricos del pavimento a modelar	86
Figura 48. Panel de entrada de propiedades mecánicas y estructurales de los materiales de la estructura de pavimento rígido.....	87
Figura 49. Panel de entrada de cargas de tráfico, características geométricas de eje de rueda y cargas originada por el gradiente de temperatura actuante en la losa.....	87
Figura 50. Panel de modelado de dovelas y pasadores	88

Figura 51. Ventana de definición del modelo de trabazón de agregados y abertura de las juntas.....	88
Figura 52. Panel de configuración del mallado para el análisis de esfuerzos actuantes en las losas.....	89
Figura 53. Máximos esfuerzos principales en la cara inferior de las losas.....	89
Figura 54. Esfuerzos y desplazamientos por puntos en cada losa.....	90
Figura 55. Desplazamientos generados en las losas.....	90
Figura 56. Sección transversal prog. 6+000 del pavimento con y sin soporte lateral.....	91
Figura 57. Sección transversal prog. 7+000 del pavimento con y sin soporte lateral.....	94
Figura 58. Sección transversal prog. 16+000 del pavimento con y sin soporte lateral....	97
Figura 59. Sección transversal prog. 17+000 del pavimento con y sin soporte lateral..	100
Figura 60. Sección transversal prog. 18+000 del pavimento con y sin soporte lateral..	103

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Operacionalización de variables	6
Tabla 2. Parámetros de las losas del pavimento existente	8
Tabla 3. Límites territoriales de Campo Pajoso y Caraparí	40
Tabla 4. Coordenadas de campo Pajoso y Caraparí.....	42
Tabla 5. Tipos de rodadura en el tramo Campo Pajoso - Caraparí	43
Tabla 7. Coordenadas de los puntos de extracción de muestras	51
Tabla 8. Resultados de análisis granulométrico de la sub rasante	52
Tabla 9. Resultados de análisis granulométrico de la sub base.....	55
Tabla 10. Resultados de límites de Atterberg de la sub rasante.....	57
Tabla 11. Resultados de límites de Atterberg de la sub base	57
Tabla 12. Clasificación de suelos de la sub rasante según AASHTO.....	58
Tabla 13. Clasificación de suelos de la sub base según AASHTO	58
Tabla 14. Resultados de los ensayos de compactación de la sub rasante	59
Tabla 15. Resultados de los ensayos de compactación de la sub base.....	61
Tabla 16. Resultados de los ensayos de CBR de la sub rasante.....	63
Tabla 17. Resultados de los ensayos de CBR de la sub base	63
Tabla 18. Geometría de las losas.....	64
Tabla 19. Rangos típicos de coeficientes de Poisson	68
Tabla 20. Módulo de reacción de la sub rasante	70
Tabla 21. Parámetros geométricos de ejes de rueda	73
Tabla 22. Resumen de las propiedades de los materiales	75
Tabla 23. Resumen de esfuerzos y deflexiones máximas en la prog. 6+000.....	91
Tabla 24. Resumen de esfuerzos y deflexiones máximas en la prog. 7+000.....	94
Tabla 25. Resumen de esfuerzos y deflexiones máximas en la prog. 16+000.....	97
Tabla 26. Resumen de esfuerzos y deflexiones máximas en la prog. 17+000.....	100
Tabla 27. Resumen de esfuerzos y deflexiones máximas en la prog. 18+000.....	103

Tabla 28. Análisis de las tensiones máximas producidas en el carril izquierdo del pavimento correspondiente a la progresiva 6+000 bajo el criterio de falla por fatiga	106
Tabla 29. Análisis de las tensiones máximas producidas en el carril izquierdo del pavimento correspondiente a la progresiva 7+000 bajo el criterio de falla por fatiga	107
Tabla 30. Análisis de las tensiones máximas producidas en el carril derecho del pavimento correspondiente a la progresiva 16+000 bajo el criterio de falla por fatiga	107
Tabla 31. Análisis de las tensiones máximas producidas en el carril derecho del pavimento correspondiente a la progresiva 17+000 bajo el criterio de falla por fatiga	108
Tabla 32. Análisis de las tensiones máximas producidas en el carril derecho del pavimento correspondiente a la progresiva 18+000 bajo el criterio de falla por fatiga	109
Tabla 33. Resumen de los escenarios más críticos en cada progresiva	110
Tabla 34. Análisis de las tensiones máximas bajo el criterio de falla por fatiga para un espesor de losas de 21 cm	111
Tabla 35. Análisis de las tensiones máximas bajo el criterio de falla por fatiga para un espesor de losas de 20 cm	112
Tabla 36. Resumen del análisis de control de diseño estructural por fatiga	114

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Curva granulométrica sub rasante P ₁	53
Gráfico 2. Curva granulométrica sub rasante P ₂	53
Gráfico 3. Curva granulométrica sub rasante P ₃	54
Gráfico 4. Curva granulométrica sub rasante P ₄	54
Gráfico 5. Curva granulométrica sub rasante P ₅	55
Gráfico 6. Curva granulométrica sub base P ₁	56
Gráfico 7. Curva de compactación sub rasante P ₁	60
Gráfico 8. Curva de compactación sub rasante P ₂	60
Gráfico 9. Curva de compactación sub rasante P ₃	60
Gráfico 10. Curva de compactación sub rasante P ₄	61
Gráfico 11. Curva de compactación sub rasante P ₅	61
Gráfico 12. Curva de compactación sub base P ₁	62
Gráfico 13. Relación entre el CBR y el módulo de reacción de la sub rasante	69
Gráfico 14. Esfuerzos máximos generados en la progresiva 6+000 bajo cargas de tránsito en el borde y esquina	92
Gráfico 15. Esfuerzos máximos generados en la progresiva 6+000 bajo el efecto combinado de cargas en el borde y esquina	92
Gráfico 16. Deflexiones máximas producidas bajo la acción de cargas de tránsito en la progresiva 6+000	93
Gráfico 17. Deflexiones máximas producidas bajo la acción del efecto combinado de cargas en la progresiva 6+000	93
Gráfico 18. Esfuerzos máximos generados en la progresiva 7+000 bajo cargas de tránsito en el borde y esquina	95
Gráfico 19. Esfuerzos máximos generados en la progresiva 7+000 bajo el efecto combinado de cargas en el borde y esquina	95
Gráfico 20. Deflexiones máximas producidas bajo la acción de cargas de tránsito en la progresiva 7+000	96
Gráfico 21. Deflexiones máximas producidas bajo la acción del efecto combinado de cargas en la progresiva 7+000	96

Gráfico 22. Esfuerzos máximos generados en la progresiva 16+000 bajo cargas de tránsito en el borde y esquina	98
Gráfico 23. Esfuerzos máximos generados en la progresiva 16+000 bajo el efecto combinado de cargas en el borde y esquina.....	98
Gráfico 24. Deflexiones máximas producidas bajo la acción de cargas de tránsito en la progresiva 16+000	99
Gráfico 25. Deflexiones máximas producidas bajo la acción del efecto combinado de cargas en la progresiva 16+000	99
Gráfico 26. Esfuerzos máximos generados en la progresiva 17+000 bajo cargas de tránsito en el borde y esquina	101
Gráfico 27. Esfuerzos máximos generados en la progresiva 17+000 bajo el efecto combinado de cargas en el borde y esquina.....	101
Gráfico 28. Deflexiones máximas producidas bajo la acción de cargas de tránsito en la progresiva 17+000	102
Gráfico 29. Deflexiones máximas producidas bajo la acción del efecto combinado de cargas en la progresiva 17+000	102
Gráfico 30. Esfuerzos máximos generados en la progresiva 18+000 bajo cargas de tránsito en el borde y esquina	104
Gráfico 31. Esfuerzos máximos generados en la progresiva 18+000 bajo el efecto combinado de cargas en el borde y esquina.....	104
Gráfico 32. Deflexiones máximas producidas bajo la acción de cargas de tránsito en la progresiva 18+000	105
Gráfico 33. Deflexiones máximas producidas bajo la acción del efecto combinado de cargas en la progresiva 18+000	105