

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



TOMO I

**“EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR EL IRI EN
PAVIMENTOS FLEXIBLES Y LA INFLUENCIA EN EL NIVEL DE SERVICIO”**

Por:

ALEJANDRA RAMOS QUISPE

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 - 2023
TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mi madre por su apoyo incondicional, quien me ha acompañado con sus infaltables oraciones, sabios consejos y su cariño, animándome para superarme día a día. A todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron en la realización de la misma.

A mi tutor Ing. Segovia Cortez Marcelo, quien desinteresadamente me apoyo con sus conocimientos guiándome en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación del proyecto de aplicación	2
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.3.1. Situación problemática.....	3
1.3.2. Problema	5
1.4. Objetivos de proyecto de aplicación	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivo específico.....	5
1.5. Hipótesis	5
1.6. Definición de variables independientes y dependientes.....	6
1.6.1. Variable independiente	6
1.6.2. Variable dependiente	6
1.6.3. Cuadro de operacionalización de variables.....	7
1.7. Alcance	9

CAPÍTULO II

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y NIVEL DE SERVICIO

	Página
2.1. Pavimentos	11
2.1.1. Pavimentos flexibles	11
2.2. Evaluación de pavimentos	14
2.2.1. Evaluación superficial	16
2.3. La rugosidad.....	16

2.3.1.	Índice de rugosidad internacional.....	18
2.3.1.1.	Características del IRI.....	20
2.3.1.2.	Ventajas del uso del IRI.....	20
2.4.	Equipo para determinar el IRI.....	22
2.4.1.	Rugosímetro de Merlín	22
2.4.1.1.	Diseño del rugosímetro de Merlín.....	23
2.4.1.2.	Metodología para determinación del IRI con Rugosímetro de Merlín	26
2.4.1.3.	Histograma de la distribución de frecuencias.....	26
2.4.1.4.	Correlaciones D vs IRI.....	27
2.4.1.5.	El Tablero del Merlín	28
2.4.2.	Nivel y mira topográfica.....	29
2.4.2.1.	Introducción al programa INPACO	30
2.4.2.2.	Metodología para determinar el IRI con el programa INPACO	31
2.4.3.	Aplicación ROADROID	31
2.4.3.1.	Visualización de datos.....	32
2.4.3.2.	Uso de datos del IRI con la aplicación del ROADROID	33
2.5.	Procedimiento estadístico	34
2.5.1.	Según SAMPIERI-1997	34
2.6.	Tránsito	36
2.6.1.	Volúmenes de tráfico.....	36
2.6.2.	Capacidad.....	37
2.7.	Niveles de servicio	38
2.7.1.	Nivel de servicio A.....	39
2.7.2.	Nivel de servicio B.....	40
2.7.3.	Nivel de servicio C.....	40

2.7.4.	Nivel de servicio D.....	41
2.7.5.	Nivel de servicio E.....	41
2.7.6.	Nivel de servicio F.....	42

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

		Página
3.1.	Ubicación del área en estudio	43
3.1.1.	Zona Urbana.....	44
3.1.2.	Zona Rural.....	46
3.1.2.1.	Provincia Cercado.....	46
3.1.2.2.	Provincia Méndez.....	47
3.1.2.3.	Provincia Avilés	49
3.1.3.	Coordenadas Geométricas de los tramos	50
3.1.3.1.	Tramos urbanos	50
3.1.3.2.	Tramos rurales.....	54
3.2.	Equipos y procedimientos empleados para determinar el IRI.....	60
3.2.1.	Equipo	60
3.2.2.	Procedimientos empleados para determinar el IRI.....	62
3.2.2.1.	Método tradicional de medición IRI (Mira y Nivel de Ingeniero).....	62
3.2.2.1.1.	Resultados del IRI por Método tradicional de medición.....	68
3.2.2.2.	Método dispositivo basado en el equipo de Merlín.....	68
3.2.2.2.1.	Resultados del IRI por método rugosímetro de Merlín	72
3.2.2.3.	Método aplicación del ROADROID para teléfonos inteligentes medición IRI.....	72
3.2.2.3.1.	Resultados del IRI por Método aplicación del ROADROID.	82
3.3.	Procedimiento para determinar el nivel de servicio.....	82

3.3.1.	Determinación de volúmenes de tráfico.....	82
3.3.2.	Determinación de la capacidad vehicular.....	84
3.3.3.	Determinación del nivel de servicio de cada tramo.....	86
3.3.3.1.	Índice de congestionamiento	86

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página	
4.1.	Análisis comparativo de las metodologías usadas en el cálculo del IRI.....	88
4.1.1.	Análisis de resultado del método tradicional de medición (mira y nivel).....	89
4.1.2.	Análisis de resultado del método rugosímetro de Merlín	91
4.1.3.	Análisis de resultado de la aplicación ROADROID	94
4.1.4.	Análisis comparativo de los tres métodos para determinar el IRI.....	97
4.1.4.1.	Histogramas por los tres métodos zona urbana	97
4.1.4.2.	Histogramas por los tres métodos zona rural	99
4.1.5.	Análisis de las metodologías usadas para determinar el IRI.....	100
4.1.5.1.	Clasificación de los equipos usados	101
4.1.6.	Análisis de ventajas y desventajas de los tres métodos usados.....	104
4.1.6.1.	Método Mira y Nivel.....	104
4.1.6.2.	Rugosímetro de Merlín	105
4.1.6.3.	Aplicación ROADROID	107
4.2.	Análisis comparativo entre el IRI y nivel de servicio	110
4.3.	Niveles de conservación o mantenimiento.....	119

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	121
5.2. Recomendaciones.....	124

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO A.** DATOS TOPOGRÁFICOS PARA LA OBTENCIÓN DEL IRI ZONA URBANA MÉTODO TRADICIONAL DE MEDICIÓN DEL IRI (MIRA Y NIVEL DE INGENIERO)
- ANEXO B.** DATOS TOPOGRÁFICOS PARA LA OBTENCIÓN DEL IRI ZONA RURAL MÉTODO TRADICIONAL DE MEDICIÓN DEL IRI (MIRA Y NIVEL DE INGENIERO)
- ANEXO C.** DATOS Y CÁLCULO DE IRI ZONA URBANA DISPOSITIVO DE MERLÍN
- ANEXO D.** DATOS Y CÁLCULO DE IRI ZONA RURAL DISPOSITIVO DE MERLÍN
- ANEXO E.** DATOS Y CÁLCULO DE IRI ZONA URBANA APLICACIÓN ROADROID
- ANEXO F.** DATOS Y CÁLCULO DE IRI ZONA RURAL APLICACIÓN ROADROID
- ANEXO G.** DATOS Y CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO ZONA URBANA
- ANEXO H.** DATOS Y CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO ZONA RURAL
- ANEXO I.** PRECIOS UNITARIOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1 Capa de materiales encontrados al excavar un pavimento	11
Figura N° 2 Estructura de un pavimento flexible.....	12
Figura N° 3 Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos.....	19
Figura N° 4 Relación entre los valores del IRI y algunas características de circulación	22
Figura N° 5 Equipo de Merlín.....	23
Figura N° 6 Modelo del diseño de Merlín.....	24
Figura N° 7 Desviación del pavimento de acuerdo a la cuerda promedio	26
Figura N° 8 Histograma de frecuencias.....	27
Figura N° 9 Escala grafica para determinar dispersión de las desviaciones de la superficie de pavimento	29
Figura N° 10 Nivel y mira topográfica.....	30
Figura N° 11 Condición de la carretera mediante colores.....	33
Figura N° 12 Filtro, selección y análisis de datos en la web utilizando el índice ROADROID (IRI).....	34
Figura N° 13 Nivel de servicio.....	39
Figura N° 14 Nivel de servicio A.....	40
Figura N° 15 Nivel de servicio B.....	40
Figura N° 16 Nivel de servicio C.....	41
Figura N° 17 Nivel de servicio D.....	41
Figura N° 18 Nivel de servicio E.....	42
Figura N° 19 Nivel de servicio F	42
Figura N° 20 Ubicación del área de estudio ciudad de Tarija.....	43
Figura N° 21 Mancha urbana de la ciudad de Tarija.....	44
Figura N° 22 Distritos de la ciudad de Tarija.....	46
Figura N° 23 Provincia Cercado del departamento de Tarija.....	47
Figura N° 24 Provincia Méndez del departamento de Tarija.....	48
Figura N° 25 Provincia Avilés del departamento de Tarija.....	49
Figura N° 26 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 1 carril de ida	50

Figura N° 27 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 1 carril de vuelta	51
Figura N° 28 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 2 carril de ida	52
Figura N° 29 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 2 carril de vuelta	53
Figura N° 30 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 2 carril de ida	54
Figura N° 31 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 3 carril de vuelta	55
Figura N° 32 Zona rural de la ciudad de Tarija tramo 4 carril de ida.....	56
Figura N° 33 Zona rural de la ciudad de Tarija tramo 4 carril de vuelta.....	57
Figura N° 34 Zona rural de la ciudad de Tarija tramo 5 carril de ida.....	58
Figura N° 35 Zona rural de la ciudad de Tarija tramo 5 carril de vuelta.....	59
Figura N° 36 Un Nivel de Ingeniero para efectuar la nivelación. Nivel Digital de Ingeniero Modelo (Sokkia SDL50)	60
Figura N° 37 Mira graduada.....	60
Figura N° 38 Equipo del Merlín.....	61
Figura N° 39 Celular Samsung A 52 usado para la toma de datos	61
Figura N° 40 Aplicación ROADROID versión 3.4.2.....	62
Figura N° 41 Marcado del pavimento a cada 500 mm.....	63
Figura N° 42 Armado del Nivel de ingeniero.....	63
Figura N° 43 Lecturado de la cota y la altura del punto.....	64
Figura N° 44 Programa INPACO para obtener el IRI.....	67
Figura N° 45 Cálculo del IRI, Método tradición de medición IRI.....	67
Figura N° 46 Calibración del dispositivo de Merlín	68
Figura N° 47 Ajuste del factor “D”	69
Figura N° 48 Posicionamiento del dispositivo de Merlín, para ejecutar el ensayo.....	69
Figura N° 49 Recolección de datos con el dispositivo de Merlín	70
Figura N° 50 Histograma de frecuencias.....	71
Figura N° 51 Tabulación y determinación de “D”	71
Figura N° 52 Cálculo del IRI, método dispositivo de Merlín	72
Figura N° 53 Vehículo y sujetador del teléfono	74
Figura N° 54 Menú de aplicación.....	74
Figura N° 55 Calibración de la posición del móvil	75
Figura N° 56 Procedimiento para tomar datos	75

Figura N° 57 Proceso para subir datos	76
Figura N° 58 Pagina de la aplicación	76
Figura N° 59 Importe de datos cargados	77
Figura N° 60 Detalles para la descarga de datos	77
Figura N° 61 Datos que proporciona la aplicación ROADROID en formato “.txt”	78

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1 Cuadro de operacionalización de variables	7
Tabla N° 2 Índice de rugosidad internacional según el tipo de carretera	19
Tabla N° 3 Estado vial según rugosidad.....	20
Tabla N° 4 Clasificación del nivel de servicio	39
Tabla N° 5 Datos de cantidad de población en distritos, barrios y urbanizaciones de la ciudad de Tarija.....	45
Tabla N° 6 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona urbana tramo 1 carril de ida.....	50
Tabla N° 7 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona urbana tramo 1 carril de vuelta.....	51
Tabla N° 8 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona urbana tramo 2 carril de ida.....	52
Tabla N° 9 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona urbana tramo 2 carril de vuelta.....	53
Tabla N° 10 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 3 carril de ida.....	54
Tabla N° 11 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 3 carril de vuelta.....	55
Tabla N° 12 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 4 carril de ida.....	56
Tabla N° 13 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 4 carril	57
Tabla N° 14 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 5 carril de ida.....	58
Tabla N° 15 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 5 carril de vuelta.....	59
Tabla N° 16 Resultados, distancia y cota de cada punto, para datos necesarios para programa INPACO.....	65
Tabla N° 17 Resultado del IRI con mira y nivel de tramos urbanos y rurales	68

Tabla N° 18 Datos de campo con el dispositivo de Merlín	70
Tabla N° 19 Resultado del IRI por el método rugosímetro de Merlín	72
Tabla N° 20 Datos de la aplicación de ROADROID	79
Tabla N° 21 Datos depurados de la aplicación ROADROID	81
Tabla N° 22 Resultado del IRI en zona urbana por el método teléfono inteligente aplicación del ROADROID	82
Tabla N° 23 Análisis de volumen de tráfico zona urbana	83
Tabla N° 24 Análisis de tráfico zona rural.....	83
Tabla N° 25 Análisis de la capacidad real zona urbano.....	85
Tabla N° 26 Análisis de la capacidad real zona rural	86
Tabla N° 27 Análisis del nivel de servicio zona urbana	86
Tabla N° 28 Análisis del nivel de servicio zona rural	87
Tabla N° 29 Estado vial según rugosidad.....	88
Tabla N° 30 Resultados de ambos carriles de los tramos urbanos método mira y nivel	89
Tabla N° 31 Resultados de ambos carriles de los tramos rurales método mira y nivel	90
Tabla N° 32 Resultados de ambos carriles de los tramos urbanos método rugosímetro de Merlín.....	91
Tabla N° 33 Resultados de ambos carriles de los tramos rurales método rugosímetro de Merlín.....	93
Tabla N° 34 Resultados de ambos carriles de los tramos urbanos método aplicación ROADROID	94
Tabla N° 35 Resultados de ambos carriles de los tramos rurales método aplicación ROADROID	96
Tabla N° 36 Especificaciones del modelo SDL50.....	101
Tabla N° 37 Especificaciones Rugosímetro de Merlín	102
Tabla N° 38 Rendimiento del método Mira y nivel de Ingeniero	105
Tabla N° 39 Precio total Método Mira y nivel de ingeniero	105
Tabla N° 40 Rendimiento de los métodos Rugosímetro de Merlín.....	106
Tabla N° 41 Precio total Método rugosímetro de Merlín	107

Tabla N° 42 Rendimiento de la aplicación ROADROID	107
Tabla N° 43 Precios para el uso de la aplicación ROADROID.....	108
Tabla N° 44 Precio total aplicación ROADROID	110
Tabla N° 45 Ventajas y desventajas de los tres métodos usados.....	110

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica N° 1 Histograma método mira y nivel carril ida y vuelta zona urbana.....	89
Gráfica N° 2 Histograma método mira y nivel carril ida y vuelta zona rural.....	90
Gráfica N° 3 Histograma método rugosímetro de Merlín carril ida y vuelta zona urbana.....	92
Gráfica N° 4 Histograma método rugosímetro de Merlín carril ida y vuelta zona rural	93
Gráfica N° 5 Histograma método aplicación ROADROID carril ida y vuelta zona urbana.....	95
Gráfica N° 6 Histograma método aplicación ROADROID carril ida y vuelta zona rural	96
Gráfica N° 7 Histograma de los tres métodos aplicados en la zona urbana carril de ida.....	97
Gráfica N° 8 Histograma de los tres métodos aplicados en la zona urbana carril de vuelta.....	98
Gráfica N° 9 Histograma de los tres métodos aplicados en la zona rural carril de ida.....	99
Gráfica N° 10 Histograma de los tres métodos aplicados zona rural carril de vuelta.....	100
Gráfica N° 11 IRI y el nivel de servicio método mira y nivel de ingeniero zona urbana.....	111
Gráfica N° 12 IRI y el nivel de servicio método rugosímetro Merlín zona urbana.....	112
Gráfica N° 13 IRI y el nivel de servicio método aplicación ROADROID zona urbana.....	113
Gráfica N° 14 IRI y el nivel de servicio método mira y nivel de ingeniero zona rural	114
Gráfica N° 15 IRI y el nivel de servicio método dispositivo de Merlín zona rural.....	116
Gráfica N° 16 IRI y el nivel de servicio método aplicación del ROADROID zona rural	118