

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



**“APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG, EN EL
DISEÑO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL DE UN
PAVIMENTO FLEXIBLE”**

Por:

MERY CABRERA VILLCA

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.

SEMESTRE II - 2024

TARIJA – BOLIVIA

2024

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

**“APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG, EN EL
DISEÑO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL DE UN
PAVIMENTO FLEXIBLE”**

Por:

MERY CABRERA VILLCA

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.

SEMESTRE II – 2024

TARIJA – BOLIVIA

2024

DEDICATORIA

Para mi madre Teresita, por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y también a largo de mi vida y a su vez a todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Planteamiento del problema	2
1.3.1. Situación problemática	2
1.3.2. Problema	3
1.4. Objetivos de la investigación	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis.....	3
1.6. Variables	4
1.6.1. Variable independiente.....	4
1.6.2. Variables dependientes.....	4
1.7. Diseño metodológico	5
1.7.1. Unidades de estudio	5
1.7.2. Población	4
1.7.3. Muestra.....	5
1.7.4. Muestreo.....	5
1.7.5. Métodos y técnicas empleadas	5
1.7.5.1. Método del modelo matemático de Hogg	5
1.7.5. Técnicas de muestreo y herramientas	6
1.8. Procedimientos de aplicación	7
1.8.1. Preparación previa para la aplicación de instrumentos	7
1.8.2. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información	8
1.8.3. Procedimiento para el análisis.....	8
1.8.4. Interpretación de la información	8

1.4.4. Alcance del estudio	8
----------------------------------	---

CAPÍTULO II

APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG EN PAVIMENTOS

	Página
2.1. Pavimento	9
2.1.1. Pavimento flexible	9
2.1.2. Esfuerzos producidos en un pavimento.....	11
2.1.3. Falla estructural.....	12
2.1.4. Evaluación estructural de pavimentos.....	12
2.1.4.1. Evaluación estructural No Destructiva.....	13
2.1.4.2. Deflectometría.....	13
2.1.4.3. Deflexiones admisibles	15
2.1.4.4. Deflexión estática con Viga Benkelman.....	16
2.2. Cálculo de parámetros proporcionados por la viga Benkelman.....	18
2.2.1. Cálculo de deflexiones	18
2.2.2. Cálculo de radio de curvatura	18
2.2.3. Cálculo de corrección de las deflexiones por temperatura.....	19
2.2.4. Cálculo de la deflexión característica	19
2.3. Modelo matemático de Hogg.....	20
2.3.1. Deflexiones en el modelo de Hogg	22
2.3.2. Características y utilización del Modelo de Hogg	22
2.3.3. Modelo de Carga.....	25
2.3.4. Parámetros $H/L\phi$ y μ	26
2.3.5. Determinación de $R5$	27
2.3.6. Determinación de la longitud elástica ($L\phi$).....	28
2.3.7. Determinación del módulo de elasticidad de la subrasante ($E\phi$)	29
2.3.8. Cálculo del módulo de elasticidad equivalente del pavimento (E^*)	30
2.3.9. Parámetros de evaluación.....	31

2.3.10. Diseño de Refuerzo Estructural	36
2.4. Rangos admisibles de las variables de Hogg	37

CAPÍTULO III

DETERMINACIÓN DEL REFUERZO ESTRUCTURAL CON EL MODELO DE HOGG

	Página
3.1. Ubicación del tramo para la aplicación práctica	38
3.2. Datos y especificaciones del tramo	40
3.3. Obtención de datos con la viga Benkelman	40
3.3.1. Procedimiento de la práctica	40
3.3.2. Datos de la práctica	44
3.3.3. Procedimiento de cálculo	44
3.3.4. Resultados obtenidos con la viga Benkelman de todo el tramo.....	45
3.3.5. Análisis de la evaluación estructural realizada con la viga Benkelman.....	47
3.4. Aplicación del modelo matemático de Hogg	50
3.4.1. Datos preliminares de campo de la progresiva 01+000	50
3.4.2. Procedimiento de cálculos según modelo de Hogg.....	50
3.4.3. Resultados obtenidos del modelo matemático de Hogg de todo el tramo	58

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1. Resumen de resultados.....	61
4.1.1. Criterios de análisis de resultados según modelo matemático de Hogg	63
4.2. Análisis de los parámetros del modelo de Hogg	63
4.2.1. Análisis de la deflexión máxima D_0	63
4.2.2. Análisis de la deflexión a 50 cm D_R	66
4.2.3. Análisis del módulo de elasticidad de la subrasante E_0	69
4.2.4. Análisis del módulo de elasticidad equivalente del pavimento E^*	72

4.2.5. Análisis de los resultados de CBR	75
4.2.6. Análisis de los resultados del refuerzo del pavimento DH	78
4.3. Análisis de relación entre resultados obtenidos	81
4.3.1. Influencia de D_0 en el E_0	81
4.3.2. Influencia de D_0 en el E^*	83
4.3.3. Influencia de E_0 en el CBR.....	85
4.3.4. Influencia de E^* en el CBR.....	87
4.3.5. Influencia de E^* en el DH.....	89
4.4. Propuesta final de diseño del refuerzo estructural	91
4.5. Análisis de comparación con el modelo de Hogg.....	92
4.5.1. Método del diseño de pavimetos (AASHTO-93) y DIPAV-2	92
4.5.2. Comparación de métodos.....	94
4.6. Análisis estadístico para determinar la confiabilidad de los resultados	97
4.6.1. Prueba de t-Student	97
4.6.1. Cálculos de la Prueba de t-Student	98
4.7. Análisis de Costos	100

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	101
5.2. Recomendaciones.....	103

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo 1: Documentos de respaldo

Anexo 2: Planillas de estudio con la viga Benkelman

Anexo 3: Planillas de estudio con el modelo de Hogg

Anexo 4: Planillas de estudio CBR

Anexo 5: Planillas de Aforo

Anexo 6: Planillas del diseño de pavimentos (AASTHO-93) y DIPAV-2

Anexo 7: Planillas de Costos

Anexo 8: Fotografías del tramo en estudio San Mateo – Sella Méndez

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Cuadro de operación de variables	4
Tabla 2.1. Parámetros del modelo de Hogg	21
Tabla 2.2. Coeficientes para el cálculo de R5 en el Modelo de Hogg	27
Tabla 2.3. Coeficientes para el cálculo de L en el Modelo de Hogg	27
Tabla 2.4. Rangos admisibles de variables de Hogg.....	37
Tabla 3.1. Datos de viga Benkelman progresiva 1+000	44
Tabla 3.2. Resultados obtenidos con la viga Benkelman.....	45
Tabla 3.3. Análisis de deflexiones máximas del tramo	47
Tabla 3.4. Análisis de radios de curvatura	48
Tabla 3.5. Coeficientes A, B, C para modelo matemático de Hogg	51
Tabla 3.6. Coeficientes X, Y, M, I, K y N para modelo matemático de Hogg	51
Tabla 3.7. Resultados obtenidos del modelo de Hoog en el carril de ida	58
Tabla 3.8. Resultados obtenidos del modelo de Hoog en el carril de vuelta	60
Tabla 4.1. Resumen de resultados obtenidos en el carril de ida	61
Tabla 4.2. Resumen de resultados obtenidos en el carril de vuelta	62
Tabla 4.3. Resultados de deflexión máxima D_0 de ambos carriles	63
Tabla 4.4. Resultados de deflexión D_R de ambos carriles.....	66
Tabla 4.5. Resultados del módulo de elasticidad de subrasante E_0 ambos carriles ...	69
Tabla 4.6. Resultados del módulo de elasticidad de subrasante E^* ambos carriles ...	72
Tabla 4.7. Resultados del CBR de ambos carriles	75
Tabla 4.8. Resultados del refuerzo del pavimento DH de ambos carriles.	78
Tabla 4.9. Resultados D_0 y E_0 de ambos carriles	81
Tabla 4.10. Resultados D_0 y E^* de ambos carriles	83
Tabla 4.11. Resultados E_0 y CBR de ambos carriles.....	85
Tabla 4.12. Resultados E^* y CBR de ambos carriles	87
Tabla 4.13. Resultados E^* y DH de ambos carriles	89
Tabla 4.14. Espesores de refuerzos a considerar	91
Tabla 4.15. Resultados de CBR al 100%.....	92

Tabla 4.16. Resultados de CBR al 95%	92
Tabla 4.17. Resultados del aforo vehicular	93
Tabla 4.18. Resultados de ejes equivalentes (W18)	93
Tabla 4.19. Resumen de resultados obtenidos para un periodo actual	93
Tabla 4.20. Resumen de resultados obtenidos para un periodo de 10 años	94
Tabla 4.21. Resumen de resultados obtenidos para el espesor de sobre carpetas	97
Tabla 4.22. Resumen de resultados obtenidos de la Capacidad portante de la sub rasante del suelo $CBR_{Laboratorio}$ y CBR_{Hogg}	97
Tabla 4.23. Resumen de resultados del precio unitario y total de sobre carpetas...	100

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Representación del modelo Hogg.....	6
Figura 1.2. Viga Benkelman	7
Figura 1.3. Procedimiento de ensayo	7
Figura 2.1. Estructura de un pavimento	9
Figura 2.2. Distribución de esfuerzos en un pavimento flexible.....	11
Figura 2.3. Esquema de deflexión en el pavimento flexible ante la carga vehicular ..	14
Figura 2.4. Partes de la viga Benkelman.....	16
Figura 2.5. Esquema del Modelo de Hogg.....	21
Figura 2.6. Curva de deflexiones en el modelo de Hogg para la viga Benkelman	23
Figura 2.7. Nomograma para evaluación estructural basado en el Modelo de Hogg .	24
Figura 2.8. Significado cualitativo de los diferentes tipos de curvas de deflexiones..	33
Figura 3.1. Ubicación del lugar.....	38
Figura 3.2. Progresivas del tramo	39
Figura 3.3. Medición de las distancias cada 50 cm.....	41
Figura 3.4. Posicionamiento de la viga Benkelman.....	41
Figura 3.5. Toma de temperatura superficial del pavimento.	41
Figura 3.6. Manipulación del extensómetro digital	42
Figura 3.7. Calibración del extensómetro antes del ensayo	42
Figura 3.8. Momento del ensayo en los primeros 50 cm de avance de la volqueta	43
Figura 3.9. Lectura del extensómetro después de la recuperación del pavimento	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 4.1. Variación $D_{\emptyset}$ (carril de ida)	64
Gráfico 4.2. Variación $D_{\emptyset}$ (carril de vuelta)	65
Gráfico 4.3. Variación D_R (carril de ida).	67
Gráfico 4.4. Variación D_R (carril de vuelta)	68
Gráfico 4.5. Variación del $E_{\emptyset}$ (carril de ida).....	70
Gráfico 4.6. Variación del $E_{\emptyset}$ (carril de vuelta).....	71
Gráfico 4.7. Variación del E^* (carril de ida).....	73
Gráfico 4.8. Variación del E^* (carril de vuelta).....	74
Gráfico 4.9. Variación del CBR (carril de ida)	76
Gráfico 4.10. Variación del CBR (carril de vuelta)	77
Gráfico 4.11. Variación del refuerzo del pavimento DH (carril de ida)	79
Gráfico 4.12. Variación del refuerzo del pavimento DH (carril de vuelta)	80
Gráfico 4.13. Relación $D_{\emptyset}$ vs. $E_{\emptyset}$	82
Gráfico 4.14. Relación $D_{\emptyset}$ vs. E^*	84
Gráfico 4.15. Relación $E_{\emptyset}$ vs. CBR	86
Gráfico 4.16. Relación $E_{\emptyset}$ vs. CBR	88
Gráfico 4.17. Relación E^* vs. DH.....	90
Gráfico 4.18. Propuesta de refuerzo del carril de ida.....	91
Gráfico 4.19. Propuesta de refuerzo del carril de vuelta.....	92