

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



**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD
INTERNACIONAL, USANDO EL APLICATIVO INTELIGENTE
ABAKAL Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN EN LAS AVENIDAS
DE LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por:

MARCO ANTONIO CARDOZO FLORES

Proyecto presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil

SEMESTRE I - 2024

TARIJA – BOLIVIA

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

**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD
INTERNACIONAL, USANDO EL APLICATIVO INTELIGENTE
ABAKAL Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN EN LAS AVENIDAS
DE LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por:

MARCO ANTONIO CARDOZO FLORES

SEMESTRE I - 2024

TARIJA – BOLIVIA

.....
M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

.....
M.Sc. Lic. Gustavo Succi Aguirre
VICEDECANO
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

TRIBUNALES:

.....
M.Sc.Ing. Trinidad Cinthia Baldiviezo Montalvo

.....
M.Sc.Ing. Mabel Zambrana Velasco

.....
Ing. José Ricardo Arce A.

ADVERTENCIA

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

Dedico este proyecto de tesis a mis padres, Diego Cardozo Silvera y Barbarita Flores Reyes, por su apoyo incondicional y sacrificios que hicieron para que pudiera llegar hasta aquí.

Agradezco a mis seres queridos y amigos por su compañía durante largas noches de estudio.

También quiero expresar mi profunda gratitud a mis docentes y asesores, Ing. Mario L. Ticona C. y Ing. Laura Karina Soto Salgado cuya sabiduría, guía y experiencia fueron fundamentales en la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 SITUACIÓN PROBLÉMICA	8
1.2.1 Problema general.....	11
1.2.2 Problemas específicos	11
1.2.3 Relevancia y factibilidad del problema	12
1.2.4 Delimitación temporal y espacial del problema.....	13
1.3 JUSTIFICACIÓN	15
1.3.1 Justificación de la investigación.	16
1.3.2 Justificación Ambiental.....	16
1.3.3 Justificación Social.....	16
1.3.4 Justificación Teórica	17
1.3.5 Justificación Económica.....	17
1.4 OBJETIVOS	17
1.4.1 Objetivo general.....	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
1.5 HIPÓTESIS	18
1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	19
1.6.1 Variables independientes.....	19
1.6.2 Variables dependientes.....	19

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN, TECNOLOGÍA Y MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

	Página
2.1 PAVIMENTOS.....	20
2.1.1 Pavimentos flexibles o asfálticos.	22
2.2 ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD	23
2.3 RUGOSIDAD.....	23
2.3.1 Causas posibles de la rugosidad.....	24
2.3.2 Posibles causas que dan origen a la rugosidad en la etapa de construcción.....	24
2.3.3 Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos	25
2.4 IMPORTANCIA DE LA RUGOSIDAD	26
2.5 ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI).....	27
2.6 CÁLCULO DEL IRI.....	27
2.7 ESCALAS Y CARACTERÍSTICAS DEL IRI	28
2.8 DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE RUGOSIDAD	30
2.9 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS PARA MEDIR LA RUGOSIDAD.....	31
2.9.1 Equipos estáticos.....	31
2.9.1.1 Mira y nivel topográfico	31
2.9.1.2 Perfilómetro de barra del TRRL	32
2.9.1.3 Face Dipstick	32
2.9.1.4 Machine for Evaluating Roughness (Merlín).	34
2.9.2 Equipos dinámicos	35
2.9.2.1 Los perfilógrafos.	35

2.10 RUGOSÍMETRO DE MERLÍN	37
2.10.1 Modo de uso.....	40
2.10.2 Cálculo de la rugosidad con el rugosímetro de Merlín	42
2.11 APLICATIVO ABAKAL IRI	44
2.11.1 Velocidad de ensayo.....	45
2.11.2 Ubicación del smartphone	45
2.11.3 Cálculo de la rugosidad con el aplicativo Abakal Iri	46
2.11.4 Generación de informe	47
2.12. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	48

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN, PROCESO Y CONSIDERACIONES PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD

	Página
3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.3 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.4 POBLACIÓN	51
3.5 MUESTRA	51
3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	52
3.6.1 Técnicas	52
3.6.2 Instrumentos	52
3.7 MÉTODO MERLÍN..	53
3.8 MÉTODO ABAKAL.....	63

3.9 COSTOS Y BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS.....	69
3.9.1 Costos.....	69
3.9.2 Beneficios	70

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

	Página
4.1 RESULTADOS NIVEL MIRA Y ABAKAL AVENIDA LOS MOLLES, 40PSI...	72
4.2 RESULTADOS NIVEL MIRA Y ABAKAL AVENIDA SAN LUIS, 40PSI	75
4.3 RESULTADOS MERLIN Y ABAKAL AVENIDA LOS MOLLES, 40PSI.....	78
4.4 RESULTADOS MERLIN Y ABAKAL AVENIDA SAN LUIS, 40PSI.....	80
4.5 RESULTADOS NIVEL MIRA Y ABAKAL AVENIDA LOS MOLLES, 35PSI...	83
4.6 RESULTADOS NIVEL MIRA Y ABAKAL AVENIDA SAN LUIS, 35PSI	85
4.7 RESULTADOS MERLIN Y ABAKAL AVENIDA LOS MOLLES, 35PSI.....	87
4.8 RESULTADOS MERLIN Y ABAKAL AVENIDA SAN LUIS, 35PSI.....	89
4.9 RESULTADOS PORCENTAJE DE SIMILITUD, MERLIN Y ABAKAL	91
4.10 RESULTADOS PORCENTAJE DE SIMILITUD, MERLIN Y ABAKAL	92
4.11 RESULTADOS NIVEL MIRA, MERLIN, ABAKAL LOS MOLLES, 40PSI.....	93
4.12 RESULTADOS NIVEL MIRA, MERLIN, ABAKAL SAN LUIS, 40PSI.....	94

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.2 CONCLUSIONES	97
5.3 RECOMENDACIONES	99

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO I.** DATOS Y CÁLCULOS DE MERLÍN
- ANEXO II.** DATOS DE CAMPO DE MIRA Y NIVEL
- ANEXO III.** RESULTADOS DE MIRA Y NIVEL
- ANEXO IV.** DATOS Y RESULTADOS SOFTWARE ABAKAL
- ANEXO V.** PRESUPUESTO
- ANEXO VI.** METODOLOGÍA DE PROCEDIMIENTO
- ANEXO VII.** MANUAL DE USUARIO ABAKAL
- ANEXO VIII.** PLANOS DE UBICACIÓN

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Parque automotor, Tarija	9
Figura 1.2 Zona de investigación, desgaste en la Avenida Los Molles	10
Figura 1.3 Zona de investigación, presencia de fallas en la Avenida Los Molles	10
Figura 1.4 Zona de investigación, presencia de piel de cocodrilo	11
Figura 1.5 Zona de investigación, Avenida Los Molles	13
Figura 1.6 Zona de investigación, Avenida Los Molles	14
Figura 2.1 Estructuración del Pavimento Flexible	22
Figura 2.2 Modelo de cuarto de carro (quarter car)	28
Figura 2.3 Escala para clasificar los caminos según IRI ABC	29
Figura 2.4 Mira y nivel topográfico	31
Figura 2.5 Equipo Dipstick	33
Figura 2.6 Diseño funcional de equipo Dipstick	33
Figura 2.7 Equipo Merlín	34
Figura 2.8 Equipo Perfilógrafo	35
Figura 2.9 Uso del rugosímetro de Merlín	37
Figura 2.10 Detalles del instrumento Merlín	37
Figura 2.11 Detalles en corte del Rugosímetro de Merlín	38
Figura 2.12 Medición de desviaciones del pavimento respecto a la cuerda AB	39
Figura 2.13 Escala para determinar la dispersión de las desviaciones del pavimento	40
Figura 2.14 Formato para recolección de datos de campo	41
Figura 2.15 Histograma de la distribución de frecuencias	42
Figura 2.16 Modelo de cuarto de carro	44
Figura 2.17 Aplicativo Abakal IRI	45

Figura 2.18 Ubicación del teléfono en el vehículo	45
Figura 2.19 Métodos de cálculo abakal	46
Figura 2.20 Informe IRI.csv	47
Figura 2.21 Ejemplo Informe IRI. kml	48
Figura 3.1 Equipo de Merlín	53
Figura 3.2 Chalecos de seguridad	53
Figura 3.3 Conos de seguridad	54
Figura 3.4 Pintura en spray	54
Figura 3.5 Destornillador	54
Figura 3.6 Llave 12	55
Figura 3.7 Inflador	55
Figura 3.8 Calibración del equipo de Merlín.	56
Figura 3.9 Posición del equipo en el punto de partida.	56
Figura 3.10 Coordinación para la toma de datos.	57
Figura 3.11 Desplazamiento del equipo.	57
Figura 3.12 Punto de referencia en la rueda del Merlín.	58
Figura 3.13 Hoja de campo con el equipo de Merlín.	59
Figura 3.14 Histograma de Distribución de frecuencias	61
Figura 3.15 Dispositivo móvil	63
Figura 3.16 Soporte para celular	63
Figura 3.17 Vehículo para el estudio	64
Figura 3.18 Libreta	64
Figura 3.19 Instalación en el dispositivo	65
Figura 3.20 Presión de llantas	65
Figura 3.21 Posición del soporte	66

Figura 3.22 Dar inicio al programa.....	66
Figura 3.23 Botón para la toma de datos.....	67
Figura 3.24 Botón para parar la toma de datos.....	67
Figura 3.25 Botón para detener y Guardar los datos	68
Figura 3.27 Gráfica Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef =2,5; 40psi	72
Figura 3.28 Gráfica Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef = 3; 40psi	73
Figura 3.29 Gráfica Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef = 2,5; 40psi	75
Figura 3.30 Gráfica Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef = 3; 40psi.....	77
Figura 3.31 Gráfica Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 2,5; 40psi.....	78
Figura 3.32 Gráfica Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi.....	79
Figura 3.33 Gráfica Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 2,5; 40psi	81
Figura 3.34 Gráfica Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi	82
Figura 3.35 Gráfica Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef =2,5; 35psi	83
Figura 3.36 Gráfica Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef = 3; 35psi	84
Figura 3.37 Gráfica Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef = 2,5; 35psi.....	85
Figura 3.38 Gráfica Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef = 3; 35psi	86
Figura 3.39 Gráfica Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 2,5; 35psi.....	87
Figura 3.40 Gráfica Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 3; 35psi.....	88
Figura 3.41 Gráfica Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 2,5; 35psi	89
Figura 3.42 Gráfica Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 3; 35psi	90
Figura 3.43 Gráfica Av. Los Molles; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi	93
Figura 3.44 Gráfica Av. Los Molles; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi	94
Figura 3.45 Gráfica Av. San Luis; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi.....	95
Figura 3.46 Gráfica Av. San Luis; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Síntesis de los antecedentes	5
Tabla 1.2 Parque automotor según tipo de servicio	9
Tabla 1.3 Coordenadas UTM Av. Los Molles Inicio	13
Tabla 1.4 Coordenadas UTM Av. Los Molles Final	14
Tabla 1.5 Coordenadas UTM Av. San Luis Inicio	14
Tabla 1.6 Coordenadas UTM Av. San Luis Final	15
Tabla 2.1 Clasificación de la serviciabilidad.....	23
Tabla 2.2 Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente	29
Tabla 2.3 Valores límites del IRI para considerar una intervención	30
Tabla 2.4 Clasificación de equipos	36
Tabla 2.5 Ejemplo de Resultados Informe IRI.....	47
Tabla 3.1 Datos de campo con la rueda de Merlín	60
Tabla 3.2 Distribución de frecuencias	61
Tabla 3.3 Costos de la implementación de los equipos	69
Tabla 3.4 Ventajas y desventajas Abakal.....	70
Tabla 4.1 Resultados Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef =2,5; 40psi.....	72
Tabla 4.2 Resultados Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef =3; 40psi.....	73
Tabla 4.3 Resultados Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef =2,5; 40psi.....	75
Tabla 4.4 Resultados Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef =3; 40psi.....	76
Tabla 4.5 Resultados Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef =2,5; 40psi	78
Tabla 4.6 Resultados Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi	79
Tabla 4.7 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef =2,5; 40psi	80
Tabla 4.8 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi	81

Tabla 4.9 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 2,5; 40psi	83
Tabla 4.10 Resultados Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef = 3; 35psi	84
Tabla 4.11 Resultados Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef =2,5; 35psi	85
Tabla 4.12 Resultados Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef =3; 35psi.....	86
Tabla 4.13 Resultados Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef =2,5; 35psi.....	87
Tabla 4.14 Resultados Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 3; 35psi	88
Tabla 4.15 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef =2,5; 35psi	89
Tabla 4.16 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 3; 35psi	90
Tabla 4.17 Resultados Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi	91
Tabla 4.18 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi	92
Tabla 4.19 Resultados Av. Los Molles; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi	93
Tabla 4.20 Resultados Av. San Luis; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi.....	94