

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN**



**“EVALUACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE
ROLLOVER DE VEHÍCULOS PESADOS CON LA TEORÍA DE LA
CONFIABILIDAD”**

Por:

RUBEN JUAN HUANCA CONDORI

SEMESTRE – II/2018

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN**

**“EVALUACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE
ROLLOVER DE VEHÍCULOS PESADOS CON LA TEORÍA DE LA
CONFIABILIDAD”**

Por:

RUBEN JUAN HUANCA CONDORI

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/2018

TARIJA - BOLIVIA

Dedicatoria:

El presente proyecto está dedicado a Dios a mis padres Juan Huanca Alvarez y Benita Condori Pacheco, también a mis hermanos, amigos por su ayuda y apoyo constante.

Agradecimiento:

Agradecer a Dios por la fortaleza que me dio para seguir y cumplir este proyecto de grado tan anhelado.

Así como también agradecer a mi docente guía de proyecto de grado en la parte de ingeniería y en la parte de estadística a la Lic. Roxana Alemán Castillo por su ayuda y comprensión.

ÍNDICE

Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Resumen.....	iii

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3.1. Situación problemica.....	4
1.3.2. Problema.....	4
1.4. OBJETIVO.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. HIPÓTESIS.....	6
1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES.....	6
1.6.1. Variables independientes.....	6
1.6.2. Variables dependientes.....	6
1.6.3. Conceptualización y operacionalización de variables.....	6
1.7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	7
1.7.1. Componentes.....	7

1.7.1.1. Unidad de estudio.....	7
1.7.1.2. Población.....	7
1.7.1.3. Muestra.....	7
1.7.1.4. Muestreo.....	7
1.8. MÉTODOS Y TÉCNICA EMPLEADAS.....	8
1.8.1. Selección de métodos y técnicas.....	8
1.8.2. Técnicas de muestreo.....	9
1.8.2.1. Probabilísticas aleatorio simple.....	9
1.8.2.2. No Probabilísticas.....	10
1.8.3. Descripción de los instrumentos para la obtención de datos.....	10
1.8.4. Procedimiento de aplicación.....	11
1.8.5. Preparación previa para la aplicación de instrumentos, requisitos y condiciones para la aplicación.....	12
1.9. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	13
1.10. ALCANCE DEL ESTUDIO.....	13

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES QUE ENGLOBAN EL ESTUDIO DEL

ROLLOVER

2.1. ANTECEDENTES SOBRE EL PAVIMENTO.....	15
2.1.1. Definición de pavimento.....	15
2.1.2. Función de un pavimento.....	15
2.1.3. Componentes de un pavimento.....	15

2.1.4. Tipos de pavimento.....	17
2.1.4.1. Pavimento flexible.....	17
2.1.4.2. Pavimento rígido.....	17
2.1.4.3. Pavimento semirrígidos.....	18
2.2. El VEHÍCULO.....	18
2.2.1. Generalidades.....	18
2.2.2. Clasificación y características del vehículo de proyecto.....	19
2.2.2.1. Vehículo ligero de proyecto.....	19
2.2.2.1. Vehículo pesado de proyecto.....	19
2.2.3. Clasificación vehicular por tipo de ejes según la Administradora Boliviana de Carreteras ABC.....	20
2.2.4. Altura al centro de gravedad de vehículos.....	21
2.2.5. Trocha de vehículos.....	21
2.2.6. Altura al centro de balanceo.....	22
2.3. VELOCIDADES DE TRÁFICO.....	23
2.3.1. Definición de velocidad en general.....	23
2.3.2. Velocidad de punto.....	24
2.3.3. Velocidad de proyecto.....	24
2.3.4. Estudio de la velocidad de punto.....	25
2.3.5. Radio de giro.....	25
2.4. FUERZA CENTRÍFUGA.....	26
2.5. ACCIDENTALIDAD.....	28
2.5.1. Generalidades.....	28
2.5.2. Estudio de accidentes.....	29
2.5.2.1. Causas aparentes y reales.....	29
2.5.3. Causas de los accidentes.....	30

2.6. SEGURIDAD VIAL.....	31
2.7. VOLUMEN DE TRÁNSITO.....	33
2.8. AFOROS.....	33
2.8.1. Métodos de aforo.....	34
2.8.1.1. Aforos manuales.....	34
2.8.1.2. Aforos automáticos.....	34
2.8.1.3. Aforos móviles.....	35
2.8.1.4. Aforos fotográficos.....	35
2.9. EL FENOMENO DEL ROLLOVER.....	35
2.9.1. Aceleración lateral.....	37
2.9.2. Aceleración latería teórica.....	38
2.10. MODELOS DE ROLLOVER EXISTENTES.....	38
2.10.1. Modelos de rollover estático.....	38
2.10.2. Modelo de rollover Dinámico.....	39
2.11. MODELOS DE UMBRAL ESTÁTICO DE ROLLOVER.....	40
2.11.1. El modelo de W. Kühn (2013).....	40
2.11.2. El modelo de Thomas D.Gillespie (1992).....	40
2.12. TEORÍA DE LA CONFIABILIDAD.....	41
2.12.1. Antecedentes.....	41
2.12.2. Principios básicos de la teoría de la confiabilidad.....	42
2.12.2.1. Objetivo.....	42
2.12.2.2. Modelación de incertidumbres.....	42
2.12.2.3. Funciones de estado límite y variables básicas.....	43
2.12.3. Coeficiente de seguridad global.....	44
2.12.3.1. Fundamento teórico.....	44
2.12.4. Confiabilidad y probabilidad de falla.....	45

2.13. MÉTODOS APROXIMADOS DE CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD.....	47
2.14. CURVA DE FRAGILIDAD.....	47
2.15. MÉTODO DE ANÁLISIS DE PRIMER ORDEN (FORM).....	48
2.16. ÍNDICE DE CONFIABILIDAD DE HASOFER-LIND.....	49

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ACCIDENTOLOGÍA EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	51
3.1.1. Informe de accidentes en la zona de estudio por medio de periódicos locales.....	51
3.1.2. Informe de accidentes en la zona de estudio por parte de la unidad de tránsito.....	53
3.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	53
3.3. SELECCIÓN Y GEOMETRÍA DE VEHÍCULOS PESADOS A ESTUDIO.....	56
3.3.1. Selección de vehículos pesados de carácter de estudio.....	56
3.3.2. Geometría de los vehículos pesados.....	59
3.3.2. Carga de los vehículos pesados.....	61
3.4. DISEÑO FINAL ASFALTADO TRAMO VIAL “CAMPO PAJOSO – CARAPARÍ-PALOS BLANCOS “.....	62
3.4.1. Clasificación de la carretera.....	62
3.4.2. Parámetros de diseño.....	62
3.5. IDENTIFICACIÓN Y GEOMETRÍA DE LAS CURVAS HORIZONTALES A ESTUDIO.....	64
3.5.1. Curvas horizontales a estudio.....	64

3.5.2. Geometría de curvas horizontales.....	64
3.6. AFORO DE VELOCIDADES DE PUNTO EN CURVAS HORIZONTALES.....	66
3.6.1. Puntos de aforo.....	67
3.6.2. Preparación previa para el aforo de velocidades.....	69
3.7. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS A SER UTILIZADOS.....	71
3.8. VELOCIDADES DE PUNTO AFORADAS.....	72
3.9. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	79
3.9.1. Funciones de estado límite.....	79
3.9.2. Datos de entrada.....	80
3.10. APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LA CONFIABILIDAD.....	82
3.10.1. Aplicación del método de primer orden FORM.	82
3.10.2. Aplicación del índice de confiabilidad de Hasofer –Lind y probabilidad de falla.....	87
3.11. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS PROBABILIDADES OBTENIDOS.....	104
3.11.1. Propuesta de acción.....	109
3.11.2. Señales horizontales.....	109
3.11.2.1. Bandas alertadoras.....	109
3.11.2.2. Pintura vial para velocidad máxima.....	111
3.11.3. Señales verticales.....	112
3.11.3.1. Señales preventivas.....	112
3.11.3.1. Señales reglamentarias.....	114
3.11.4. Especificaciones técnicas.....	115
3.11.4.1. Construcción de señales verticales.....	115

3.11.4.2. Construcción de señales horizontales.....	117
3.11.5. Costo de la propuesta de acción.....	119
3.11.6. Comparación de las normativas de diseño geométrico del SNC con la ABC.....	120
3.11.6.1. Radios mínimos para curvas horizontales.....	121

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES.....	123
4.2. RECOMENDACIONES.....	124
 BIBLIOGRAFÍA.	 126

ANEXOS

ANEXOS A Informe de accidentes en la zona de estudio por parte de la unidad de tránsito.

ANEXOS B Plano de diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso -Caraparí-Palos Blancos “

ANEXOS C Planillas de aforos realizados en el tramo de estudio y análisis estadístico.

ANEXOS D Aplicación del muestro aleatorio sin reposición utilizando la calculadora de números aleatorios.

ANEXOS E Velocidades media de punto en curvas horizontales

ANEXOS F Índice de seguridad global, probabilidades de falla y confiabilidad

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Sección típica de un pavimento.....	16
Figura 2.2. Clasificación vehicular por tipo de ejes.....	20
Figura 2.3. Trocha de vehículo.....	21
Figura 2.4. Centro de balanceo.....	22
Figura 2.5. Estabilidad del vehículo en curva.....	27
Figura 2.6. Fuerza centrífuga.....	28
Figura 2.7. Accidente por exceso de velocidad.....	31
Figura 2.8. Causa del accidente por falla de camino.....	31
Figura 2.9. Relación porcentual de causas que ocasionaron accidentes de tránsito a nivel nacional en el año 2013.....	32
Figura 2.10. Fuerzas actuantes sobre un vehículo en una curva horizontal.....	37
Figura 2.11. Gráfico de incertidumbre.....	43
Figura 2.12. Ilustración de la integración de la probabilidad de falla en dos dimensiones.....	46
Figura 2.13. Ilustración de la integración de la probabilidad de falla en tres dimensiones.....	46
Figura 2.14. Ejemplo de curva de fragilidad.....	48
Figura 3.1. Accidentes de tránsito de vehículos pesados ocurridos en la zona de estudio.....	52
Figura 3.2. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	54
Figura 3.3. Imagen de inicio del tramo en estudio, letrero de ruta y distancia a Caraparí.....	55
Figura 3.4. Vista satelital del tramo en estudio.....	55

Figura 3.5. Camión grande tipo C2 mayor a 10 Ton de 2 ejes.....	56
Figura 3.6. Camión semirremolque (CSR).....	57
Figura 3.7. Semirremolque tipo tractocamión (CSR).....	58
Figura 3.8. Buses más de 35 pasajeros de 3 ejes tipo C3.....	58
Figura 3.9. Punto de aforo curva 6.....	67
Figura 3.10. Punto de aforo de la curva 8.....	67
Figura 3.11. Punto de aforo de la curva 5.....	68
Figura 3.12. Imagen del punto de aforo de la curva 14.....	69
Figura 3.13. Modelo de planilla de aforo.....	70
Figura 3.14. Cronometro.....	71
Figura 3.15. Huincha de lona.....	71
Figura 3.16. Curvas de fragilidad para el vehículo T1 curva 7.....	105
Figura 3.17. Curvas de fragilidad para el vehículo T1 curva 5.....	105
Figura 3.18. Curvas de fragilidad para el vehículo T2 curva 14.....	106
Figura 3.19. Curvas de fragilidad para el vehículo T3 curva 14.....	107
Figura 3.20. Curvas de fragilidad para el vehículo T4 curva 5.....	108
Figura 3.21. Bandas alertadoras.....	110
Figura 3.21. Reductores de velocidad con tachones.....	111
Figura 3.22. Pintura vial.....	111
Figura 3.23 Dimensiones en centímetros de la pintura vial.....	112
Figura 3.24. Señal preventiva de reductor de velocidad.....	113
Figura 3.25. Dimensiones de señal de resalto.....	114
Figura 3.26. Señal reglamentaria de velocidad máxima.....	115
Figura 3.27. Dimensiones de una señal vertical.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Conceptualización y operacionalización de variables.....	6
Tabla 1.2. Ecuaciones para determinar el tamaño de muestra.....	8
Tabla 3.1. Propiedades inerciales de la suspensión de los vehículos pesados.....	59
Tabla 3.2. Propiedades inerciales de los camiones unitarios C2Y C3.....	60
Tabla 3.3. Propiedades inerciales del camión unitario T3S3 vehículo de carga articulado que consta de un tractocamión de 3 ejes con un semirremolque de 3 eje.....	60
Tabla 3.4. Parámetros para el diseño geométrico planta y perfil longitudinal.....	63
Tabla 3.5. Planilla de alineamiento horizontal de diseño.....	65
Tabla 3.6. Radios y peraltes de las distintas curvas a ser evaluadas.....	66
Tabla 3.7. Velocidades medias (lunes)	73
Tabla 3.8. Velocidades medias (martes)	74
Tabla 3.9. Velocidades medias (miecoles).....	75
Tabla 3.10. Velocidades medias (jueves).....	76
Tabla 3.11. Velocidades medias (viernes).....	77
Tabla 3.12. Velocidades medias (sábado).....	78
Tabla 3.13. Variables geométricas de los tipos de vehículos pesados.....	80
Tabla 3.14. Variable geométrica de curvas horizontales.....	81
Tabla 3.15. Distribución normal de velocidades de punto.....	82
Tabla 3.16. Velocidades de estado límite para vehículos pesados T1.....	83
Tabla 3.17. Velocidades de estado límite para vehículos pesados T2.....	84
Tabla 3.18. Velocidades de estado límite para vehículos pesados T3.....	85
Tabla 3.19. Velocidades de estado límite para vehículos pesados T4.....	86

Tabla 3.20. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T1 suspensión aire modelo Kühn.....	88
Tabla 3.21. . Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T1 suspensión aire modelo Gillespie	89
Tabla 3.22. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T1 suspensión resorte modelo Kühn.....	90
Tabla 3.23. . Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T1 suspensión resorte modelo Gillespie	91
Tabla 3.24. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T2 suspensión aire modelo Kühn.....	92
Tabla 3.25. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T2 suspensión aire modelo Gillespie	93
Tabla 3.26. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T2 suspensión resorte modelo Kühn.....	94
Tabla 3.27. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T2 suspensión resorte modelo Gillespie	95
Tabla 3.28. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T3 suspensión aire modelo Kühn.....	96
Tabla 3.29. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T3 suspensión aire modelo Gillespie	97
Tabla 3.30. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T3 suspensión resorte modelo Kühn.....	98
Tabla 3.31. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T3 suspensión resorte modelo Gillespie	99
Tabla 3.32. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T4 suspensión aire modelo Kühn.....	100

Tabla 3.33. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T4 suspensión aire modelo Gillespie	101
Tabla 3.34. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T4 suspensión resorte modelo Kühn.....	102
Tabla 3.35. Estimación de la probabilidad de falla del vehículo T4 suspensión resorte modelo Gillespie	103
Tabla 3.36. Sectores topográficos.....	120
Tabla 3.37. Parámetros para diseño geométrico SNC.....	120
Tabla 3.38. Parámetros para diseño geométrico ABC.....	120
Tabla 3.39. Valores máximos para el peralte y la fricción transversal según ABC.	121
Tabla 3.40. Fricción lateral según SNC.....	121
Tabla 3.41. Radios mínimos en curvas horizontales según la ABC.....	122