

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



**“CORRELACIÓN ENTRE EL IFI Y LA DISTANCIA DE FRENADO
DE VEHÍCULO LIVIANO EN PAVIMENTO FLEXIBLE”**

POR:

ALEJANDRO RODRÍGUEZ MIRANDA

Proyecto de Ingeniería Civil II CIV – 502 presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**, como requisito para optar al Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II - 2019

TARIJA - BOLIVIA

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

**“CORRELACIÓN ENTRE EL IFI Y LA DISTANCIA DE FRENADO
DE VEHÍCULO LIVIANO EN PAVIMENTO FLEXIBLE”**

POR:

ALEJANDRO RODRÍGUEZ MIRANDA

SEMESTRE II - 2019

TARIJA - BOLIVIA

El tribunal calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidades del autor.

DEDICATORIA:

A mis padres y a toda mi familia por su paciencia y comprensión.

A los docentes que me facilitaron información y me guiaron en el proceso de la investigación y la realización del documento, a mis amistades que de una u otra manera me apoyaron y motivaron a seguir adelante.

**CAPITULO I
INTRODUCCIÓN**

	Página
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación problemática	2
1.2.1 Problema	3
1.2.2 Relevancia.....	3
1.2.3 Factibilidad del problema	3
1.2.4 Delimitación temporal y espacial del problema.....	3
1.3 Justificación	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Hipótesis.....	5
1.6 Operacionalización de las variables	5
1.6.1 Variable independiente	5
1.6.2 Variable dependiente	6
1.6.3 Variable interviniente.....	6
1.7 Identificación del tipo de investigación	6
1.8 Diseño metodológico	7
1.8.1 Unidad de estudio	7
1.8.2 Población.....	7
1.8.3 Muestra	7
1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo	7
1.9 Alcance de la investigación.....	7

**CAPITULO II
MARCO TEÓRICO**

	Página
2.1 Características superficiales e influencia en la interacción.....	10
2.1.1 Textura	11
2.1.1.1 Microtextura.....	12
2.1.1.2 Macrotextura.....	13
2.1.1.3 Megatextura	15
2.1.1.4 Regularidad superficial	16

2.1.2	Fricción o resistencia al deslizamiento	16
2.1.3	Medidas de la adherencia neumático-pavimento.....	17
2.1.4	Definición del modelo del índice de fricción internacional.....	19
2.1.5	Media aritmética	20
2.1.6	Mediana.....	20
2.1.7	Moda	20
2.1.8	Rango	20
2.1.9	Desviación media.....	21
2.1.10	Varianza	21
2.1.11	Desviación estándar	21
2.1.12	Coeficiente de variación	22
2.2	Distancia de frenado	22
2.2.1	Definición	22
2.2.2	Factores que influyen en la distancia de frenado	29
2.2.2.1	Los frenos.....	29
2.2.2.2	Los neumáticos	30
2.2.2.3	Frenar de forma progresiva.....	35
2.2.3	Método de cálculo.....	35

CAPITULO III
INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL EN LA
DISTANCIA DE FRENADO

	Página	
3.1	Criterios a utilizarse	38
3.1.1	Criterios de selección de calles	38
3.1.2	Criterios para el número de ensayos a realizar	38
3.2	Normativas empleadas.....	39
3.2.1	El método del círculo de arena (norma española: NLT-33S/92)	39
3.2.2	El péndulo de fricción. (ASTM E-303/83 ó NLT-175/92).....	39
3.2.3	Modelo de la PIARC.....	41
3.3	Levantamiento de la información.....	46
3.3.1	Método del círculo de arena.....	46
3.3.2	Método del péndulo inglés.....	48

3.3.3	Obtención de la distancia de frenado	50
3.3.4	Obtención de las Características de la Vía.....	53
3.4	Ubicación	54
3.4.1	Mapas.....	55
3.5	Control en el levantamiento de datos	58
3.6	Instrumentos empleados y materiales.....	58
3.6.1	Método círculo de arena.....	58
3.6.2	Método péndulo ingles.....	61
3.7	Especificaciones técnicas del vehiculo utilizado	67

CAPITULO IV
INVESTIGACIÓN DE LA CORRELACIÓN DE IFI Y LA DISTANCIA DE FRENADO

	Página	
4.1.1	Medidas de tendencia central..... 70	
4.1.2	Media aritmética	72
4.1.3	Mediana.....	72
4.1.4	Moda	72
4.1.5	Rango	72
4.1.6	Desviación media.....	73
4.1.7	Varianza	73
4.1.7.1	Poblacional.....	73
4.1.7.2	Muestral	73
4.1.8	Desviación estándar	74
4.1.9	Coefficiente de variación	74
4.2	Dispersión de puntos.....	75
4.3	Elección del modelo de mayor ajuste	81
4.4	Análisis de correlación.....	86
4.4.1	Coefficiente de correlación	86
4.4.2	Coefficiente de determinación	87
4.4.3	Gráfica de resultados superficie seca.....	88
4.4.4	Gráfica de resultados superficie húmeda	89

**CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	Página
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1 Conclusiones	91
5.2 Recomendaciones	92
Bibliografía	94

ÍNDICE DE ANEXOS

A.1. Distancia de frenado.
A.2. Círculo de arena.
A.4. Péndulo inglés.
A.4. Cálculo de IFI.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variable independiente.	5
Tabla 2. Variable dependiente.	6
Tabla 3. Variable interviniente	6
Tabla 4. Irregularidades de un pavimento (flexible o rígido).	11
Tabla 5. Relación de velocidad y distancia de frenado.	36
Tabla 6. Corrección por temperatura.	41
Tabla 7. Criterio para evaluar la fricción en la superficie de pavimento.	46
Tabla 8. Características de las vías.	54
Tabla 9. Medidas de tendencia central (distancia de frenado en seco).	70
Tabla 10. Medidas de tendencia central (distancia de frenado húmedo).	71
Tabla 11. Puntos levantados (superficie seca).	75
Tabla 12. Puntos levantados (superficie húmeda).	76
Tabla 13. Constantes de las ecuaciones correlacionadas.	82
Tabla 14. Ecuaciones correlacionadas.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Influencia de irregularidades superficiales en la interacción veh./sup.	12
Figura 2. Concepto de microtextura y macrotextura.	13
Figura 3. Efecto de la macrotextura sobre el coeficiente de deslizamiento.	14
Figura 4. Zonas de contacto neumático-pavimento en condiciones húmedas.	15
Figura 5. Tipos de lesiones en víctimas de accidentes.	23
Figura 6. Probabilidad de sufrir una lesión mortal para un peatón atropellado.	24
Figura 7. Comparación de choques a diferentes velocidades con caídas de altura. ..	24
Figura 8. Ángulos de visión del conductor según la velocidad.	25
Figura 9. Relación de velocidad con distancia de reacción y frenado.	26
Figura 10. Distancia de reacción a diferentes velocidades.	26
Figura 11. Distancia teórica de parada en condiciones óptimas.	28
Figura 12. Frenos de disco.	30
Figura 13. Estructura de los neumáticos.	30
Figura 14. Neumáticos de vehículos automotores.	32
Figura 15. Estado de la vía.	33
Figura 16. Pendiente de la vía.	34
Figura 17. Distancia de frenado.	36
Figura 18. Método del círculo de arena.	39
Figura 19. Equipo péndulo de fricción inglés.	40
Figura 20. Curva de fricción - velocidad de deslizamiento	42
Figura 21. Valores de las constantes a y b con base en la correlación de Vp (con un equipo A8) con GVp usando el modelo PIARC $V_p = a (b \cdot T_x)$.	43
Figura 22. Valores de las constantes AyB basándose en la correlación de F60 (con equipo A1 4 como medida de microtextura) con GF60 usando el modelo PIARC y donde Vp se determinó usando MTD	44
Figura 23. Curva de fricción - velocidad de deslizamiento (Proceso de Armonización)	45
Figura 24. Realización de ensayo de círculo de arena.	46
Figura 25. Círculo de arena.	47
Figura 26. Método del péndulo inglés.	48
Figura 27. Ejecución de la prueba en pavimento seco.	51
Figura 28. Ejecución de la prueba en pavimento húmedo.	52
Figura 29. Verificación de la presión del neumático.	52

Figura 30. Verificación del testigo de fondo del neumático.	53
Figura 31. Costanera del Sur (Av. Heriberto Trigo hasta calle Gustavo Ruiz).	55
Figura 32. Av. Víctor Paz (carril medio desde calle España hasta calle Padilla)....	55
Figura 33. Av. La Banda (puente Bicentenario hasta Univ. Domingo Savio).	56
Figura 34. Av. Julio Echazú (Av. Defensores del Chaco hasta Av. Jaime Paz).	56
Figura 35. B/ Luís de Fuentes Av. Oscar Vargas (calle s/n hasta Av. Los Sauces). .	57
Figura 36. Av. Héroes del Chaco (calle Los Lapachos hasta Av. Electo Díaz).....	57
Figura 37. Dispersión de puntos con superficie seca a 40 km/hr.	77
Figura 38. Dispersión de puntos con superficie seca a 50 km/hr.	77
Figura 39. Dispersión de puntos con superficie seca a 60 km/hr.	78
Figura 40. Dispersión de puntos con superficie seca a 70 km/hr.	78
Figura 41. Dispersión de puntos con superficie húmeda a 40 km/hr.	79
Figura 42. Dispersión de puntos con superficie húmeda a 50 km/hr.	79
Figura 43. Dispersión de puntos con superficie húmeda a 60 km/hr.	80
Figura 44. Dispersión de puntos con superficie húmeda a 70 km/hr.	80
Figura 45. Modelo polinómico.	81
Figura 46. Modelo de regresión ajustado (superficie seca) a 40 km/hr.	82
Figura 47. Modelo de regresión ajustado (superficie seca) a 50 km/hr.	83
Figura 48. Modelo de regresión ajustado (superficie seca) a 60 km/hr.	83
Figura 49. Modelo de regresión ajustado (superficie seca) a 70 km/hr.	84
Figura 50. Modelo de regresión ajustado (superficie húmeda) a 40 km/hr.	84
Figura 51. Modelo de regresión ajustado (superficie húmeda) a 50 km/hr.	85
Figura 52. Modelo de regresión ajustado (superficie húmeda) a 60 km/hr.	85
Figura 53. Modelo de regresión ajustado (superficie húmeda) a 70 km/hr.	86
Figura 54. Correlación del IFI vs. distancia de frenado para superficie seca.	88
Figura 55. Correlación del IFI vs. distancia de frenado para superficie húmeda. ..	89