

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



**“APLICACIÓN DE UN MODELO PARA LA  
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD  
INTERNACIONAL CON BASE EN DAÑOS  
SUPERFICIALES DE PAVIMENTO”**

**Por:**

**UNIV.: KATHERINNE MIRANDA SHIMURA**

**TARIJA – BOLIVIA**

**2015**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VIAS DE COMUNICACIÓN**

**“APLICACIÓN DE UN MODELO PARA LA  
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD  
INTERNACIONAL CON BASE EN DAÑOS SUPERFICIALES  
DE PAVIMENTO”**

**Por:**

**KATHERINNE MIRANDA SHIMURA**

**TARIJA – BOLIVIA**

**2015**

.....  
M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez  
**DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....  
M.Sc. Ing. Silvana S. Paz Ramírez  
**VICEDECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL

.....  
Ing. Ada Gladys Lopez Rueda

.....  
Ing. Mario Luis Ticona Copa

.....  
Ing. Grover Torres

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios**, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

**A mis Padres**, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

**A los maestros**, aquellos que marcaron cada etapa de mi camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de mi proyecto.

## **DEDICATORIA**

**A mi madre Silvia Shimura**, por darme la vida, quererme mucho y creer en mí. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti.

**A mi padre Osman Miranda**, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su apoyo incondicional.

**A mis abuelos, tías y primas**, por quererme y apoyarme siempre, esto también se lo debo a ustedes.

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

## ÍNDICE

### **CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN**

1.1. GENERALIDADES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. DISEÑO TEÓRICO	4
1.3.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA	4
1.3.2. PROBLEMA	5
1.3.3. OBJETIVOS	5
1.3.3.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.3.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4. DISEÑO METODOLÓGICO	6
1.4.1. UNIDAD DE ESTUDIO	6
1.4.2. POBLACIÓN	6
1.4.3. MUESTRA	6
1.4.4. MUESTREO	6
1.4.5. VARIABLES	6
1.4.6. MEDIOS	7
1.4.7. METODOLOGÍA	8
1.5. ALCANCE	10

### **CAPÍTULO II.- EVALUACIÓN SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS Y SUS INDICADORES DE ESTADO**

2.1. PAVIMENTOS FLEXIBLE	12
2.2. PROPÓSITOS DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	14
2.3. CARACTERÍSTICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	17
2.4. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS	20
2.4.1. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	22
2.4.2. MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL	23
2.4.2.1. MÉTODO DE EVALUACIÓN PCI (PAVIMENTO CONDITION INDEX) ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	23
2.4.2.2. MÉTODO DE EVALUACIÓN PSI (PRESENT SERVICE INDEX) ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE	24
2.4.2.3. MÉTODO DE EVALUACION IRI (ÍNDICE DE RUGISIDAD INTERNACIONAL)	26
2.4.3. TIPO DE FALLAS	27
1) GRIETA PIEL DE COCODRILO	28
2) EXUDACIÓN DE ASFALTO	29
3) GRIETAS DE CONTRACCIÓN (BLOQUE)	30
4) ELEVACIONES – HUNDIMIENTOS	32
5) CORRUGACIONES	33
6) DEPRESIONES	34
7) GRIETAS DE BORDE	35
8) GRIETAS DE REFLEXIÓN DE JUNTAS	36
9) DESNIVEL CALZADA – HOMBRILLO	37
10) GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	38

11) BACHEO Y ZANJAS REPARADAS	39
12) AGREGADOS PULIDOS	40
13) HUECOS	41
14) REJILLAS DE DRENAJE - ACCESO A PUENTE	43
15) AHUELLAMIENTO	44
16) DEFORMACIÓN POR EMPUJE	45
17) GRIETAS DE DESLIZAMIENTO	46
18) HINCHAMIENTOS	47
19) DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN	48
2.4.4. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL	49
2.4.4.1. PERFILÓGRAFO LÁSER	49
2.4.4.2. DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO	50
2.4.4.3. RUEDA DE MERLÍN	51
2.5. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	54
2.5.1. ESTADO DE UNA CARRETERA	54
2.5.2. IRREGULARIDAD SUPERFICIAL	56
2.5.3. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL	56
2.5.4. CARACTERÍSTICAS DEL IRI	57
2.5.5. VENTAJAS DEL USO DEL IRI	58
2.6. MÉTODO POPUESTO PARA LA DETERMINACIÓN DE IRI (ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL)	59
2.7. PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN	60
2.6.1. INSPECCIÓN VISUAL	60
2.6.2. INVENTARIO	61
2.6.3. MEDICIÓN DE FALLAS SUPERFICIALES	62
2.6.3. RECOLECCIÓN MANUAL DE FALLAS	62
2.6.5. DIAGNÓSTICO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO	63
 <b>CAPÍTULO III.- APLICACIÓN PRÁCTICA</b>	
3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	64
3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO	66
3.3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA	70
3.4. DISTRIBUCIÓN DE LOS SEGMENTOS DE MEDICIÓN	73
3.5. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO	92
3.5.1. CUANTIFICACIÓN DE PORCENTAJES FALLAS Y DETERIOROS	92
3.5.2. APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR EL IRI	123
3.6. VALIDACIÓN	153
3.6.1. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL IRI	153
3.6.2. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PROGRAMA INPACO	157
3.6.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS	159
3.6.4. GRADO DE CONFIABILIDAD	162
3.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	164
 <b>CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
4.1. CONCLUSIONES	174

4.2. RECOMENDACIONES	177
<b>CAPÍTULO V.- BIBLIOGRAFÍA</b>	
5.1. BIBLIOGRAFÍA	178

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II.- EVALUACIÓN SUPERFICAL EN PAVIMENTOS Y SUS INDICADORES DE ESTADO

Fig. 2.1. Componentes del pavimento	14
Fig. 2.2. Distribución de cargas de tránsito	14
Fig. 2.3. Pavimento con impermeabilidad suficiente	15
Fig. 2.4. Resistencia a acción destructora de vehículos	15
Fig. 2.5. Resistencia a agentes atmosféricos	16
Fig. 2.6. Superficie de rodamiento que permita el tránsito	16
Fig. 2.7. Flexibilidad para adaptarse a fallas	16
Fig. 2.8. Índice de Servicio	20
Fig. 2.9. Nivel de Servicio	21
Fig. 2.10. Piel de Cocodrilo	27
Fig. 2.11. Exudación del Asfalto	28
Fig. 2.12. Grietas de Contracción (Bloque)	29
Fig. 2.13. Elevaciones – Hundimientos	30
Fig. 2.14. Corrugaciones	32
Fig. 2.15. Depresiones	33
Fig. 2.16. Grietas de borde	34
Fig. 2.17. Grietas de Reflexión de Juntas	35
Fig. 2.18. Desnivel de Calzada – Hombrillo	36
Fig. 2.19. Grietas Longitudinales y Transversales	37
Fig. 2.20. Bacheo y Zanjas Reparadas	38
Fig. 2.21. Agregados Pulidos	39
Fig. 2.22. Huecos	40
Fig. 2.23. Rejillas de drenaje – Acceso a puente	42
Fig. 2.24. Ahuellamiento	43
Fig. 2.25. Deformación por Empuje	44
Fig. 2.26. Grietas de deslizamiento	45
Fig. 2.27. Hinchamiento	46
Fig. 2.28. Disgregación y Desintegración	47
Fig. 2.29. Perfil Laser RSP-L5	48
Fig. 2.30. Deflectómetro de Impacto FWD	49
Fig. 2.31. Rueda de Merlín	51
Fig. 2.32. Planilla de la Rueda de Merlín	51
Fig. 2.33. Esquema de la Rueda de Merlín	51
Fig. 2.34. Esquema del Rugosímetro de Merlín	52
Fig. 2.35. Principio de operación del Rugosímetro Merlín	52
Fig. 2.36. Rango para evaluar el IRI	56
Fig. 2.37. Calificación del IRI	57

### CAPÍTULO III.- APLICACIÓN PRÁCTICA

Fig. 3.1. Tramo Av. Los Callejones – Carretera San Jacinto	62
Fig. 3.2. Tramo Av. Los Sauces	63
Fig. 3.3. Tramo Av. Julio Arce	63

Fig. 3.4. Tramo Carretera Puerta del Chaco – Canaletas	64
Fig. 3.5. Tramo Av. Los Callejones – Carretera San Jacinto	65
Fig. 3.6. Tramo Av. Los Sauces	66
Fig. 3.7. Tramo Av. Julio Arce	67
Fig. 3.8. Tramo Carretera Puerta de Chaco – Puente Jarcas	68
Fig.3.9. Área de estudio	69
Fig.3.10. Ubicación de fallas	69
Fig. 3.11. Medición de longitud de Fallas Superficiales con Flexómetro	70
Fig. 3.12. Vernier para medir el ancho de las fisuras	70
Fig.3.13. Ubicación de segmentos en tramo 1(Prog. 0+000-0+800)	72
Fig.3.14. Ubicación de segmentos en tramo 1(Prog. 0+800-1+700)	72
Fig.3.15. Segmento 1 (TRAMO 1)	73
Fig.3.16. Segmento 2 (TRAMO 1)	74
Fig.3.17. Segmento 3 (TRAMO 1)	74
Fig.3.18. Segmento 4 (TRAMO 1)	75
Fig.3.19. Segmento 5 (TRAMO 1)	75
Fig.3.20. Segmento 6 (TRAMO 1)	76
Fig.3.21. Segmento 7 (TRAMO 1)	76
Fig.3.22. Segmento 8 (TRAMO 1)	77
Fig.3.23. Segmento 9 (TRAMO 1)	77
Fig.3.24. Segmento 10 (TRAMO 1)	78
Fig.3.25. Ubicación de segmentos en tramo 2(Prog. 0+000-0+500)	78
Fig.3.26. Ubicación de segmentos en tramo 2(Prog. 0+000-0+500)	79
Fig.3.27. Segmento 11 (TRAMO 2)	80
Fig.3.28. Segmento 12 (TRAMO 2)	80
Fig.3.29. Segmento 13 (TRAMO 2)	81
Fig.3.30. Segmento 14 (TRAMO 2)	81
Fig.3.31. Segmento 15 (TRAMO 2)	82
Fig.3.32. Segmento 16 (TRAMO 3)	82
Fig.3.33. Segmento 17 (TRAMO 3)	83
Fig.3.34. Segmento 18 (TRAMO 3)	83
Fig.3.35. Segmento 19 (TRAMO 3)	84
Fig.3.36. Segmento 20 (TRAMO 3)	84
Fig.3.37. Ubicación de segmentos en tramo 3(Prog. 0+000-0+700)	85
Fig.3.38. Ubicación de segmentos en tramo 3(Prog. 0+700-1+500)	85
Fig.3.39. Segmento 21 (TRAMO 3)	86
Fig.3.40. Segmento 22 (TRAMO 3)	86
Fig.3.41. Segmento 23 (TRAMO 3)	87
Fig.3.42. Segmento 24 (TRAMO 3)	87
Fig.3.43. Segmento 25 (TRAMO 3)	88
Fig.3.44. Segmento 26 (TRAMO 3)	88
Fig.3.45. Segmento 27 (TRAMO 3)	89
Fig.3.46. Segmento 28 (TRAMO 3)	89
Fig.3.47. Segmento 29 (TRAMO 3)	90
Fig.3.48. Segmento 30 (TRAMO 3)	90
Fig. 3.49. Determinación área de estudio (Validación)	154
Fig. 3.50. Delimitación cada 50cm para obtener el perfil (Validación)	154

Fig. 3.51. Demarcación para obtener las cotas (Validación)	155
Fig. 3.52. Diagrama de puntos para la nivelación (Validación)	155
Fig. 3.53. Mira para lectura de cotas (Validación)	156
Fig. 3.54. Nivel de Ingeniero para lectura de cotas (Validación)	156
Fig. 3.55. Detalle del resultado que obtenemos del programa	158
Fig. 3.61. Gráfica IRI INDIRECTO y IRI DIRECTO (TRAMO1)	160
Fig. 3.61. Gráfica IRI INDIRECTO y IRI DIRECTO (TRAMO2)	161
Fig. 3.62. Gráfica IRI INDIRECTO y IRI DIRECTO (TRAMO3)	162

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II.- EVALUACIÓN SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS Y SUS INDICADORES DE ESTADO

Tabla 2.1. Valores para la determinación del PSI	24
Tabla 2.1. Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente	25
Tabla 2.3. Nivel de Severidad para Huecos	42
Tabla 2.4. Rango de Calificación del IRI	49

### CAPÍTULO III.- APLICACIÓN PRÁCTICA

TABLA 3.1. Segmentos de estudio (TRAMOS 1)	73
TABLA 3.2. Segmentos de estudio (TRAMOS 2)	79
TABLA 3.3. Segmentos de estudio (TRAMOS 3)	85
TABLA 3.4. Segmento 1 (TRAMO 1)	93
TABLA 3.5. Segmento 2 (TRAMO 1)	93
TABLA 3.6. Segmento 3 (TRAMO 1)	94
TABLA 3.7. Segmento 4 (TRAMO 1)	95
TABLA 3.8. Segmento 5 (TRAMO 1)	96
TABLA 3.9. Segmento 6 (TRAMO 1)	97
TABLA 3.10. Segmento 7 (TRAMO 1)	98
TABLA 3.11. Segmento 8 (TRAMO 1)	99
TABLA 3.12. Segmento 9 (TRAMO 1)	100
TABLA 3.13. Segmento 10 (TRAMO 1)	101
TABLA 3.14. Segmento 11 (TRAMO 2)	102
TABLA 3.15. Segmento 12 (TRAMO 2)	103
TABLA 3.16. Segmento 13 (TRAMO 2)	104
TABLA 3.17. Segmento 14 (TRAMO 2)	105
TABLA 3.18. Segmento 15 (TRAMO 2)	106
TABLA 3.19. Segmento 16 (TRAMO 2)	107
TABLA 3.20. Segmento 17 (TRAMO 2)	108
TABLA 3.21. Segmento 18 (TRAMO 2)	109
TABLA 3.22. Segmento 19 (TRAMO 2)	110
TABLA 3.23. Segmento 20 (TRAMO 2)	111
TABLA 3.24. Segmento 21 (TRAMO 3)	112
TABLA 3.25. Segmento 22 (TRAMO 3)	113
TABLA 3.26. Segmento 23 (TRAMO 3)	114
TABLA 3.27. Segmento 24 (TRAMO 3)	115
TABLA 3.28. Segmento 25 (TRAMO 3)	116
TABLA 3.29. Segmento 26 (TRAMO 3)	117
TABLA 3.30. Segmento 27 (TRAMO 3)	118
TABLA 3.31. Segmento 28 (TRAMO 3)	119
TABLA 3.32. Segmento 29 (TRAMO 3)	120
TABLA 3.33. Segmento 30 (TRAMO 3)	121
TABLA 3.34. Segmento 1 (Tramo 1)	123
TABLA 3.35. Segmento 2 (Tramo 1)	124
TABLA 3.36. Segmento 3 (Tramo 1)	125

TABLA 3.37. Segmento 4 (Tramo 1)	126
TABLA 3.38. Segmento 5 (Tramo 1)	127
TABLA 3.39. Segmento 6 (Tramo 1)	128
TABLA 3.40. Segmento 7 (Tramo 1)	129
TABLA 3.41. Segmento 8 (Tramo 1)	130
TABLA 3.42. Segmento 9 (Tramo 1)	131
TABLA 3.43. Segmento 10 (Tramo 1)	132
TABLA 3.44. Segmento 11 (Tramo 2)	133
TABLA 3.45. Segmento 12 (Tramo 2)	134
TABLA 3.46. Segmento 13 (Tramo 2)	135
TABLA 3.47. Segmento 14 (Tramo 2)	136
TABLA 3.48. Segmento 15 (Tramo 2)	137
TABLA 3.49. Segmento 16 (Tramo 2)	138
TABLA 3.50. Segmento 17 (Tramo 2)	139
TABLA 3.51. Segmento 18 (Tramo 2)	140
TABLA 3.52. Segmento 19 (Tramo 2)	141
TABLA 3.53. Segmento 20 (Tramo 2)	142
TABLA 3.54. Segmento 21 (Tramo 3)	143
TABLA 3.55. Segmento 22 (Tramo 3)	144
TABLA 3.56. Segmento 23 (Tramo 3)	145
TABLA 3.57. Segmento 24 (Tramo 3)	146
TABLA 3.58. Segmento 25 (Tramo 3)	147
TABLA 3.59. Segmento 26 (Tramo 3)	148
TABLA 3.60. Segmento 27 (Tramo 3)	149
TABLA 3.61. Segmento 28 (Tramo 3)	150
TABLA 3.62. Segmento 29 (Tramo 3)	151
TABLA 3.63. Segmento 30 (Tramo 3)	152
TABLA 3.64. Cotas para la determinación del IRI	157
TABLA 3.65. IRI calculado para segmento (TRAMO 1)	158
TABLA 3.66. IRI calculado para segmento (TRAMO 2)	159
TABLA 3.67. IRI calculado para segmento (TRAMO 3)	159
TABLA 3.68. Resumen de Variación Porcentual entre IRI (TRAMO 1)	160
TABLA 3.69. Resumen de Variación Porcentual entre IRI (TRAMO 2)	161
TABLA 3.70. Resumen de Variación Porcentual entre IRI (TRAMO 3)	162
TABLA 3.71. Grado de Confiabilidad (TRAMO 1)	163
TABLA 3.72. Grado de Confiabilidad (TRAMO 2)	164
TABLA 3.73. Grado de Confiabilidad (TRAMO 3)	164

## **ÍNDICE ANEXOS**

**ANEXO 1:** INVENTARIO DE FALLAS

**ANEXO 2:** PLANILLAS DE CÁLCULOS

**ANEXO 3:** PLANILLAS CÁLCULO DEL IRI – MODELO MATEMÁTICO

**ANEXO 4:** PLANILLA DE DATOS – INPACO

**ANEXO 5:** INPACO – CÁLCULO DEL IRI

**ANEXO 6:** REGISTRO FOTOGRÁFICO FALLAS SUPERFICIALES