

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



**“ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE
RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y LA MACROTEXTURA EN
LA CARRETERA TOMATITAS-ERQUIS”**

Por:

RAFAEL ANDRÉS ZENTENO ENCINAS

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 - 2022

TARIJA – BOLIVIA

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a **DIOS**, porque me dio el don de la perseverancia para alcanzar mis metas.

A mis padres **Andrés y Salomé**, ya que siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos.

A mi hermano **Fabio** y a mi prima **Ángeles** que me han apoyado en este logro.

A la Universidad que me abrió sus puertas para ser una mejor persona y un buen profesional.

A los docentes por sus enseñanzas para desarrollarme profesionalmente y haberme brindado todos sus conocimientos.

PENSAMIENTO:

“Porque aún no se haya hecho, no significa que sea imposible”.

Rafael Zenteno

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS

PENSAMIENTO

RESUMEN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	3
1.3. Planteamiento del problema	4
1.3.1. Situación problemática	4
1.3.2. Relevancia y factibilidad del problema	4
1.3.3. Delimitación temporal y espacial del problema	5
1.3.4. Problema	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	7
1.5. Alcance de la investigación	7
1.6. Hipótesis	8
1.7. Operacionalización de las variables	9
1.7.1. Variable Dependiente	9
1.7.2. Variable Independiente	10

CAPÍTULO II
COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y
MACROTEXTURA DEL PAVIMENTO

	Página
2.1. Pavimento flexible	11
2.2. Características de los pavimentos flexibles	12
2.3. Textura superficial de pavimentos flexibles	13
2.3.1. Funciones de la textura	14
2.3.2. Microtextura	15
2.3.3. Macrotextura	16
2.4. Fricción en pavimentos flexibles	17
2.4.1. Resistencia al deslizamiento	17
2.4.2. Factores que influyen en la resistencia al deslizamiento	18
2.4.3. Presencia de agua en la superficie	19
2.4.4. Hidroplaneo	19
2.5. Modelo de la PIARC	19
2.5.1. Índice de fricción internacional (IFI)	20
2.5.2. Determinación del parámetro Sp	20
2.5.3. Determinación del parámetro F60	21
2.5.4 Implementación del IFI	22
2.6 Método para determinar la macrotextura superficial del pavimento mediante ensayo del círculo de arena (ASTM E-965)	23
2.6.1 Descripción de la prueba del círculo de arena	23
2.6.2 Procedimiento	25
2.6.3 Equipo	26

2.6.4 Cálculo	27
2.6.5 Rangos de Textura	29
2.7 Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento con péndulo británico (ASTM E 274 AASHTO T278-90)	29
2.7.1 Descripción	29
2.7.2 Procedimiento	30
2.7.3 Equipo	35
2.7.4 Cálculo	35
2.7.5 Rangos de Fricción	37
2.8 Relación entre variables	38
2.8.1 La Estadística Descriptiva	38
2.8.1.1 La Media Aritmética	38
2.8.1.2 La Mediana	38
2.8.1.3 La Moda	39
2.8.1.4 El Rango	39
2.8.1.5 La Varianza	39
2.8.1.6 Desviación Estándar	40
2.8.2 Análisis de correlación	41
2.8.2.1 Correlación lineal y regresión lineal simple	41
2.8.2.2 Coeficiente de correlación de Pearson	43
2.8.2.3 Coeficiente de determinación	45
2.8.3 Regresión simple mediante STATGRAPHICS centurión	46
2.8.3.1 Modelos de calibración	46
2.8.3.2 Comparación de modelos de calibración	48

2.8.3.3 Gráfico del modelo ajustado	48
2.9 Conclusiones parciales	49

CAPÍTULO III

RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE DESLIZAMIENTO Y MACROTEXTURA

	Página
3.1 Unidades de estudio y decisión muestral	51
3.1.1 Unidad de estudio	51
3.1.2 Población	51
3.1.3 Muestra	51
3.1.4 Selección de las técnicas de muestreo	52
3.2 Métodos y técnicas empleadas	53
3.2.1 Métodos	53
3.2.2 Técnicas	54
3.3 Localización del tramo	54
3.3.1 Coordenadas Geográficas y UTM	56
3.3.2 Características del área de estudio	56
3.3.2.1 Clima y temperatura	56
3.3.2.2 Vegetación	57
3.4 Información del tramo	57
3.4.1 Acta de recepción definitiva de obra por administración directa	57
3.4.2 Características del proyecto	58
3.4.3 Parámetros de Diseño geométrico	62
3.5 Consideraciones iniciales	65
3.5.1 Clima	65

3.5.2 Temperatura	66
3.5.3 Neumáticos	66
3.6 Recolección de información	67
3.6.1 Metodología para la recolección de información	67
3.4.2 Medición de la macrotextura por medio de la prueba del círculo de arena (ASTM E-965)	68
3.4.3 Medición de la fricción por medio del péndulo británico- TRRL (ASTM E-274)	74

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1 Análisis de la relación entre coeficiente de resistencia al deslizamiento y macrotextura	81
4.1.1 Relación entre el coeficiente de resistencia al deslizamiento y la macrotextura	81
4.1.2 Rangos de macrotextura	83
4.1.2.1 Rango de Macrotextura 0,46 a 0,57 mm	86
4.1.2.2 Rango de Macrotextura 0,57 a 0,59 mm	87
4.1.2.3 Rango de Macrotextura 0,59 a 0,90 mm	88
4.1.2.4 Gráficos del modelo ajustado para cada rango	89
4.2 Interpretación del coeficiente de correlación (r)	93
4.3 Interpretación del coeficiente de determinación (r^2)	96
4.4 Estadística descriptiva	97
4.5 Análisis de resultados de macrotextura y coeficiente de resistencia al deslizamiento	100
4.5.1 Carril derecho (Ida)	101

4.5.2 Carril izquierdo (Vuelta)	104
4.6 Análisis de resultados del IFI (índice de fricción internacional)	108
4.6.1 Cálculo del IFI (F60, Sp)	108
4.6.2 IFI (F60, Sp) del carril derecho (Ida)	109
4.6.3 IFI (F60, Sp) del carril izquierdo (vuelta)	111
4.7 Propuestas en el tramo estudiado respecto a los parámetros de investigación en el presente y futuro	114
4.7.1 Tratamientos superficiales simple	115
4.7.2 Micropavimento	116

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 Conclusiones	118
5.2 Recomendaciones	121

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1 Medición de macrotextura y coeficiente de resistencia al deslizamiento

ANEXO 2 Planillas de cálculo

ANEXO 3 Correlación mediante programa STATGRAPHICS centurión

ANEXO 4 Datos meteorológicos

ANEXO 5 Información del tramo Tomatitas-Erquis

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1 Estructura de un pavimento flexible	11
Figura N° 2 Macrotextura y Microtextura del pavimento	13
Figura N° 3 Representación gráfica del fenómeno de hidroplaneo	19
Figura N° 4 Modelo del Índice de Fricción Internacional, según documento PIARC	23
Figura N° 5 Circulo de arena (ASTM E-965)	24
Figura N° 6 Esquema del ensayo de macrotextura superficial	28
Figura N° 7 Medición de la macrotextura superficial con técnica volumétrica	28
Figura N° 8 Péndulo Británico TRRL	30
Figura N° 9 Representación gráfica de cada tipo de diagrama de correlación	44
Figura N° 10 Modelo del gráfico ajustado	49
Figura N° 11 Provincia Méndez	55
Figura N° 12 Foto Satelital mediante Google Earth	55
Figura N° 13 Coordenadas UTM del tramo	56
Figura N° 14 Plano de Ubicación Proyecto “Asfaltado Erquis Norte-Cruce Cadillar”	60
Figura N° 15 Limpieza de la superficie del pavimento	68
Figura N° 16 Verificación del Volumen y Peso	69
Figura N° 17 Esparcido del material	69
Figura N° 18 Medición del diámetro	70
Figura N° 19 Armado del equipo	74
Figura N° 20 Verificación del área de contacto	75
Figura N° 21 Mojado de la superficie	75
Figura N° 22 Registro de la temperatura	76
Figura N° 23 Coeficiente de fricción contra el número de pasadas	82
Figura N° 24 Valores porcentuales de la resistencia al deslizamiento carril derecho	103
Figura N° 25 Valores porcentuales de la macrotextura carril derecho	104

Figura N° 26 Valores porcentuales de la resistencia al deslizamiento carril izquierdo.....106

Figura N° 27 Valores porcentuales de la macrotextura carril izquierdo 107

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1 Ubicación geográfica del tramo	6
Tabla N° 2 Conceptualización de la variable dependiente	9
Tabla N° 3 Conceptualización de variable independiente	10
Tabla N° 4 Valores de fricción con Péndulo Británico TRRL	15
Tabla N° 5 Textura en pavimentos para el círculo de arena	16
Tabla N° 6 Valores de a y b para la estimación de la constante de velocidad	21
Tabla N° 7 Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo	21
Tabla N° 8 Valores de A y B para estimar la fricción (F60)	22
Tabla N° 9 Textura en pavimentos para el círculo de arena	29
Tabla N° 10 Registro de mediciones con péndulo británico	34
Tabla N° 11 Valores de fricción con Péndulo Británico	37
Tabla N° 12 Interpretación del valor de r	45
Tabla N° 13 Criterios de bondad de ajuste	46
Tabla N° 14 Modelos de calibración de STATGRAPHICS	47
Tabla N° 15 Muestreo estratigráfico	52
Tabla N° 16 Coordenadas geográficas del tramo	56
Tabla N° 17 Especies nativas de flora	57
Tabla N° 18 Velocidades directrices según Normas S'90	63
Tabla N° 19 Distancias mínimas de visibilidad de frenado en m.	63
Tabla N° 20 Distancias mínimas de visibilidad de sobrepaso en m.	64
Tabla N° 21 Pendiente Longitudinales Máximas	64
Tabla N° 22 Ancho de calzada y berma	65
Tabla N° 23 Tabla de datos del círculo de arena	70
Tabla N° 24 Macrotextura por progresiva	72
Tabla N° 25 Tabla de datos del péndulo británico TRRL	76
Tabla N° 26 Coeficiente de resistencia al deslizamiento por progresiva	79
Tabla N° 27 Rangos de Macrotextura	85
Tabla N° 28 Coeficientes rango 0,46 a 0,57	86

Tabla N° 29 Coeficientes rango 0,57 a 0,59	87
Tabla N° 30 Coeficientes rango 0,59 a 0,90	88
Tabla N° 31 Coeficiente de correlación	93
Tabla N° 32 Coeficiente de determinación	96
Tabla N° 33 Frecuencias de las variables	97
Tabla N° 34 Tabla de frecuencias de variable independiente macrotextura	98
Tabla N° 35 Tabla de frecuencias de variable dependiente coeficiente de resistencia al deslizamiento	99
Tabla N° 36 Valores generales de resistencia al deslizamiento y macrotextura carril derecho	101
Tabla N° 37 Valores generales de resistencia al deslizamiento y macrotextura carril izquierdo	104
Tabla N° 38 Determinación del IFI carril derecho	109
Tabla N° 39 cálculo de fricción a diferentes velocidades carril derecho	111
Tabla N° 40 Determinación del IFI carril izquierdo	111
Tabla N° 41 Cálculo de fricción a diferentes velocidades carril izquierdo	113
Tabla N° 42 Resultados del IFI, calificación de textura y fricción	113
Tabla N° 43 Resultados del coeficiente de correlación y de determinación	119
Tabla N° 44 Valor-P de los modelos elaborados	120

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico N° 1 Corrección de temperatura	36
Gráfico N° 2 Formula para calcular F_c20°	37
Gráfico N° 3 Gráfico del modelo ajustado rango 0,46 a 0,57 mm	90
Gráfico N° 4 Gráfico del modelo ajustado rango 0,57 a 0,59 mm	91
Gráfico N° 5 Gráfico del modelo ajustado rango 0,59 a 0,90 mm	92
Gráfico N° 6 Tendencia del coeficiente de resistencia al deslizamiento respecto a la macrotextura en la carretera Tomatitas-Erquis	94
Gráfico N° 7 Histograma de variable independiente Macrotextura	99
Gráfico N° 8 Histograma de variable dependiente coeficiente de resistencia al deslizamiento	100
Gráfico N° 9 Variación del coeficiente de fricción con la velocidad carril derecho	111
Gráfico N° 10 Variación del coeficiente de fricción con la velocidad carril izquierdo	113