

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA - MENCIÓN TRANSPORTE



Título:

***VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN
CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y
EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE
SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)***

Autor:

JUAN FELIPE RUIZ LOZANO

Director:

Mag. Ing. MARÍA GRACIELA BERARDO

Codirector:

M.Sc. Ing. JORGE GALARRAGA

TESIS DE MAESTRÍA DE TRANSPORTE

NOVIEMBRE DE 2018

RESUMEN

En el año 2010 la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes AASHTO publica el MANUAL DE SEGURIDAD VIAL - HSM (Highway Safety Manual), el cual, en su Volumen 2 incluye métodos predictivos de seguridad para estimar cuantitativamente la seguridad de una instalación de transporte por medio de las funciones de rendimiento de seguridad (SPF).

En el presente proyecto investigativo se presenta el Manual de Seguridad Vial (HSM) desde la aplicación del modelo predictivo presentado en el capítulo 11 del mismo, para estimar el número de accidentes en Vías Rurales de Múltiples Carriles del departamento de Cundinamarca en Colombia.

Después de la aplicación del modelo se buscó plantear una mejora al mismo identificando otros elementos de la infraestructura vial que podrían estar relacionados directamente en la frecuencia de accidentes en las vías rurales multicarril que no hubiesen sido considerados en el modelo del manual, a partir de lo cual se planteó un modelo nuevo incluyendo dos factores no considerados en el modelo original

Como una muestra de la aplicación práctica de estos modelos se evaluó económicamente el proyecto de mejoramiento de las características de diseño de una de las vías estudiadas, esperando que este tipo de evaluación se realice constantemente en las vías de tal manera que se proporcionen pautas para identificar oportunidades para mejorar la seguridad del transporte en América Latina.

PALABRAS CLAVES

Seguridad Vial, Transporte, Multicarril, HSM, Cundinamarca

ABSTRACT

In 2010, the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) published the Highway Safety Manual (HSM), which, in its second volume, includes predictive safety methods to quantitatively estimate the safety of transportation infrastructure through the use of safety performance functions (SPF).

In this research project, the predictive model in chapter 11 of the Highway Safety Manual is presented in order to estimate the number of accidents on rural multi-lane roads in the Department of Cundinamarca in Colombia.

After applying this model, an improvement was sought by identifying other elements of the infrastructures of these roads that could be directly related to the frequency of accidents on rural multi-lane roads and that had not been considered in the manual model. From this analysis, a new model, which includes two factors not considered in the original model, were proposed .

As an example of the practical application of these models, an economic evaluation was conducted on a project to improve the design characteristics of one of the roads studied in this paper. The goal is that this type of evaluation be carried out consistently on roads in such a way that guidelines are provided to identify opportunities to improve transportation safety in Latin America.

KEYWORDS

Road Safety, Transportation, Multi-lane, HSM, Cundinamarca.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN, HIPOTESIS, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	1.
1.1. INTRODUCCIÓN	1.
1.2. HIPOTESIS Y PREGUNTAS ORIENTADORAS	2.
1.3. OBJETIVOS	3.
1.3.1. Objetivo General	3.
1.3.2. Objetivos particulares	3.
1.4. METODOLOGÍA	3.
1.5. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	3.
2. ANTECEDENTES	5.
2.1. REVISIÓN DE TRABAJOS PREVIOS SOBRE EL TEMA EN ESTUDIO	5.
2.1.1. Validación de la aplicabilidad de la metodología del Highway Safety Manual - 2010 (HSM-2010) para la predicción del número de accidentes de tránsito de vías multicarril en la ciudad de Bogotá	5.
2.1.2. Incidencia de las características geométricas y de tránsito de vías en alta montaña y de bajas especificaciones geométricas sobre la accidentalidad “caso plan 2500: departamento del Quindío”.	5.
2.1.3. Obtención de factores de accidentalidad empleando el Highway Safety Manual para el mejoramiento de la seguridad vial en las intersecciones adyacentes a la carrera 21 con calle 11 en Bucaramanga	6.
2.1.4. Uso del módulo de predicción de accidentes (CPM) del IHSDM para evaluación de seguridad en segmentos de carreteras de dos carriles	6.
2.2. SEGURIDAD VIAL EN COLOMBIA	7.
2.2.1. Plan nacional de seguridad vial Colombia 2011 – 2016	7.
2.2.2. Programa de apoyo a la implementación de la política nacional de seguridad vial – BID	8.
3. MANUAL DE SEGURIDAD VIAL	9.
3.1. APLICACIÓN DEL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL	10.
3.2. VALOR DE UTILIZAR EL MANUAL DE SEGURIDAD	10.
3.3. CONTENIDO DEL MANUAL DE SEGURIDAD	11.
3.3.1. PARTE A Introducción, Factores Humanos y	

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Fundamentos	11.
3.3.2. PARTE B Proceso de Gestión de Seguridad Vial	11.
3.3.3. PARTE C Método Predictivo	12.
3.3.4. PARTE D Factores de Modificación de Accidentes (CMFs)	12.
3.4. METODO PREDICTIVO	13.
3.4.1. Descripción general del método predictivo del HSM	13.
3.4.2. Pasos del método predictivo	14.
4. VIAS RURALES DE MULTIPLES CARRILES	16.
4.1. FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE SEGURIDAD PARA SEGMENTOS CARRETERA MULTICARRIL DIVIDIDA	16.
4.2. FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACCIDENTES PARA LOS SEGMENTOS CARRETERA DIVIDIDA (CMFs)	17.
4.2.1. Ancho de Carril	17.
4.2.2. Ancho de Berma	19.
4.2.3. Mediana	19.
4.2.4. Iluminación	21.
4.2.5. Sistemas automatizados de control de la Velocidad	21.
4.3. ESPECIFICACIONES GENERALES DE DISEÑO	22.
4.3.1. Ancho de Carril	23.
4.3.2. Ancho de Berma	24.
4.3.3. Iluminación	24.
5. VIAS RURALES DE MULTIPLES CARRILES DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA	26.
5.1. VÍA BOGOTA- LA VEGA-HONDA (TRAYECTO PUENTE CORTIJO-EL VINO Y LA VEGA - VILLETA)	27.
5.1.1. Tramo 1 BOGOTÁ – SIBERIA	28.
5.1.2. Tramo 2 SIBERIA – PUENTE PIEDRA	29.
5.1.3. Tramo 3 PUENTE PIEDRA – CRUCE EL ROSAL	29.
5.1.4. Tramo 4 CRUCE EL ROSAL – EL VINO	30.
5.1.5. Tramo 5 EL VINO – LA VEGA	31.
5.1.6. Tramo 6 LA VEGA – VILLETA	32.
5.2. VIA BOGOTA – BRICEÑO -TUNJA (TRAYECTO BOGOTÁ CALLE 236 – EL SISGA)	32.
5.2.1. Tramo 7 BOGOTÁ – LA CARO	34.
5.2.2. Tramo 8 LA CARO – BRICEÑO	35.
5.2.3. Tramo 9 BRICEÑO – GACHANCIPÁ	35.
5.2.4. Tramo 10 GACHANCIPA – SESQUILE	36.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

5.2.5. Tramo 11 SESQUILE – SISGA	37.
5.3. VIA SOACHA- SILVANIA-GIRARDOT (TRAYECTO EMBALSE MUÑA –FUSAGASUGÁ - RICAURTE)	37.
5.3.1. Tramo 12 T DEL SALTO – SILVANIA	39.
5.3.2. Tramo 13 SILVANIA – FUSAGASUGA	39.
5.3.3. Tramo 14 FUSAGASUGA – CHINAUTA	40.
5.3.4. Tramo 15 DESCENSO BOQUERON	41.
5.3.5. Tramo 16 BOQUERON – MELGAR	42.
5.3.6. Tramo 17 MELGAR – RICAURTE	43.
5.3.7. Tramo 18 RICAURTE – GIRARDOT	44.
6. APLICACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA	45.
6.1. TRANSITO	46.
6.1.1. Relación TMDA - TMDS	48.
6.1.2. Estimación TMDA	49.
6.2. ACCIDENTES	50.
6.2.1. Base de datos ministerio de transporte	50.
6.2.2. Base de datos policía de carreteras de Cundinamarca	51.
6.2.3. Informe de accidentes de tránsito	53.
6.3. FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACCIDENTES (CMFS) PARA LOS TRAMOS EN ESTUDIO	55.
6.3.1. Ancho de Carril	55.
6.3.2. Ancho de Berma lateral derecha	59.
6.3.3. Ancho de Mediana	61.
6.3.4. Iluminación	63.
6.3.5. Presencia de controles automáticos de velocidad	65.
6.3.6. Resumen factores de modificación de accidentes (CMFs)	65.
6.4. FUNCIÓN DE DESEMPEÑO DE SEGURIDAD (SPF)	66.
6.5. FACTOR DE CALIBRACIÓN DE AJUSTE A CONDICIONES LOCALES	68.
6.6. FRECUENCIA MEDIA ESPERADA DE ACCIDENTES	70.
6.7. GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES	74.
6.7.1. Gravedad de los accidentes en los tramos Estudiados	76.
7. ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA SEGURIDAD	78.
7.1. HSM – CAPÍTULO 10. - CARRETERAS RURALES DE DOS CARRILES	79.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

7.1.1. Curvas Horizontales	80.
7.1.2. Peralte	81.
7.1.3. Pendiente	81.
7.1.4. Densidad de Accesos	81.
7.1.5. Costados del camino	82.
7.2. APLICACIÓN DE LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACCIDENTES PARA VÍAS RURALES DE DOS CARRILES EN VÁS MULTICARRIL	84.
7.3. MODELO PROPUESTO	90.
7.3.1. Vías de montañas	90.
7.3.2. Análisis	91.
7.3.3. Modelo predictivo propuesto	93.
8. EVALUACIÓN ECONÓMICA	95.
8.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA AMPLIACIÓN DE BERMA VÍA PUENTE DE PIEDRA – CRUCE EL ROSAL Y EL VINO USANDO EL MODELO PROPUESTO EN EL MANUAL	95.
8.1.1. Vida útil del proyecto	97.
8.1.2. Costo de implantación del proyecto	97.
8.1.3. Costos anuales de mantenimiento para la vida útil del proyecto	99.
8.1.4. Flujo de los costos anuales	100.
8.1.5. Costo medio anual de los accidentes ocurridos en el tramo antes de la realización de las obras	101.
8.1.6. Valor de la reducción de accidentes esperada para el primer año después de la implantación del proyecto (modelo HSM)	104.
8.1.7. Valor de la reducción de accidentes esperada para cada año de la vida útil del proyecto	106.
8.1.8. Valor Presente Neto (VPN) del proyecto	107.
8.1.9. Tasa Interna de Retorno	110.
8.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA AMPLIACIÓN DE BERMA VÍA PUENTE DE PIEDRA – CRUCE EL ROSAL Y EL VINO USANDO EL MODELO AJUSTADO	111.
8.2.1. Estimación de accidentes con las condiciones Iniciales	112.
8.2.2. Valor de la reducción de accidentes esperada para el primer año después de la implantación del proyecto	113.
8.2.3. Valor de la reducción de accidentes esperada para cada año de la vida útil del proyecto	115.
8.2.4. Valor Presente Neto (VPN) del proyecto	116.
8.2.5. Tasa Interna de Retorno	118.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	..... 120.
9.1. CONCLUSIONES	..... 120.
9.2. RECOMEDACIONES	..... 122.
10. BIBLIOGRAFÍA	..... 123.
ANEXOS	..... A-1.

INDICE DE FIGURAS

1. INTRODUCCIÓN, HIPOTESIS, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	1.
2. ANTECEDENTES	5.
3. MANUAL DE SEGURIDAD VIAL	9.
4. VIAS RURALES DE MULTIPLES CARRILES	16.
Figura 4.1. Ancho de Carril	17.
Figura 4.2. Ancho de Berma Lateral derecha	19.
Figura 4.3. Ancho de mediana	20.
Figura 4.4. Iluminación	21.
Figura 4.5. Sistemas automatizados de control de la velocidad	22.
Figura 4.6. Sección tipo para vías de doble calzada en el manual de diseño - INVIAS.	23.
5. VIAS RURALES DE MULTIPLES CARRILES DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA	26.
Figura 5.1. Localización departamento de Cundinamarca	26.
Figura 5.2. Topografía departamento de Cundinamarca	26.
Figura 5.3. Vía Bogotá – La Vega- Honda	28.
Figura 5.4. Altimetría trayecto	28.
Figura 5.5. Tramo 1. Bogotá – Siberia	28.
Figura 5.6. Sección tipo, tramo Bogotá – Siberia	29.
Figura 5.7. Tramo 2. Siberia- Puente Piedra	29.
Figura 5.8. Sección tipo, tramo Siberia- Puente Piedra	29.
Figura 5.9. Tramo 3. Puente Piedra – Cruce El Rosal	30.
Figura 5.10. Sección tipo, tramo Puente Piedra – Cruce El Rosal	30.
Figura 5.11. Tramo 4. Cruce El Rosal – El Vino	31.
Figura 5.12. Sección tipo, tramo Cruce El Rosal – El Vino	31.
Figura 5.13. Tramo 5. El Vino – La Vega	31.
Figura 5.14. Tramo 6. La Vega – Villeta	32.
Figura 5.15. Sección tipo, tramo La Vega Villeta	32.
Figura 5.16. Vía Bogotá - Briceño - Sisga	34.
Figura 5.17. Altimetría trayecto	34.
Figura 5.18. Tramo 7. Bogotá – La Caro	34.
Figura 5.19. Sección tipo, tramo Bogotá – La Caro	35.
Figura 5.20. Tramo 8. La Caro – Briceño	35.
Figura 5.21. Sección tipo, tramo La Caro – Briceño	35.
Figura 5.22. Tramo 9. Briceño – Gachancipá	36.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 5.23. Tramo 10. Gachancipá – Sesquilé	36.
Figura 5.24. Sección tipo, tramo Gachancipá – Sesquilé	37.
Figura 5.25. Tramo 11. Sesquilé – Sisga	37.
Figura 5.26. Sección tipo, tramo Sesquilé – Sisga	37.
Figura 5.27. Via Soacha – Silvania - Girardot	38.
Figura 5.28. Altimetría trayecto	38.
Figura 5.29. Tramo 12. T del Salto – Silvania	39.
Figura 5.30. Sección tipo, tramo T del Salto – Silvania	39.
Figura 5.31. Tramo 13. Silvania – Fusagasuga	40.
Figura 5.32. Sección tipo, tramo Silvania – Fusagasuga	40.
Figura 5.33. Tramo 14. Fusagasuga – Chinauta	40.
Figura 5.34. Sección tipo, tramo Fusagasuga – Chinauta	41.
Figura 5.35. Tramo 15. Descenso Boquerón	41.
Figura 5.36. Sección tipo, descenso Boquerón	41.
Figura 5.37. Tramo 16. Boquerón – Melgar. Vista en planta	42.
Figura 5.38. Tramo 16. Sección 1. Boquerón – Melgar	42.
Figura 5.39. Sección tipo 1, Boquerón – Melgar	43.
Figura 5.40. Tramo 16. Sección 2. Boquerón – Melgar	43.
Figura 5.41. Sección tipo 2, Boquerón – Melgar	43.
Figura 5.42. Tramo 17. Melgar Ricaurte	44.
Figura 5.43. Sección tipo, Melgar Ricaurte	44.
Figura 5.44. Tramo 18, Ricaurte – Girardot	44.

6. APLICACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO **45.**
DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

Figura 6.1. Localización Tramos analizados	45.
Figura 6.2. TMDs En vías de Cundinamarca año 2011	47.
Figura 6.3. Comparación bases de datos accidentes	53.
Figura 6.4. Informe de accidente de tránsito	53.
Figura 6.5. Mapa interactivo centro Pulitzer	54.
Figura 6.6. Muertes por accidentes por cada 100.000 hab	54.
Figura 6.7. Relación accidentes reportados frente a accidentes Estimados	55.
Figura 6.8. Ancho de Carril Tramo Puente Piedra – El Rosal	55.
Figura 6.9. Variación de berma en Tramo Bogotá Siberia.	59.
Figura 6.10 Presencia de obstáculos Tramo El Rosal- El Vino.	60.
Figura 6.11. Interrupción de la Berma Tramo Fusagasugá - Chinauta.	60.
Figura 6.12. Separador Tramo El Vino - La Vega	61.
Figura 6.13. Separador Tramo Sesquilé - El Sisga	61.
Figura 6.14. Separador Tramo T del Salto – Silvania	62.
Figura 6.15. Cabezote de Alcantarilla en Separador Tramo Melgar - Ricaurte	62.
Figura 6.16. Tramo Bogotá La Caro en la noche	63.
Figura 6.17. Accidentes Observados y Estimados	72.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 6.18. Comportamiento modelo / pendiente tramo	74.
Figura 6.19. N_{spf} por gravedad de accidentes para Segmentos Rurales Multicarril Divididos	75.
Figura 6.20. Accidentes con muertos y heridos, Observados y Estimados	77.
 7. ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA SEGURIDAD	 78.
Figura 7.1. Ejemplo de vía con RHR=1	83.
Figura 7.2. Ejemplo de vía con RHR=2	83.
Figura 7.3. Ejemplo de vía con RHR=3	83.
Figura 7.4. Ejemplo de vía con RHR=4	83.
Figura 7.5. Ejemplo de vía con RHR=5	83.
Figura 7.6. Ejemplo de vía con RHR=6	83.
Figura 7.7. Ejemplo de vía con RHR=7	83.
Figura 7.8. Tramo 3. Puente Piedra – Cruce Rosal	84.
Figura 7.9. Tramo 4. Cruce El Rosal – El Vino	84.
Figura 7.10. Tramos 3 y 4 vistos en planta	85.
Figura 7.11. Altimetría tramos 3 y 4	85.
Figura 7.12. Accidentes por milla Observados- Accidentes estimados modelo original y modelo capítulo 10, Tramo 3 y Tramo 4	89.
Figura 7.13. Accidentes por milla Observados- Accidentes estimados modelo original y modelo incluyendo curvatura horizontal, Tramo 3 y Tramo 4	92.
Figura 7.14. Accidentes por milla Observados- Accidentes estimados modelo original y modelo incluyendo curvatura horizontal y costados del camino, Tramo 3 y Tramo 4	92.
 8. EVALUACIÓN ECONÓMICA	 95.
Figura 8.1. Tramo 3. Puente Piedra – Cruce Rosal	95.
Figura 8.2. Tramo 4. Cruce El Rosal – El Vino	95.
Figura 8.3. Estructura de la vía	97.
 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 120.
 ANEXOS	 A-1.
Figura. A1.1. Variación de berma en Tramo Bogotá Siberia. La reducción de la berma lateral por presencia de obstáculos obliga a ciclistas y peatones a invadir el carril vehicular	A-2.
Figura A1.2. Circulación de ciclistas por actividad deportiva o recreativa sobre carril vehicular.	A-2.
Figura A1.3. Circulación de ciclistas por trabajo sobre carril	

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

vehicular.	.....	A-3.
Figura A1.4. Segregación entre vehículos y bicicletas en función de la velocidad y en tránsito.	.....	A-5.
Figura A1.5. Ciclovía en Tramo 18, Ricaurte – Girardot	.....	A-6.
Figura A1.6. Ciclovía paralela a vía Bogotá Mosquera Facatativá	.....	A-6.
Figura. A1.7. Cicloruta por la calle 80	.....	A-7.
Figura A1.8. Recorrido carril de circulación propuesto (azul) cicloruta calle 80 (rojo)	.....	A-8.
Figura A1.9. Sección propuesta tramo 1	.....	A-8.
Figura A1.10. Accidente Tramo 1	.....	A-9.
Figura A1.11. Detalle accidente	.....	A-9.

INDICE DE TABLAS

1. INTRODUCCIÓN, HIPOTESIS, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	1.
2. ANTECEDENTES	5
3. MANUAL DE SEGURIDAD VIAL	9.
4. VIAS RURALES DE MULTIPLES CARRILES	16.
Tabla 4.1. Coeficientes de regresión para carreteras multicarril Divididas	17.
Tabla 4.2. CMF para los tipos de colisión relacionados (CMFRA).	18.
Tabla 4.3. CMF para el ancho de berma lateral derecha para carretera multicarril dividida (CMF2rd)	19.
Tabla 4.4. CMF Por Ancho de mediana (CMF3rd)	20.
Tabla 4.5. Ancho de calzada INVIAS	23.
Tabla 4.6. Ancho de berma	24.
5. VIAS RURALES DE MULTIPLES CARRILES DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA	26.
Tabla 5.1. Ficha general Concesión Sabana de Occidente	27.
Tabla 5.2. Ficha general Unión Temporal Devinorte	33.
Tabla 5.3. Ficha general Consorcio Solarte Solarte	33.
Tabla 5.4. Ficha general Concesión Autopista Bogotá - Girardot S.A.	38.
6. APLICACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA	45.
Tabla 6.1. Resumen tramos analizados	45.
Tabla 6.2. T.M.D.A. (Veh/día) en estaciones de Peaje	46.
Tabla 6.3. T.M.D.S. (Veh/día) en los tramos analizados	47.
Tabla 6.4. Estimación del coeficiente K para los tramos con estación de peaje	49.
Tabla 6.5. Estimación del T.M.D.A. (Veh/día) en los tramos analizados	50.
Tabla 6.6. Presentación de información base de datos ministerio de transporte	50.
Tabla 6.7. Accidentes en los tramos analizados base de datos ministerio de transporte	51.
Tabla 6.8. Presentación de información pase de datos Policía de	

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Carreteras	51.
Tabla 6.9. Accidentes en los tramos analizados según base de datos de la Policía de Carreteras de Cundinamarca	52.
Tabla 6.10. Comparación bases de datos (año 2013)	52.
Tabla 6.11. CMFRA para tramos analizados	56.
Tabla 6.12. Base de datos Policía de Carreteras de Cundinamarca	56.
Tabla 6.13. Relación Hipótesis – Tipo de Accidentes	57.
Tabla 6.14. CMF1rd para diferentes p RA con ancho de carril de 3,50 m	58.
Tabla 6.15. CMF1rd para tramos analizados	58.
Tabla 6.16. CMF2rd para tramos analizados	60.
Tabla 6.17. CMF3rd para tramos analizados	62.
Tabla 6.18. Accidentes nocturnos	63.
Tabla 6.19. Calculo del CMF4rd	64.
Tabla 6.20. Cuadro resumen características de los tramos analizados	65.
Tabla 6.21. Factores de modificación de accidentes	66.
Tabla 6.22. Número base de accidentes por año para el total de accidentes	67.
Tabla 6.23. Número base de accidentes por año para accidentes con muertos y lesionados	67.
Tabla 6.24. Aplicación el modelo predictivo de la Parte C del Manual HSM 2010	68.
Tabla 6.25. Accidentes Observados- Accidentes estimados en el modelo	70.
Tabla 6.26. Relación datos observados/datos modelo	73.
Tabla 6.27. Comportamiento modelo / pendiente tramo	73.
Tabla 6.28. Coeficientes de regresión para carreteras multicarril Divididas	74.
Tabla 6.29. Distribución por gravedad de accidentes año 2013	76.
Tabla 6.29. Aplicación del modelo para accidentes con muertos y heridos	77.
 7. ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA	78.
VIAL EN LA SEGURIDAD	
Tabla 7.1. CMF por pendiente	81.
Tabla 7.2. Características geométricas de las curvas presentes en el tramo 4	85.
Tabla 7.3. Factores de modificación de accidentes por Curvas horizontales, Peralte, Inclinación, Densidad de accesos y Costado de camino	86.
Tabla 7.4. Accidentes Observados- Accidentes estimados según modelo del capítulo 11 del manual (HSM) para el tramo 3	87.
Tabla 7.5. Accidentes Observados- Accidentes estimados según	

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

modelo del capítulo 10 del manual (HSM) para el tramo 3	88.
Tabla 7.6. Accidentes Observados- Accidentes estimados según modelo del capítulo 11 del manual (HSM) para el tramo 4	88.
Tabla 7.7. Accidentes Observados- Accidentes estimados según modelo del capítulo 10 del manual (HSM) para el tramo 4	89.
Tabla 7.8. Correlación del Factor de Modificación por cada factor sobre el producto de los factores de modificación de accidentes	91.
 8. EVALUACIÓN ECONÓMICA	95.
 Tabla 8.1. Características de los tramos (Tramo 3 y Tramo 4)	96.
Tabla 8.2. Presupuesto ampliación de ancho de Berma Tramo 3 (de 1,60 a 2,50)	98.
Tabla 8.3. Presupuesto ampliación de ancho de Berma Tramo 4 (de 0,80 a 1,80)	99.
Tabla 8.4. Presupuesto ampliación de ancho de Berma Tramo 4 (de 0,80 a 2,44)	99.
Tabla 8.5. Costos anuales de mantenimiento	100.
Tabla 8.6. Flujo de los costos anuales (Valores en USD)	100.
Tabla 8.7. Costo Por Accidente en millones de pesos 2010.	101.
Tabla 8.8. Costo por gravedad de accidente en dólares	101.
Tabla 8.9. Distribución por gravedad de accidentes año 2013	101.
Tabla 8.10. Regresión para estimación de TMDA	102.
Tabla 8.11. Proyección del tránsito en la vida útil del proyecto	103.
Tabla 8.12. Costo de los accidentes producidos en el año cero (2016)	104.
Tabla 8.13. Valor de la reducción de accidentes esperada para el año 1 (2017)	106.
Tabla 8.14. Valor de la reducción de accidentes Tramo 3 y Tramo 4	107.
Tabla 8.15. Valor presente neto del proyecto Tramo 3	108.
Tabla 8.16. Valor presente neto del proyecto Tramo 4 (berma de 0,80 a 1,80)	108.
Tabla 8.17. Valor presente neto del proyecto Tramo 4 (berma de 0,80 a 2,44)	109.
Tabla 8.18. CMF6rd para tramo 3 y tramo 4	111.
Tabla 8.19. CMF6rd para tramo 3 y tramo 4	111.
Tabla 8.20. Valor de la reducción de accidentes Tramo 3 y tramo 4	115.
Tabla 8.21. Valor presente neto del proyecto Tramo 3 (de 1,60 a 2,50)	116.
Tabla 8.22. Valor presente neto del proyecto Tramo 4 (de 0,80 a 1,80)	117.
Tabla 8.23. Valor presente neto del proyecto Tramo 4 (de 0,80 a 2,44)	117.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Tabla 8.24. Tasa Interna de retorno	.....	119.
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	120.
ANEXOS	.....	A-1.
Tabla A1.1. Concepto de berma en normatividad para diferentes países	.....	A-3.
Tabla A1.2. Aforo en vía Bogotá la Vega Honda	.....	A-6.
Tabla A1.3. Anchos de fajas de bicicletas en zonas rurales	.....	A-7.

1. INTRODUCCIÓN, HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

1.1. INTRODUCCIÓN

En un intento por responder a la necesidad humana de movilizarse o de trasladar objetos, han surgido diferentes sistemas de transporte que han ido desde el uso de animales hasta complejos avances tecnológicos utilizados en la construcción de barcos, trenes, vehículos o aviones, pero de la mano con el desarrollo de estos sistemas se han incrementado los accidentes y con ellos pérdidas materiales o invaluable pérdida de vidas, causadas o relacionadas con el transporte a nivel mundial.

Considerando que el número de personas que son víctimas de accidentes y adquieren alguna discapacidad o que fallecen en los accidentes de tránsito se va incrementando día a día, la seguridad vial ha tomado vital importancia para la sociedad al punto que ya es comparable al de las enfermedades. Según la Organización Mundial de la Salud “Las lesiones causadas por el tránsito son la octava causa mundial de muerte, y la primera entre los jóvenes de 15 a 29 años. Las tendencias actuales indican que, si no se toman medidas urgentes, los accidentes de tránsito se convertirán en 2030 en la quinta causa de muerte.” (OMS, 2013, p.2.).

Desde que la sociedad inició a darle importancia al tema de seguridad vial, muchos han sido los esfuerzos para avanzar en este tema, ya sea en la implementación de medidas de protección como cinturones de seguridad o casco o mejorando las características de vehículos o de las propias vías, como es el caso del presente proyecto investigativo, para mejorar las condiciones que enfrenta el usuario y así presentar resultados significativos en la reducción de accidentes.

Para mejorar las condiciones de las vías buscando hacerlas más seguras, es necesario comprender como las características de la misma afectan en mayor o menor medida el número de accidentes, razón por la cual surge la necesidad de evaluar cuantitativamente la seguridad, y de esta manera realizar una valoración precisa que refleje el estado de una vía, de una intersección o de toda una red y la permita comparar adecuadamente frente a un diseño alternativo.

Es así como en el año 2010 la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes AASHTO publica el **MANUAL DE SEGURIDAD VIAL - HSM** (Highway Safety Manual) que en su Volumen 2 incluye métodos predictivos de seguridad que son utilizados para estimar cuantitativamente la seguridad de una instalación de transporte por medio de las **FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE SEGURIDAD - SPFs** (Safety performance functions).

Sin embargo, estas Funciones de Desempeño de Seguridad se han desarrollado para condiciones existentes en los Estados Unidos y debido a las diferencias en factores

como las condiciones climáticas, características de las vías y principalmente condiciones de los usuarios, los países de Latinoamérica tienen que utilizar Funciones de Desempeño de Seguridad calibradas para las condiciones de Cada País.

1.2. HIPOTESIS Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

Como hipótesis central de la presente investigación se plantea que:

El método predictivo propuesto por el Manual de Seguridad Vial (HSM 2010) para la frecuencia de accidentes en las vías rurales multicarril ha sido calibrado para las carreteras y condiciones existentes en los Estados Unidos de Norte América, por lo cual, podrían no considerar algunos factores o características de la vía que pueden ser relevantes en Colombia y cuya utilización podría mejorar las predicciones realizadas.

Partiendo de esta hipótesis se han planteado tres (3) preguntas centrales de este trabajo investigativo son las que se presentan a continuación:

1. ¿Existen diferencias significativas entre los resultados del modelo y los datos observados en terreno?

Para esto se propone aplicar el modelo tal y como se plantea en el Manual de Seguridad Vial, realizando un análisis comparativo los resultados obtenidos frente a los datos observados de accidentes de tránsito para los mismos tramos viales.

2. ¿Se puede construir un modelo, a partir del modelo del Manual de Seguridad Vial (HSM 2010) que se ajuste de una manera más adecuada las condiciones del entorno Colombiano?

A partir de los resultados de la anterior etapa, se buscará adaptar el modelo considerando otros factores que no sean incluidos en el mismo de tal forma que el nuevo modelo represente de forma más adecuada la información observada en terreno.

3. ¿El nuevo modelo es mejor que el modelo presentado en el Manual de Seguridad Vial?

Para desarrollar este punto es necesario establecer que para que el nuevo modelo sea mejor que el anterior se tendrán dos criterios: en primer lugar que los datos obtenidos del nuevo modelo se ajusten mejor a los datos observados y en segundo lugar que dicho modelo sea fácil de aplicar a otros tramos viales de similares características

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General:

El Objetivo central de este trabajo investigativo es evaluar cuantitativamente la seguridad vial de las vías locales en Cundinamarca a partir de la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo 11 del manual de seguridad vial (HSM 2010) la cual permite estimar la frecuencia media de accidentes en la vías rurales multicarril.

1.3.2. Objetivos particulares

- Caracterizar y aplicar la metodología establecida en el capítulo 11 del Manual de Seguridad Vial (HSM 2010) para estimar la frecuencia media de accidentes en las vías rurales multicarril.
- Identificar y caracterizar las condiciones de la vía, no incluidas en el modelo del manual que puedan ser representativas en la seguridad de la vía y que puedan servir como aporte a la construcción de un nuevo modelo.
- Evaluar la eficacia de realizar acciones de mejora en la vía, proyectadas desde el punto de vista de la seguridad vial, utilizando el modelo de estimación de accidentes.

1.4. METODOLOGÍA

La metodología del presente trabajo obedece a una investigación cuantitativa basada en una recopilación de datos y posterior análisis de estos mediante el uso de herramientas estadísticas o matemáticas.

La información ha sido obtenida de dos maneras: en primer lugar por medio de las diferentes entidades quienes colaboraron al presente proyecto y la segunda fue por medio de relevamientos de campo donde datos como anchos de calzada o berma fueron obtenidos directamente.

1.5. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

La presente Tesis se divide en tres partes, La primera parte (capítulos 1-4) busca introducir al lector tanto al tema de la seguridad vial como al manual de seguridad de la AASHTO, en la segunda parte (capítulos 5-6) más aplicativa, se emplea el modelo predictivo como lo presenta el manual y la última parte (capítulos 7-8) propone un modelo nuevo y este se aplica para evaluar económicamente, desde el punto de vista de la seguridad, la realización de mejoras en la vía.

1. INTRODUCCIÓN, HIPOTESIS, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA En la primera parte del presente documento se plantea la temática del trabajo y aspectos que comprenden su desarrollo

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

2. ANTECEDENTES El segundo capítulo busca ilustrar algunos trabajos de investigación relacionados con la aplicación del Manual de Seguridad Vial en Colombia, que anteceden al presente trabajo, así como una revisión del estado de la seguridad vial en Colombia.
3. MANUAL DE SEGURIDAD VIAL Este capítulo presenta una descripción del Manual de Seguridad Vial (Highway Safety Manual –HSM 2010) publicado por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes AASHTO, presentando el contenido del manual y describiendo en términos generales el método de predicción de accidentes propuesto en el mismo
4. VIAS RURALES DE MULTIPLES CARRILES Aquí se presenta el capítulo 11 del manual (HSM 2010) Vías Rurales de Múltiples Carriles, describiendo el método específico de predicción de accidentes para este tipo de vías
5. VIAS RURALES DE MULTIPLES CARRILES DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA El Capítulo 5 describe los tramos viales a ser analizados en el desarrollo del presente proyecto investigativo
6. APLICACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA En este capítulo se utiliza directamente del modelo predictivo del capítulo 11 del Manual de Seguridad Vial (HSM) para estimar el número de accidentes en los tramos seleccionados
7. ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA SEGURIDAD Posterior a la aplicación del modelo se buscó identificar otros elementos de la infraestructura vial que podrían estar relacionados directamente en la frecuencia de accidentes para el caso específico de las vías multicarril divididas que no hubiesen sido considerados en el capítulo 11 del manual, para lo cual se revisó el modelo presentado en el capítulo 10 del manual.

De la revisión de este modelo se plantea un modelo nuevo incluyendo dos factores no considerados en el modelo original
8. EVALUACIÓN ECONÓMICA Como forma de aplicación de los resultados de la presente investigación se evalúa económicamente el proyecto de mejoramiento de las características de diseño de una de las vías estudiadas, comparando los costos de hacerla más segura, frente a los beneficios por reducción del número de accidentes.
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Por último, y a manera de cierre del presente documento, se presentan las conclusiones y los resultados del presente proyecto investigativo a partir del análisis de los datos obtenidos, así como recomendaciones para futuras investigaciones.

2. ANTECEDENTES

2.1. REVISIÓN DE TRABAJOS PREVIOS SOBRE EL TEMA EN ESTUDIO

En Colombia la aplicación del Manual de Seguridad se encuentra en una etapa inicial identificándose su uso principalmente en ámbitos académicos, entre los cuales se pueden observar los siguientes

2.1.1. Validación de la aplicabilidad de la metodología del Highway Safety Manual - 2010 (HSM-2010) para la predicción del número de accidentes de tránsito de vías multicarril en la ciudad de Bogotá

En este proyecto de investigación realizado por Stefany Ramirez y Natalia Ruiz se presenta la aplicación del modelo para predecir los accidentes en las vías multicarril explícito en el capítulo 11 del Highway Safety Manual - 2010 (HSM-2010), calibrando el mismo a partir de la información de accidentes y tránsito de la ciudad de Bogotá, así como las características geométricas y de lugar.

Posteriormente se realizó un análisis de sensibilidad variando las condiciones existentes a condiciones base para luego determinar porcentajes de reducción de accidentes ante la realización de cambios.

Los resultados de esta investigación mostraron que al utilizar en el diseño las condiciones base se reduce la cantidad de los accidentes entre el 14% y 48% anualmente, recomendándose la realización de este tipo de análisis en la planeación de futuras vías multicarril.

Por último, un aspecto a resaltar es que en sus conclusiones este trabajo ha identificado que las condiciones geométricas varían constantemente en un mismo tramo de vía multicarril de la ciudad de Bogotá, lo cual dificultó la aplicación del modelo

2.1.2. Incidencia de las características geométricas y de tránsito de vías en alta montaña y de bajas especificaciones geométricas sobre la accidentalidad “caso plan 2500: departamento del Quindío”.

Esta investigación buscó establecer una relación entre el número de accidentes presentados en una vía y el diseño geométrico de la misma determinando la existencia de causalidad entre la geometría de la vía y dichos siniestros considerando las variables de ancho de calzada, la pendiente longitudinal, el peralte, el grado de curvatura y el tránsito promedio diario.

Como resultado de esta investigación se determinó que existe una correlación entre el número de accidentes y las características geométricas de las vías estudiadas, conclusión a la que se llegó debido a que las correlaciones hechas presentaron resultados satisfactorios para dos de las tres vías analizadas.

2.1.3. Obtención de factores de accidentalidad empleando el Highway Safety Manual para el mejoramiento de la seguridad vial en las intersecciones adyacentes a la carrera 21 con calle 11 en Bucaramanga

Este trabajo de tesis realizado por las ingenieras Larieth Pérez y Angela Esteban evalúa la seguridad vial de un sector de la Ciudad de Bucaramanga en las condiciones actuales y bajo el escenario de la implementación de un control semaforizado.

Como conclusión este trabajo estableció que la semaforización de la zona es la alternativa óptima para dar solución a los problemas presentados en la intersección de la carrera 21 con calle 11 en la ciudad de Bucaramanga, ya que, acorde a los resultados de la investigación, esta solución genera una disminución notable sobre los accidentes ocurridos en el sitio.

2.1.4. Uso del módulo de predicción de accidentes (CPM) del IHSDM para evaluación de seguridad en segmentos de carreteras de dos carriles

En este trabajo de la Especialista en Geotecnia Vial Yasmín Andrea Pérez Rojas se plantea una alternativa para la evaluación de la seguridad en carreteras rurales de dos carriles en Colombia, desde la aplicación del Módulo de Predicción de Accidentes (CPM Crash Prediction Module) del programa IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model) de FHWA (Federal Highway Administration, agencia del departamento de transporte de Estados Unidos), empleado para hacer una evaluación de la seguridad vial.

Este CPM aplica lo establecido en el capítulo C del Manual de Seguridad Vial (HSM 2010), estimando la frecuencia de accidentes a partir de los modelos del manual.

Como conclusión este trabajo establece que, aunque es poco realista esperar que el CPM tenga la capacidad de predecir el número exacto de accidentes en el futuro, el modelo puede servir para leer una tendencia general en el desempeño del módulo y precisar la ubicación probable de un número alto de accidentes, en lugar de usar las predicciones del CPM como el número “real” de accidentes que pueden ocurrir.

Adicionalmente, en las conclusiones, este trabajo recomienda a las entidades encargadas del levantamiento de la información generar datos que incluyan rasgos importantes en el alineamiento vertical y horizontal, intersecciones, carriles de adelantamiento y límites de velocidad, información que debe amarrarse al sistema de coordenadas planas de Colombia.

2.2. SEGURIDAD VIAL EN COLOMBIA

Ante una revisión superficial del estado de la seguridad vial en Colombia, se puede observar que la situación no es favorable, “los traumatismos relacionados con el tránsito son un importante problema social y de salud pública, tanto que constituye la segunda causa de muerte violenta en el país, después de los homicidios” (Ferrer, 2013, p.8).

En tal sentido el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, que es la entidad encargada prestación de servicios forenses en Colombia, presenta en su informe Forensis (Instituto de Medicina Legal, 2017, p.497) que en el año 2016 se registraron en el sistema forense 7.280 víctimas fatales por accidentes de transporte y 45.256 heridos.

Esta cifra de muertes, resalta este mismo informe “es la más alta de lo que va del siglo XXI y registra valores en cantidad de muertes que no se presentaban desde el año 1998, un claro retroceso en la lucha por salvar vidas y cada vez más lejos de la meta ambiciosa pero comprometida del decenio de la seguridad vial 2011-2020 (-50 %, 2.852 muertes en el 2020) e incluso lejos de cumplir la meta menos ambiciosa del Plan Nacional de Seguridad Vial (-26 %, 4.224 muertes en el año 2021)”

2.2.1. Plan Nacional de Seguridad Vial Colombia 2011 -2016

En este contexto el Gobierno de Colombia, a través del Ministerio de Transporte, ha establecido un Plan Nacional de Seguridad Vial, que ofrece lineamientos para la utilización de recursos y su adecuada articulación y, por ende, contribuye a una mayor y mejor utilización las herramientas financieras, humanas y técnicas disponibles.

En cuanto a infraestructura vial, en este Plan Nacional se proponen cinco ACCIONES Y MEDIDAS que son:

1. **AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL:** Procedimiento que persigue identificar los potenciales problemas de seguridad en los proyectos de infraestructura futuros y existentes, a través de la inspección de la seguridad vial, con mecanismos de control periódico en la red vial.
2. **INTERVENCIÓN DE PUNTOS NEGROS:** Procedimiento que persigue identificar los potenciales problemas de seguridad en los proyectos de infraestructura futuros y existentes, a través de la inspección de la seguridad vial, con mecanismos de control periódico en la red vial.
3. **JERARQUIZACIÓN DE LA RED VIAL:** Categorización de las vías considerando si son de acceso, alta velocidad o para desplazamientos de larga distancia.

4. MEJORAS EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL: Incorporar elementos de seguridad en las vías que cumplan con altos estándares de calidad en cuanto a su diseño, construcción y mantenimiento.
5. NORMATIVIDAD PARA LA INFRAESTRUCTURA VIAL: Se propone la elaboración o modificación de manuales que implementen estándares de seguridad vial en los proyectos de diseño, construcción y mantenimiento de la infraestructura.

La implementación de estas cinco acciones y medidas requiere un correcto conocimiento de las condiciones base de las vías tanto en características físicas como en accidentalidad, de ahí que para la ejecución de estas políticas sea tan importante, una correcta valoración de la seguridad vial que permita evaluar adecuadamente el efecto del desarrollo de cada una de estas medidas, permitiendo orientar de una manera más adecuada la inversión de recursos en futuros periodos.

2.2.2. Programa de apoyo a la implementación de la política nacional de seguridad vial – BID

Con el fin de apoyar al Gobierno de Colombia en la consolidación de la política nacional de seguridad vial, el Banco Interamericano de Desarrollo –BID- estableció el programa de apoyo a la implementación de la política nacional de seguridad vial (CO-L1111) cuyo fin último será la reducción en el número de víctimas mortales y lesionados causados por la accidentalidad.

En el análisis económico del programa CO-L1111 se establece, para el año 2011, a partir del número de fallecidos y lesionados de ese año (5.792 fallecidos - 40.806 lesionados) un valor económico del total de años de vida perdidos utilizando el método de Cropper en \$US 6,989 millones y proyectado a 2033 en US\$ 13,977 valores que permiten después de un análisis beneficio - costo visualizar la viabilidad económica del proyecto.

De igual forma que este proyecto macro, cualquier proyecto menor puede ser evaluado en términos beneficio / costo a partir de una evaluación económica y social desde las distintas herramientas que brinda un análisis cuantitativo de la seguridad vial.

3. MANUAL DE SEGURIDAD VIAL

El Manual de Seguridad Vial (Highway Safety Manual -HSM) es un documento publicado por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes AASHTO que brinda metodologías y herramientas para análisis cuantitativos de seguridad en términos de frecuencia y gravedad de accidentes considerando cuantitativamente la seguridad para apoyar la toma de decisiones. (AASHTO s.f.).

El Manual de Seguridad Vial (HSM 2010) introduce un enfoque técnico basado en la ciencia que elimina las conjeturas del análisis de seguridad. El HSM proporciona herramientas que permiten que la seguridad sea evaluada de forma cuantitativa junto con otras medidas de desempeño del transporte tales como operaciones de tráfico, impactos ambientales y costos de producción.

Entre las herramientas que proporciona el Manual de Seguridad Vial se encuentran:

- Métodos para desarrollar un programa eficaz de gestión de seguridad vial y evaluar sus efectos. Un programa de gestión de seguridad vial es el proceso general de identificar sitios con potencial de mejoras en la seguridad, diagnosticar condiciones en el sitio e identificar tratamientos potenciales en los sitios, priorizando y programando tratamientos, y posteriormente evaluar la eficacia en la reducción de accidentes de los tratamientos programados. Muchos de los métodos incluidos en el HSM consideran la regresión a la media y pueden resultar más efectivos en la identificación de mejoras para lograr una reducción cuantificable de la frecuencia de accidentes o la severidad. Los fondos de seguridad pueden ser entonces utilizados de la manera más eficiente posible con base en las ubicaciones identificadas.
- Un método predictivo para estimar la frecuencia y la severidad de los accidentes. Se puede utilizar este método para tomar decisiones informadas a lo largo del proceso de desarrollo de proyecto, incluyendo: planeación, diseño, operaciones, mantenimiento y el proceso de gestión de seguridad vial. Ejemplos específicos incluyen la evaluación de sitios potenciales para mejorar y la elección de diseños de vías alternativos.
- Un catálogo de factores de modificación de accidentes (CMF – crash modification factors) para una variedad de tipos de tratamientos geométricos y operacionales, apoyados por evidencia científica robusta. Los CMF en el HSM han sido desarrollados utilizando estudios de alta calidad de antes y después que consideran la regresión a la media.

El HSM enfatiza el uso de métodos analíticos para cuantificar los efectos en la seguridad de las decisiones de planeación, diseño, operaciones y mantenimiento. La

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

primera edición no aborda temas tales como educación del conductor, aplicación de la ley y seguridad vehicular, aunque son consideraciones importantes dentro del tema de mejorar la seguridad en las vías.

3.1. APLICACIÓN DEL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL

El HSM brinda la oportunidad de considerar la seguridad de forma cuantitativa junto con otras medidas típicas de desempeño del transporte. El HSM delinea y proporciona ejemplos de las siguientes aplicaciones:

- Identificar sitios con el mayor potencial de frecuencia de accidentes o reducción de la severidad;
- Identificar factores que contribuyen a los accidentes y las contramedidas potenciales asociadas para abordar estas cuestiones;
- Realizar evaluaciones económicas de posibles mejoras y priorizar proyectos;
- Evaluar los beneficios en la reducción de accidentes de los tratamientos implementados; y
- Estimar los efectos potenciales en la frecuencia y la severidad de los accidentes de la planeación, el diseño, las operaciones y las decisiones de política.

El HSM se puede utilizar en proyectos que se enfocan específicamente en responder preguntas relacionadas con la seguridad. Además, se puede utilizar para realizar análisis de seguridad cuantitativos en proyectos que tradicionalmente no han incluido este tipo de análisis, tales como estudios de corredores para identificar mejoras de capacidad y estudios de intersección para identificar formas alternativas de control de tráfico. El HSM también se puede utilizar para añadir los análisis de seguridad cuantitativos a los proyectos de transporte multidisciplinarios.

3.2. VALOR DE UTILIZAR EL MANUAL DE SEGURIDAD

El HSM proporciona métodos de integrar estimados cuantitativos de la frecuencia y la severidad de los accidentes en la planeación, análisis alternativos de proyectos y desarrollo y evaluación de programas, permitiendo que la seguridad se convierta en una medida importante del desempeño de un proyecto. Como dice el viejo adagio, “lo que se puede medir se puede hacer”. Aplicando las herramientas del HSM, las mejoras en la seguridad “se harán”.

Además, desde un punto de vista legislativo, el HSM apoya el progreso de los estados hacia las metas de seguridad federal, estatal y local para reducir las lesiones graves y

las fatalidades. Como las agencias públicas trabajan hacia sus metas de seguridad, los métodos cuantitativos en el HSM se pueden utilizar para evaluar qué mejoras de programas y proyectos están logrando los resultados esperados, las agencias pueden reasignar fondos hacia los que están teniendo el mayor beneficio.

3.3. CONTENIDO DEL MANUAL DE SEGURIDAD

El Manual de Seguridad Vial (HSM-2010) se encuentra organizado en cuatro partes que son:

3.3.1. PARTE A Introducción, Factores Humanos y Fundamentos

La Parte A describe el propósito y el alcance del HSM, explicando la relación del HSM con la planeación, el diseño, las operaciones y las actividades de mantenimiento. La Parte A también incluye fundamentos de los procesos y las herramientas descritas en el HSM. El Capítulo 3 (Fundamentos) proporciona información de antecedentes necesaria para aplicar el método predictivo, los factores de modificación de accidentes y los métodos de evaluación que se proporcionan en las Partes B, C y D del HSM.

Los capítulos de la Parte A son:

- Capítulo 1 – Introducción y Descripción General
- Capítulo 2 – Factores Humanos
- Capítulo 3 – Fundamentos

3.3.2. PARTE B Proceso de Gestión de Seguridad Vial

La Parte B presenta pasos sugeridos para monitorear y reducir la frecuencia y la severidad de los accidentes en las redes viales existentes. Incluye métodos útiles para identificar sitios de mejora, diagnóstico, selección de contramedidas, evaluación económica, priorización de proyectos y evaluación de efectividad.

Los capítulos en la Parte B son:

- Capítulo 4 – Detección en la Red
- Capítulo 5 – Diagnóstico
- Capítulo 6 – Selección de Contramedidas
- Capítulo 7 – Evaluación Económica
- Capítulo 8 – Priorización de Proyectos

- Capítulo 9 – Evaluación de Efectividad de Seguridad

3.3.3. PARTE C Método Predictivo

La Parte C proporciona un método predictivo para estimar la frecuencia media de accidentes esperada para una red, instalación o sitio individual, e introduce el concepto de Funciones de Desempeño de Seguridad (SPF).

Las Funciones de Desempeño de Seguridad (SPF) son ecuaciones que estiman la frecuencia de accidentes promedio esperada como una función del volumen de tráfico y las características de la vía (por ejemplo, número de carriles, tipo de mediana, control de intersección, número de tramos de aproximación). Su uso permite la corrección de conteos de accidentes a corto plazo.

Los capítulos en la Parte C proporcionan el método predictivo para segmentos e intersecciones para los siguientes tipos de instalaciones:

- Capítulo 10 – Vías Rurales de Dos Carriles y Dos Direcciones
- Capítulo 11 – Vías Rurales de Múltiples Carriles
- Capítulo 12 – Arterias Urbanas y Suburbanas

Predecir la frecuencia media de accidentes esperada como una función del volumen de tráfico y las características de la vía es un nuevo enfoque que puede aplicarse con facilidad en una variedad de vías, incluyendo proyectos de diseño, estudios de planeación de corredores y estudios más pequeños de intersecciones. El enfoque aplica para estudios específicos de seguridad y como elemento para un estudio más tradicional de transporte o análisis ambiental.

3.3.4. PARTE D Factores de Modificación de Accidentes (CMFs)

Para cada tipo de instalación, se encuentran los modelos de predicción para condiciones base establecidas. Los CMFs (Crash modification factors) cuantifican el cambio en la frecuencia de accidente promedio esperado como resultado de modificaciones geométricas y operacionales al sitio que difieren de las condiciones base establecidas. La Parte D proporciona un catálogo de tratamientos organizados por tipo de sitio:

- Capítulo 13 – Segmentos Viales
- Capítulo 14 – Intersecciones
- Capítulo 15 – Intercambios
- Capítulo 16 – Instalaciones Especiales

• Capítulo 17 – Redes Viales

Los CMFs son de fácil aplicación en cualquier diseño o proceso de evaluación donde se estén considerando tratamientos opcionales. Los CMFs también son una adición valiosa a la documentación de las excepciones de diseño.

3.4. METODO PREDICTIVO

En la parte C del Manual de Seguridad Vial se desarrolla un método predictivo para estimar la frecuencia media de accidentes esperada de una red, instalación, o sitio individual ya sea para las condiciones existentes, condiciones alternativas, o nuevas propuestas de caminos. El método predictivo se aplica para un determinado volumen de tránsito, y características de diseño geométrico constantes del camino, utilizándose en el desarrollo y la evaluación de múltiples soluciones para un lugar específico.

3.4.1. Descripción general del método predictivo del HSM

El método predictivo de Manual de Seguridad Vial es utilizado para estimar la frecuencia media esperada de accidentes para un período de interés determinado (en años) durante el cual el diseño geométrico y las características de control de tráfico son constantes y los volúmenes de tránsito son conocidos o pronosticables.

En el HSM se utilizan modelos de predicción para estimar la frecuencia media prevista de accidentes para un tipo de sitio en particular usando un modelo de regresión desarrollado a partir de datos para un número de sitios similares. Estos modelos de regresión, llamados FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE SEGURIDAD (Safety Performance Function - SPF) los cuales son típicamente una función de sólo unas pocas variables, principalmente TMDA (transito medio diario anual), determinando la frecuencia promedio de accidentes para condiciones “base” de un tipo de sitio determinado.

Para considerar las variaciones de las condiciones propias del lugar, frente a las condiciones base son utilizados los FACTORES DE MODIFICACIÓN ACCIDENTES (Crash Modification Factors - CMFs). Por ejemplo, la Función de desempeño (SPF) para los segmentos de carretera tiene una condición base de carriles de 12 pies de ancho y el sitio específico puede ser un segmento de carretera con carriles de 10 pies de ancho, un CMF representa la relación de la frecuencia media de accidentes esperado para un sitio con un conjunto de condiciones y la frecuencia media de accidentes esperada del mismo sitio con un cambio en una condición particular para este caso un ancho de carril diferente.

Adicionalmente el manual presenta un FACTOR DE CALIBRACIÓN (Cx), usado para dar cuenta de las diferencias entre la jurisdicción para los cuales se desarrollaron los modelos y la jurisdicción para la que se aplica el método predictivo.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Los modelos de predicción utilizados para determinar la frecuencia media prevista de accidentes, $N_{\text{predicted}}$, son de la forma general mostrada en la Ecuación 3-1.

$$N_{\text{predicted}} = N_{\text{spf}} \times C_x \times (\text{CMF}_1 \cdot \text{CMF}_2 \cdot \text{CMF}_3 \cdot \dots \cdot \text{CMF}_n) \quad [3-1]$$

donde:

$N_{\text{predicted}}$: Frecuencia media prevista de accidentes (accidentes/año)
 N_{spf} : Frecuencia media de accidentes para condiciones base
 $\text{CMF}_1 \dots \text{CMF}_n$: Factores de modificación de accidentes
 C_x : Factor de calibración de ajuste a condiciones locales

3.4.2. Pasos del método predictivo

Para realizar la estimación de accidentes mediante los modelos que se presentan en el Manual de Seguridad Vial (HSM-2010), los cuales predicen la frecuencia media de accidentes ya sea en caminos rurales de dos carriles, rurales multicarril o en vías arteriales urbanas y suburbanas, el manual presenta un procedimiento en 18 pasos así:

Paso 1 - Definir los límites de carretera o red en estudio y los tipos de sitios existentes

Paso 2 - Definir el período de interés.

Paso 3 - Determinar la disponibilidad de los volúmenes de tráfico anuales y la disponibilidad de los datos de accidentes observados

Paso 4 - Determinar las características geométricas de diseño

Paso 5 - Dividir la red de carretera en segmentos e intersecciones individuales

Paso 6 - Asignar los accidentes observados a los sitios individuales (si corresponde).

Paso 7 – Seleccionar el primer o siguiente sitio individual en la red de estudio.

Paso 8 - Para el sitio seleccionado, seleccionar el primer o el próximo año en el período de interés.

Paso 9 - Para el sitio seleccionado, determinar y aplicar las funciones de rendimiento de seguridad apropiadas (SPF) para las características de tipo instalaciones y control de tráfico del sitio.

Paso 10 – Aplicar los factores de modificación Accidentes (CMFs)

Paso 11 – Aplicar el factor de calibración adecuado

Paso 12 - Si hay un año más para ser evaluado en el período de estudio para el sitio seleccionado, volver al paso 8.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Paso 13 - Aplicar el método empírico de Bayes (EB) para combinar frecuencia media prevista de accidentes determinada utilizando el modelo predictivo, $N_{predicted}$, con la frecuencia observada de accidentes, $N_{observed}$ (donde sea aplicable).

Paso 14 -Si hay otro sitio para ser evaluado, volver al paso 7.

Paso 15 - Aplicar el nivel de proyecto Método EB (si es aplicable)

Paso 16 - Sumar todos los sitios y años

Paso 17 - Determinar si hay un diseño, tratamiento o TMDA previsión alternativa a evaluar.

Paso 18 - Evaluar y comparar los resultados.

4. VIAS RURALES DE MULTIPLES CARRILES

Las vías rurales de múltiples carriles o vías multicarril se caracterizan por tener dos o más carriles por dirección; Sin embargo, se diferencian de las autopistas por no tener un control total de accesos y/o por no estar divididas por una faja separadora central. Estas características hacen que el tránsito no fluya eficientemente como en las autopistas, fundamentalmente por las fricciones laterales y centrales a que están sujetas las corrientes vehiculares, originadas por la multiplicidad de entradas y salidas al camino o por la interferencia entre flujos contrarios sin separación física.

El presente estudio se limitará a las vías multicarril divididas del departamento de Cundinamarca, con dos o más carriles por sentido y presencia de separador central de flujos en sentido contrario aplicando la metodología presentada en el capítulo 11 del manual (HSM 2010) *Vías Rurales de Múltiples Carriles*.

4.1. FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE SEGURIDAD PARA SEGMENTOS CARRETERA MULTICARRIL DIVIDIDA

El modelo predictivo para estimar la frecuencia de accidentes para una vía multicarril mostrado en el Manual de Seguridad Vial (HSM), presenta la frecuencia de accidentes como función de características geométricas de diseño y control de tráfico, incorporándose el efecto de estas características a través de los FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACCIDENTES (CMFs) de la siguiente forma:

$$N_{\text{predicted}} = N_{\text{spfrd}} \times C_r \times (\text{CMF}_{1\text{rd}} \times \text{CMF}_{2\text{rd}} \times \text{CMF}_{3\text{rd}} \times \text{CMF}_{4\text{rd}} \times \text{CMF}_{5\text{rd}}) \quad [4-1]$$

En esta ecuación, el efecto del volumen de tráfico sobre la frecuencia de accidentes está incorporado a través de la FUNCIÓN DE DESEMPEÑO DE SEGURIDAD (SPF) por medio del tránsito medio diario (TMDA).

$$N_{\text{spfrd}} = e^{(a+b \ln(\text{TMDA}) + \ln(L))} \quad [4-2]$$

Donde,

N_{spfrd} = número base de accidentes por año

TMDA = tránsito medio diario anual (vehículos / día)

L = longitud del segmento (millas)

a, b = Coeficientes de regresión

Estos últimos coeficientes de regresión cambian para carreteras multicarril divididas y sin dividir, teniendo en cuenta que el objeto del presente estudio son las carreteras multicarril divididas, se consideraran los coeficientes de regresión, así como los factores de modificación específicos para este caso, los cuales se muestran a continuación en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Coeficientes de regresión para carreteras multicarril divididas

Nivel de gravedad	a	b	c
4 carriles – total de accidentes	-9.025	1.049	1.549
4 carriles – accidentes con , muertos y lesiones	-8.837	0.958	1.687
4 carriles, fatales y lesiones *	-8.505	0.874	1.740

* considerando solo los accidentes con lesión fatal, lesión incapacitante o Lesión no incapacitante evidente; los choques con posible lesión no están incluidos.

Fuente: AASHTO (2010) Tabla 11-5 HSM

4.2. FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACCIDENTES PARA LOS SEGMENTOS CARRETERA DIVIDIDA (CMFs)

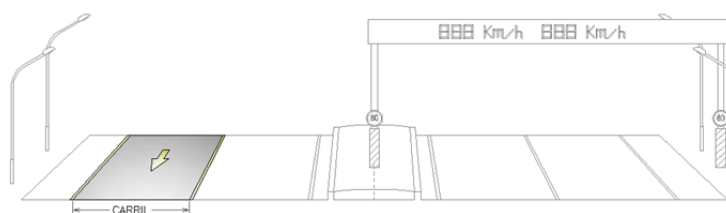
Como se mencionó anteriormente, los efectos de las características geométricas de diseño y control de tráfico se incorporan a la función de desempeño de seguridad a través de los FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACCIDENTES (CMFs), los cuales, para el caso de vías multicarril divididas consideran cinco características geométricas de diseño y control de tráfico que son:

- Ancho de carril
- Ancho de Berma Lateral
- Ancho de mediana
- Iluminación
- Presencia de Controles automáticos de velocidad

4.2.1. Ancho de Carril

El Carril es la parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos (INVIAS 2008 p.269), su ancho varía en función de la velocidad y el tipo de vía, acorde a la legislación de cada país, estableciéndose anchos mayores para vías principales o vías rápidas y anchos menores para vías locales y de baja velocidad. La figura 4.1. Muestra el ancho de carril en una vía multicarril

Figura 4.1. Ancho de Carril



4.2.1.1. CMF_{1rd} – Ancho de Carril

El Factor de modificación de accidentes (CMF) por ancho de carril establecido en el Manual de Seguridad Vial para carreteras rurales multicarril se determina acorde a la siguiente ecuación:

$$CMF_{1rd} = (CMF_{RA} - 1.0) \times p_{RA} + 1.0 \quad [4-3]$$

Donde,

CMF_{1rd} = Factor de modificación de accidentes para el total de accidentes

CMF_{RA} = Factor de modificación de accidentes para accidentes relacionados con el ancho de carril (salida de carretera, golpe frontal, y el golpe lateral)

p_{RA} = proporción de accidentes relacionados con el ancho de carril sobre el total de accidentes

El CMF_{RA} se determina a según lo establecido en la tabla 4.2. a partir del ancho de carril y el volumen de tráfico, el determinado a partir del tránsito medio diario Anual (TMDA) para los dos sentidos de la vía.

Cuando los anchos de carril en una carretera varían el CMF debe determinarse por separado para el ancho de carril en cada sentido y los CMFs resultantes deberán entonces ser promediados.

Tabla 4.2. CMF para los tipos de colisión relacionados (CMF_{RA}).

Ancho de carril	Transito medio diario Anual (TMDA) (Vehiculos/dia)		
	< 400	400 a 2000	> 2000
9 pies (2,74 m)	1,03	$1,03 + 1,38 \times 10^4(TMDA-400)$	1,25
10 pies (3,05 m)	1,01	$1,03 + 8.75 \times 10^5(TMDA-400)$	1,15
11 pies (3,35 m)	1,01	$1,03 + 1,25 \times 10^5(TMDA-400)$	1,03
12 pies (3,66 m)	1	1	1

Fuente: AASHTO (2010) Tabla 11-16 HSM

Por ancho de carril se considera una condición base de 12 pies, de este modo, para un ancho de 12 pies (3,66 m) se tiene un CMF_{RA} de 1,00.

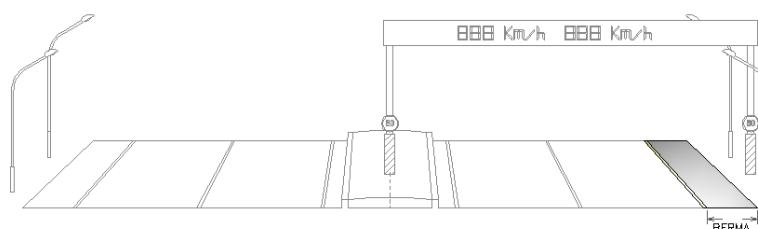
El manual establece un valor por defecto para $p_{RA} = 0,50$ es decir que el 50% del total de accidentes corresponden a salidas de carretera, colisiones Frontales o colisiones por roce que son los accidentes relacionados con el ancho de carril.

4.2.2. Ancho de Berma

La berma es la parte de la estructura de la vía destinada al soporte lateral de la calzada para el tránsito de peatones, semovientes y, ocasionalmente al estacionamiento de vehículos y tránsito de vehículos. (Ley 769, 2002).

Su efecto sobre la seguridad vial es positivo, ya que esta franja permite un espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad en caso de despiste, para que esto se cumpla, las bermas deben tener ancho constante, estar libres de obstáculos y estar compactadas homogéneamente en toda su sección. La figura 4.2. Muestra el ancho de berma lateral derecha en una vía multicarril.

Figura 4.2. Ancho de Berma Lateral derecha



4.2.2.1. CMF_{2rd} – Ancho de Berma

El CMF por ancho de berma se determina de acuerdo a lo presentado en la Tabla 4.3. Siendo la condición base el ancho de berma de 8 pies (2,44m) de este modo, para un ancho de 8 pies se tiene un CMF_{2rd} de 1,00, si los anchos en ambos sentidos son diferentes, el CMF debe basarse en el promedio.

Tabla 4.3. CMF para el ancho de berma lateral derecha para carretera multicarril dividida (CMF_{2rd})

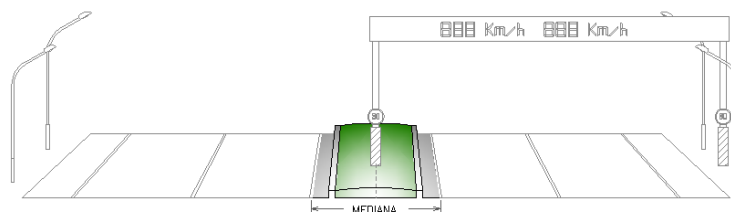
Ancho de Berma Lateral derecha (ft)				
0 ft (0,00m)	2 ft (0,61m)	4 ft (1,22m)	6 ft (1,83)	8 (2,44) y mas
1,18	1,13	1,09	1,06	1

Fuente: AASHTO (2010) Tabla 11-17 HSM

4.2.3. Mediana

Es la franja longitudinal del terreno no destinada a la circulación, cuya misión es la de separar dos calzadas con distinto sentido de flujo. Sus características de diseño son diversas y puede contener barreras separadoras de tráfico. (Bañón y Bevia 2000). La figura 4.3. Muestra el ancho de mediana en una vía multicarril dividida

Figura 4.3. Ancho de mediana



El CMF por ancho de mediana para segmentos de carretera multicarril se presenta en la Tabla 4.4., siendo el ancho de la mediana la longitud medida entre los bordes interiores de los carriles en dirección opuesta, por lo tanto, la berma interior y los carriles de giro se incluyen en el ancho de mediana.

La condición de base para este CMF es un ancho de 30 pies (9,14 m), teniendo para este ancho un CMF_{3rd} de 1,00.

Este CMF se aplica sólo a las medianas atravesables sin barreras de tráfico, se esperaría que el efecto de las barreras de tráfico en la seguridad fuera función del tipo de barrera y la restricción de paso, en lugar del ancho de mediana; sin embargo, los efectos de estos factores sobre la seguridad no han sido cuantificados en el manual, por lo tanto se considera un valor CMF de 1.00 para medianas con barreras de tráfico.

Tabla 4.4. CMF Por Ancho de mediana (CMF_{3rd})

Ancho mediana		CMF
(pies)	(metros)	
10	3,05	1,04
20	6,10	1,02
30	9,14	1
40	12,19	0,99
50	15,24	0,97
60	18,29	0,96
70	21,34	0,96
80	24,38	0,95
90	27,43	0,94
100	30,48	0,94

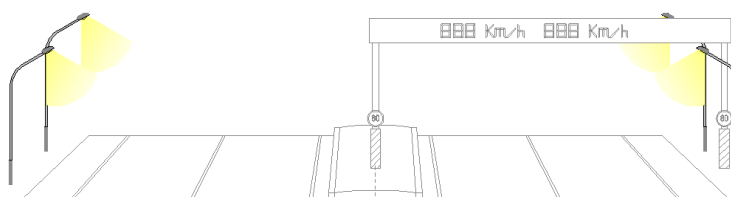
Fuente: AASHTO (2010) Tabla 11-18 HSM

Los valores de esta tabla están basados en la estimación de que el 12,2 % del total de accidentes ocurren por el ancho de mediana.

4.2.4. Iluminación

La iluminación es un elemento esencial para mantener un buen nivel de seguridad para la vía en horas de la noche, un entorno correctamente iluminado dota al conductor de mayor capacidad de percepción en un ambiente adverso como es la oscuridad. (Bañón y Bevia 2000). La figura 4.4. Ilustra la iluminación en una vía multicarril

Figura 4.4. Iluminación



4.2.4.1. CMF_{4rd} Iluminación

La ausencia de iluminación es considerada condición de base para este CMF, teniendo un CMF_{4rd} para un tramo no iluminado de 1,00. Para segmentos de carretera iluminados se está dada por:

$$CMF_{4rd} = 1 - [(1 - 0,72 \times p_{inr} - 0,83 \times p_{pnr}) \times p_{nr}] \quad [3-4]$$

Donde,

CMF_{4rd} = Factor de modificación de Accidente para el efecto de la iluminación sobre el total de accidentes;

p_{inr} = proporción del total de accidentes nocturnos para segmentos de carretera sin iluminación que implican una fatalidad o lesión;

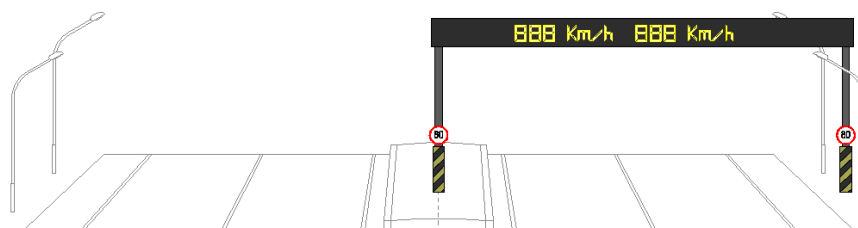
p_{pnr} = proporción del total de accidentes nocturnos para segmentos de carretera sin iluminación que involucran daños materiales solamente;

p_{nr} = proporción del total de accidentes para los segmentos de carretera sin luz que se producen por la noche.

4.2.5. Sistemas automatizados de control de la velocidad

Los sistemas automatizados de control de la velocidad utilizan el vídeo o identificación fotográfica conjuntamente con radar o láser para detectar a los conductores por exceso de velocidad, registrando automáticamente la información de identificación del vehículo sin necesidad de agentes de policía en la escena. La figura 4.5. Ilustra los sistemas automatizados de control de la velocidad en una vía multicarril.

Figura 4.5. *Sistemas automatizados de control de la velocidad*



4.2.5.1. CMF_{5RD} - Aplicación de sistemas automatizados de control de la velocidad

El Manual de Seguridad Vial presenta un CMF de 0,83 para la reducción de los accidentes fatales y con lesiones cuando se implementen sistemas automatizados de control de la velocidad. Este CMF se aplica a segmentos de carretera donde la cámara está siempre presente o donde los conductores no tienen manera de saber si la cámara está presente o no.

Considerando que los accidentes mortales y lesiones constituyen el 37% del total de accidentes en segmentos de carreteras multicarril y que el manual no presenta información disponible sobre el efecto de controles automáticos de velocidad en los accidentes sin lesionados, se estableció el valor de CMF_{5ru} para controles automáticos de velocidad de 0,94 sobre la base de la proporción de accidentes con lesionados bajo el supuesto conservador de que controles automáticos de velocidad no tienen efecto sobre los accidentes sin lesionados.

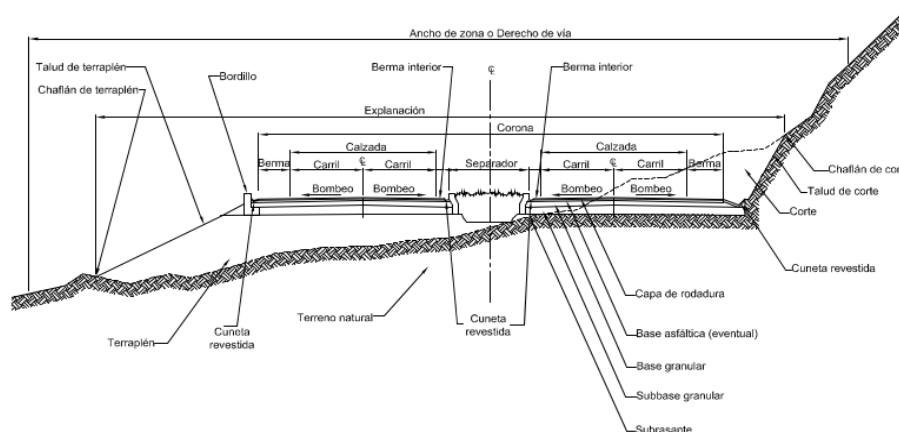
4.3. ESPECIFICACIONES GENERALES DE DISEÑO

Para la elaboración de proyectos de diseño geométrico de carreteras en Colombia son utilizados los parámetros establecidos en el Manual de diseño del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2008), de las características geométricas de diseño que establecen los Factores de Modificación de Accidentes - $CMFs$ para vías rurales de múltiples carriles (ancho de carril, ancho de berma, mediana, iluminación y control automatizado de velocidad) en el manual se establecen las siguientes condiciones de diseño Ancho de Carril, Ancho de Berma e iluminación.

La figura 4.6. muestra la sección transversal tipo para vías de doble calzada propuesta en el manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 4.6. Sección tipo para vías de doble calzada en el manual de diseño - INVIAS.



Fuente: INVIAS, 2008. Figura 5.1a.

4.3.1. Ancho de Carril

En el manual de diseño se establece el ancho de la calzada en función de la categoría de la carretera, del tipo de terreno y de la Velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR). De esta manera el ancho de calzada se establece de acuerdo a la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Ancho de calzada INVIAS

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (VTR) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano							7,30	7,30	7,30	7,30
	Ondulado							7,30	7,30	7,30	7,30
	Montañoso						7,30	7,30	7,30	7,30	
	Escarpado						7,30	7,30	7,30		
Primaria de una calzada	Plano							7,30	7,30	7,30	
	Ondulado						7,30	7,30	7,30	7,30	
	Montañoso					7,30	7,30	7,30	7,30		
Secundaria	Plano						7,30	7,30	7,30		
	Ondulado				7,00	7,30	7,30	7,30			
	Montañoso			6,60	7,00	7,00	7,00				
	Escarpado			6,00	6,60	7,00					
Terciaria	Plano			6,00							
	Ondulado		6,00	6,00							
	Montañoso	6,00	6,00	6,00							
	Escarpado	6,00	6,00								

Fuente: INVIAS, 2008. Tabla 5.2. Ancho de calzada (metros)

Estableciéndose para vías primarias de dos calzadas un ancho por carril de 3,65 m

4.3.2. Ancho de Berma

De Manera similar al ancho de Carril, el manual de diseño del INVIAS establece el ancho de las bermas como función de la categoría de la carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR). De esta manera el ancho de berma derecha se establece de acuerdo a la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Ancho de berma

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (VTR) (km/h)										
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
Primaria de dos calzadas	Plano								2,5/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0
	Ondulado								2,0/1,0	2,0/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0
	Montañoso							1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/0,5	2,0/1,0	
	Escarpado							1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/0,5		
Primaria de una calzada	Plano									2,00	2,00	2,50
	Ondulado							1,80	2,00	2,00	2,50	
	Montañoso					1,50	1,50	1,80	1,80			
	Escarpado					1,50	1,50	1,80				
Secundaria	Plano						1,00	1,50	1,80			
	Ondulado					1,00	1,00	1,50	1,80			
	Montañoso				0,50	0,50	1,00	1,00				
	Escarpado				0,50	0,50	0,50					
Terciaria	Plano				1,00							
	Ondulado			0,50	1,00							
	Montañoso	0,50	0,50	0,50								
	Escarpado	0,50	0,50	0,50								

Fuente: INVIAS, 2008. Tabla 5.4. Ancho de bermas

En la tabla anterior se observa que la carretera de dos calzadas presenta dos valores en el ancho de la berma. El primer valor corresponde al ancho de berma exterior mientras que el segundo valor es el del ancho de berma interior, es decir, la que está entre la calzada y el separador

4.3.3. Iluminación

La iluminación constituye uno de los principales elementos para garantizar la operación segura en la vía durante la noche, el manual de diseño del INVIAS establece que pese a lo costoso y posiblemente innecesario que podría resultar la instalación de luminarias a lo largo de todo el recorrido de la carretera, existen sitios y criterios específicos que pueden justificar la implementación de este tipo de medidas, tales como:

- Paso por zonas pobladas en las cuales la presencia y cruce de peatones puede generar accidentes.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

- Existencia de intersecciones a nivel o a desnivel en las cuales la adecuada visibilidad es indispensable para la identificación global del sitio así como de sus entradas y salidas.
- Sitios de la carretera donde por las condiciones particulares no sea posible suministrar visibilidad nocturna adecuada, cumpliéndose un doble propósito para los conductores: aportar la visibilidad requerida y funcionar como una medida de prevención sobre la existencia de sitios críticos en el trazado.
- Desarrollo de puentes y viaductos, particularmente para el tránsito nocturno, donde la presencia de iluminación permite a los conductores anticipar los cambios en el alineamiento, cobrando mayor importancia en la medida que las longitudes de estos aumente.

5. VIAS RURALES DE MULTIPLES CARRILES DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

El Departamento de Cundinamarca se encuentra localizado en el centro de la república de Colombia (Figura 5.1.) con una superficie de 22.478 km² y una población aproximada de 2'145.000 habitantes (sin incluir el área del Distrito Capital de Bogotá). Limita con los departamentos de Boyacá, Tolima, Huila, Caldas y Meta y se subdivide en 116 municipios, siendo los más poblados Soacha, Fusagasugá, Facatativá, Chia, Zipaquirá Girardot y Mosquera.

Figura 5.1. Localización departamento de Cundinamarca



Fuente Wikipedia

Figura 5.2. Topografía departamento de Cundinamarca



Fuente Invias

Desde el punto de vista topográfico, (Figura 5.2.) el departamento se encuentra atravesado por la cordillera oriental lo que hace que encontremos alturas variables entre los 300 metros sobre el nivel del mar a orillas del río Magdalena y más de 3000 metros en las zonas de paramos, razón por la cual las vías del departamento presentan condiciones variables propias de regiones montañosas.

De la malla vial del departamento fueron seleccionadas para el presente estudio las vías que cumplieran con las condiciones de vías rurales de múltiples carriles divididas seleccionando tres trayectos del departamento en los cuales se identificaron diferentes condiciones en cuanto a volumen y composición del tránsito, topografía y sección tipo; estos trayectos fueron:

- Vía Bogota- La Vega-Honda (trayecto Puente Cortijo-El Vino y La Vega - Villeta)
- Vía Bogotá – Briceño -Tunja (tramo Bogotá calle 236 – el Sisga)

- Vía Soacha- Silvania- Girardot (trayecto embalse Muña – Fusagasugá - Ricaurte)

Para los tres casos las labores de ampliación, la operación y mantenimiento se realizan bajo la modalidad de concesión vial, otorgándose la administración de la vía a empresas particulares siendo ellas beneficiarias del recaudo de los peajes durante un lapso de tiempo establecido.

5.1. VÍA BOGOTA- LA VEGA-HONDA (TRAYECTO PUENTE CORTIJO-EL VINO Y LA VEGA - VILLETA)

Conocida como Autopista Medellín, esta vía recorre el noroccidente del departamento de Cundinamarca, iniciando en la ciudad de Bogotá, recorriendo los municipios de El Rosal, San Francisco, La Vega y Villeta para llegar al municipio de Honda, atravesando la cordillera oriental hasta el río Magdalena

Esta vía hace parte de la ruta nacional 50 que conecta los departamentos de Cundinamarca y Antioquia llevando a su capital, Medellín

Las labores de operación, ampliación y mantenimiento corresponden al concesionario SOCIEDAD CONCESIÓN SABANA DE OCCIDENTE S.A., la información general de la concesión se presenta en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Ficha general Concesión Sabana de Occidente

FICHA GENERAL DE CONCESIONES. Fuente ANI	
CONCESIÓN	SABANA DE OCCIDENTE
No DE CONTRATO	447 DEL 2 DE AGOSTO DE 1994
CONCESIONARIO	SOCIEDAD CONCESIÓN SABANA DE OCCIDENTE S.A. "EL CONCESIONARIO se obliga a ejecutar por el sistema de concesión, según lo establecido por el artículo 32, numeral 4 de la Ley 80 de 1993, los estudios, diseños definitivos, las obras de rehabilitación, de construcción, la operación y el mantenimiento de la carretera Bogotá (Puente El Cortijo) - Siberia - La Punta - El Vino - El Chuscal - La Vega - río Tobia - Villeta, en el departamento de Cundinamarca, del tramo de carretera Bogotá - Honda, Ruta 54"
OBJETO	
LONGITUD	81,63 km

Debido a las condiciones variables de la misma en cuanto a topografía y características de la zona que recorre, se determinó dividir la vía en secciones de características homogéneas de en seis tramos

- Tramo 1 BOGOTÁ – SIBERIA
- Tramo 2 SIBERIA – PUENTE DE PIEDRA
- Tramo 3 PUENTE DE PIEDRA – EL ROSAL
- Tramo 4 EL ROSAL – EL VINO
- Tramo 5 EL VINO - LA VEGA
- Tramo 6 LA VEGA – VILLETA

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 5.3. Vía Bogotá – La Vega - Honda

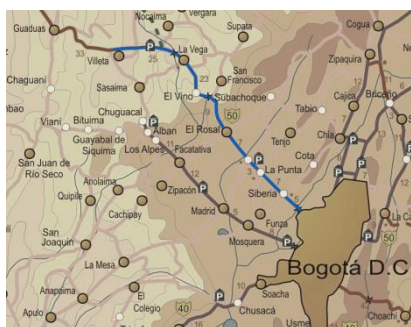
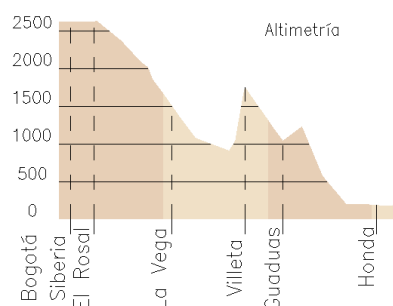


Figura 5.4. Altimetría trayecto



Desde el punto de vista topográfico, como se ilustran en las figuras 5.3. y 5.4., este tramo presenta dos condiciones diferentes, entre Bogotá y El Rosal la característica predominante es de terreno plano con una altura media de 2600 msnm, a partir de este punto inicial el terreno montañoso donde se desciende hasta los 300 msnm en la Ciudad de Honda aledaña al río Magdalena

5.1.1. Tramo 1 BOGOTÁ – SIBERIA

Este tramo de carretera rural multicarril con dos carriles por sentido y una longitud aproximada de cinco (5) kilómetros, se desarrolla sobre una topografía plana con presencia de empresas y bodegas comerciales a ambos costados de la vía.

Inicia en el puente sobre el Río Bogotá en el sector El Cortijo y termina en el puente Siberia el cual pasa sobre la vía Mosquera - Funza – Cota - Chía permitiéndose el acceso a estos polos atractores de viaje, es así que de cada tres vehículos que salen de Bogotá por esta vía, solo uno continúa al tramo dos, la figura 5.5. muestra una imagen del estado de la vía en este tramo

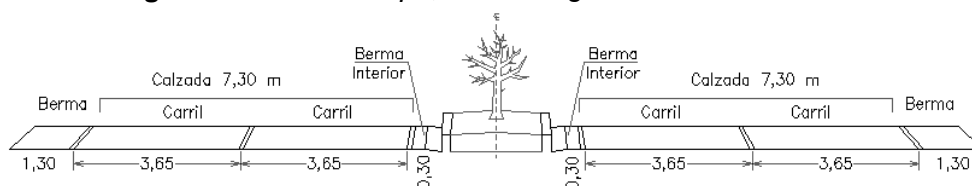
Figura 5.5. Tramo 1. Bogotá - Siberia



Sección Tipo: Como se muestra en la figura 5.6. La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,30 m y separador intermedio rígido con vegetación.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 5.6. Sección tipo, tramo Bogotá - Siberia



5.1.2. Tramo 2 SIBERIA – PUENTE PIEDRA

Segundo tramo de carretera rural multicarril con dos carriles por sentido y una longitud aproximada de diez (10) kilómetros, con una topografía plana y presencia de predios rurales a ambos lados del camino.

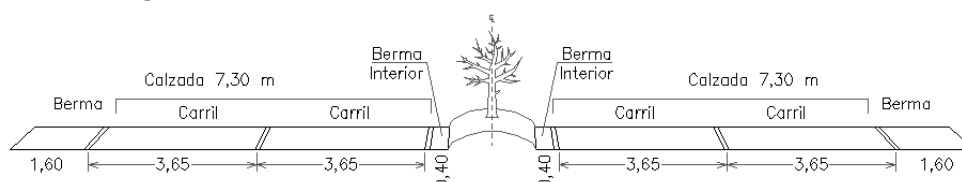
En él se localiza el PEAJE SIBERIA, además de las veredas La Punta donde se da acceso al municipio de Tenjo, y Puente Piedra se da acceso al municipio de Subachoque y al municipio de Madrid. La figura 5.7 muestra la sección correspondiente a este tramo

Figura 5.7. Tramo 2. Siberia- Puente Piedra



Sección Tipo: Como se muestra en la figura 5.8. La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,60 m y separador intermedio rígido con vegetación.

Figura 5.8. Sección tipo, tramo Siberia- Puente Piedra



5.1.3. Tramo 3 PUENTE PIEDRA – CRUCE EL ROSAL

De manera similar al segundo tramo y como se muestra en la figura 5.9. Este tramo se desarrolla con dos carriles por sentido y una longitud aproximada de siete (7)

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

kilómetros, con una topografía plana y presencia de predios rurales y algunos de restaurantes y paraderos turísticos en ambos costados de la vía.

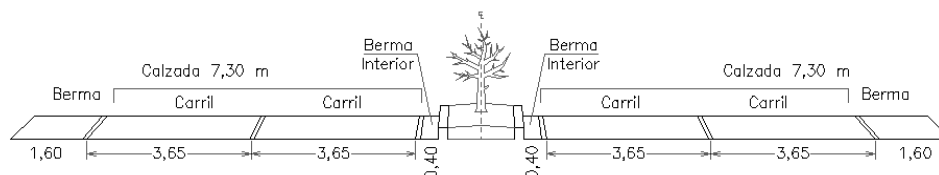
El puente en el Cruce El Rosal permite el acceso al municipio de El Rosal y el municipio de Facatativá, uno de los mayores municipios del departamento

Figura. 5.9. Tramo 3. Puente Piedra – Cruce El Rosal



Sección Tipo: La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,60 m y separador intermedio rígido con vegetación, esto se muestra en la figura 5.10.

Figura. 5.10. Sección tipo, tramo Puente Piedra – Cruce El Rosal



5.1.4. Tramo 4 CRUCE EL ROSAL – EL VINO

Este tramo de carretera rural multicarril con dos carriles por sentido y una longitud aproximada de nueve (9) kilómetros, se desarrolla sobre una topografía montañosa presentando variedad de curvas y condiciones propias de carretera de montaña como taludes en los costados de la vía

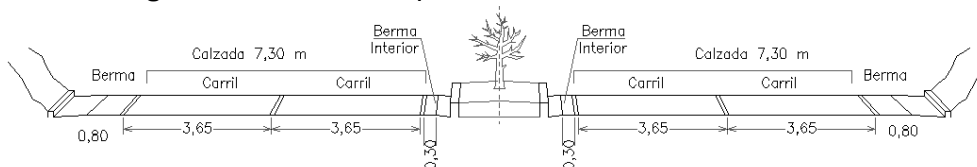
En este tramo se localiza el alto el Vino el punto más alto del tramo a 2835 msnm, destino reconocido para la práctica del ciclismo. La figura 5.11. Muestra una imagen del estado de la vía en este tramo

Figura 5.11. Tramo 4. Cruce El Rosal – El Vino



Sección Tipo: Como se muestra en la figura 5.12. La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros con ancho medio de berma exterior de 0,80 m y separador intermedio rígido con vegetación

Figura 5.12. Sección tipo, tramo Cruce El Rosal – El Vino



5.1.5. Tramo 5 EL VINO – LA VEGA

Tramo de veinticuatro (24) kilómetros de longitud, con topografía montañosa y presencia de predios rurales a ambos costados de la vía. Contiene la travesía urbana del Municipio de La Vega.

Figura 5.13. Tramo 5. El Vino – La Vega



Como se observa en la figura 5.13 Durante la ejecución del presente trabajo investigativo el tramo El Vino- La Vega se encontraba en obras de ampliación de la segunda calzada, por lo cual su sección es altamente variable mostrando diferentes secciones de vía.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Al encontrarse el tramo en obra, la sección varía encontrándose tramos en dos calzadas y tramos con solo una calzada en uso, razón por la cual no se puede definir una sección tipo que defina este tramo, adicionalmente las secciones han variado respecto a las secciones existentes al inicio del tiempo de observación. Considerando lo anterior este tramo no será considerado en el presente investigación.

5.1.6. Tramo 6 LA VEGA – VILLETA

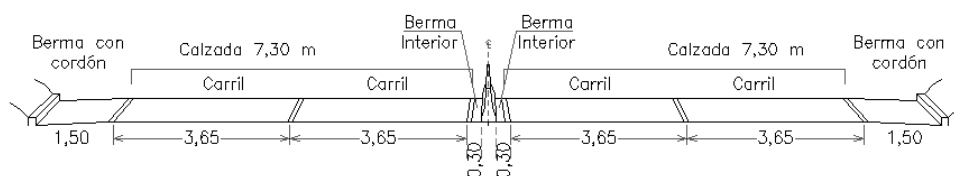
La figura 5.14. Muestra el último tramo de la primera vía presenta dos carriles por sentido y una longitud aproximada de veinticinco (25) kilómetros, con una topografía ondulada y presencia de predios rurales a ambos lados del camino. En este tramo se localiza el PEAJE CAIQUERO

Figura 5.14. Tramo 6. La Vega - Villeta



Sección Tipo: La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros con berma de 1,40 m de ancho con cordón lateral, esta vía se encuentra dividida con separador intermedio de hormigón tipo New Jersey como se muestra en la figura 5.15.

Figura 5.15. Sección tipo, tramo La Vega Villeta



5.2. VIA BOGOTA – BRICEÑO -TUNJA (TRAYECTO BOGOTÁ CALLE 236 – EL SISGA)

Vía que comunica a Bogotá con el nororiente del país, hace parte de la Ruta Nacional 55 que inicia en Bogotá y finaliza en la frontera con Venezuela Siguiendo la ruta que seguía el camino real que partía en Santafé de Bogotá, pasando por Tunja y Cúcuta culminando en la ciudad de Caracas. Se conoce como la Troncal Central del Norte según Decreto 1735 de 2001.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Las labores de operación, ampliación y mantenimiento corresponden al concesionario UNION TEMPORAL DEVINORTE para el tramo Bogotá - Briceño y CONSORCIO SOLARTE SOLARTE Bogotá – Tunja. La información general de las concesiones se presenta en las tablas 5.2. y 5.3.

Tabla 5.2. Ficha general Unión Temporal Devinorte

FICHA GENERAL DE CONCESIONES Fuente ANI	
CONCESIÓN	DESARROLLO VIAL DEL NORTE DE BOGOTA
No DE CONTRATO	664 de 1994
CONCESIONARIO	UNION TEMPORAL DEVINORTE
OBJETO	LA UNION TEMPORAL CONCESIONARIA SE OBLIGA A EJECUTAR SEGÚN LO ESTABLECIDO POR EL ARTICULO 32 DE LA LEY 80 DE 1993, LOS ESTUDIOS, DISEÑOS DEFINITIVOS, LAS OBRAS DE REHABILITACIÓN Y DE CONSTRUCCIÓN, LA OPERACIÓN, EL MANTENIMIENTO Y LA ADMINISTRACIÓN FIDUCIARIA DEL PROYECTO VIAL DENOMINADO “DESARROLLO VIAL DEL NORTE DE BOGOTÁ” EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA
LONGITUD	50,80 km

Tabla 5.3. Ficha general Consorcio Solarte Solarte

FICHA GENERAL DE CONCESIONES Fuente ANI	
CONCESIÓN	BRICEÑO TUNJA SOGAMOSO
No DE CONTRATO	0377 DE 2002
CONCESIONARIO	CONSORCIO SOLARTE SOLARTE
OBJETO	Otorgamiento al CONCESIONARIO de una concesión para que realice, por su cuenta y riesgo, los estudios y diseños definitivos, las obras de construcción, rehabilitación y mejoramiento, la operación y el mantenimiento de los Trayectos, la prestación de servicios y el uso de los bienes de propiedad del INVÍAS (hoy ANI) dados en concesión, para la cabal ejecución del Proyecto, bajo el control y vigilancia del INVÍAS (hoy ANI) y demás entidades competentes que determine la ley, y con la financiación que el CONCESIONARIO obtenga de los Prestamistas y provea de sus propios recursos y los Pagos Estatales que serán destinados a financiar parte del costo de la obra que deberá realizar el CONCESIONARIO en virtud del Contrato, incluida la Deuda Subordinada de los Accionistas
LONGITUD	319,08 km

A partir de las condiciones de la vía se establecieron cinco tramos homogéneos

- Tramo 7 BOGOTÁ – LA CARO
- Tramo 8 LA CARO – BRICEÑO
- Tramo 9 BRICEÑO – GACHANCIPÁ
- Tramo 10 GACHANCIPA – SESQUILE
- Tramo 11 SESQUILE – SISGA

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 5.16. Via Bogotá - Briceño - Sisga

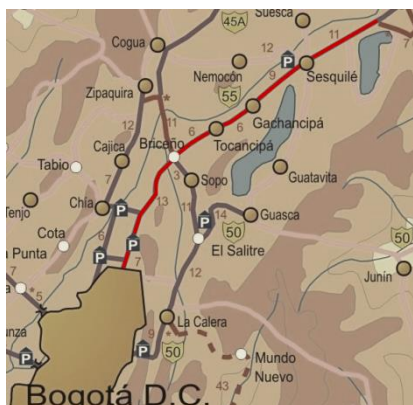
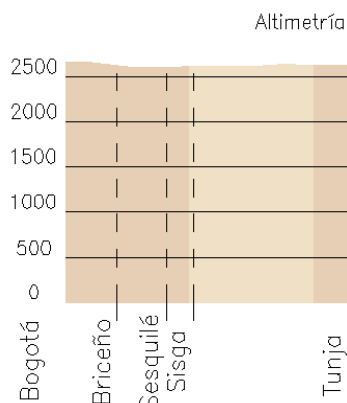


Figura 5.17. Altimetría trayecto



Como se puede observar en las figuras 5.16 y 5.17, la vía se desarrolla en un trayecto ondulado a plano entre Bogotá y Tunja dos ciudades de alturas similares

5.2.1. Tramo 7 BOGOTÁ – LA CARO

El primer tramo de la vía Bogotá-Briceño-Tunja, ilustrado en la figura 5.18. presenta una carretera rural multicarril con tres carriles por sentido y una longitud aproximada de siete (7) kilómetros, con una topografía plana y presencia de empresas y bodegas comerciales a ambos costados de la vía.

En este tramo se localiza el PEAJE LOS ANDES en el cual solo se realiza cobro en el sentido Bogotá-Tunja, En el sector La Caro se comunica la vía Bogotá – Tunja con los municipios de Chía y Zipaquirá.

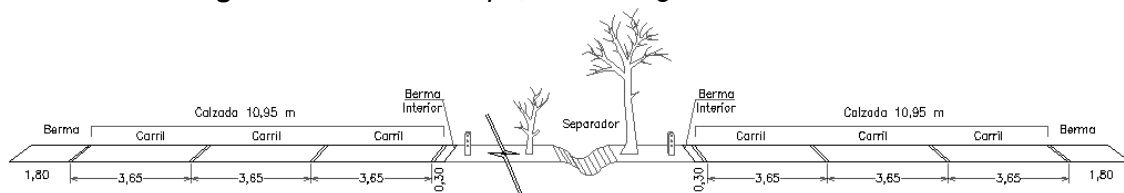
Figura 5.18. Tramo 7. Bogotá – La Caro



Sección Tipo: Como se muestra en la figura 5.19. La vía presenta tres carriles por sentido de 3,65 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,60 m, y separador intermedio de aproximadamente 40 metros, con presencia de árboles de diámetro variable y canal de drenaje.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 5.19. Sección tipo, tramo Bogotá – La Caro



5.2.2. Tramo 8 LA CARO - BRICEÑO

De manera similar al tramo anterior, este presenta tres carriles por sentido y una longitud aproximada de trece (13) kilómetros, con una topografía plana y predios rurales en ambos costados de la vía. En el sector de Briceño se encuentra localizado el Parque Jaime Duque, uno de los parques recreativos y culturales más importantes de la región. La figura 5.20. Muestra el estado de este tramo

Figura 5.20. Tramo 8. La Caro - Briceño



Sección Tipo: Como se muestra en la figura 5.21. La vía presenta tres carriles por sentido de 3,65 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,80 m y berma interior de 1,50 m, con separador intermedio de aproximadamente 20 metros, con presencia de arbustos y canal de desagüe.

Figura 5.21. Sección tipo, tramo La Caro - Briceño



5.2.3. Tramo 9 BRICEÑO – GACHANCIPÁ

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Este tramo, ilustrado en la figura 5.22., con diez (10) kilómetros de longitud, presenta topografía plana y presencia de predios rurales a ambos costados de la vía. Contiene la travesía Urbanas de Tocancipa y Gachancipá.

Figura 5.22. Tramo 9. Briceño – Gachancipá



Actualmente el tramo Briceño – Gachancipá se encuentra en obras de ampliación de la segunda calzada, por lo cual su sección es variable predominando una calzada con un carril en cada sentido

5.2.4. Tramo 10 GACHANCIPA - SESQUILE

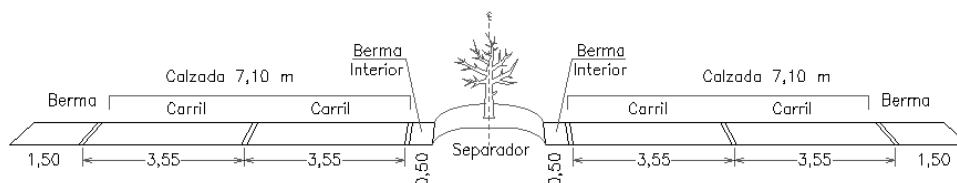
Tramo de carretera rural multicarril con dos carriles por sentido y una longitud aproximada de doce (12) kilómetros, con una topografía ondulada a plana y predios rurales a ambos lados del camino como se muestra en la figura 5.23. En este tramo se localiza el peaje EL ROBLE

Figura 5.23. Tramo 10. Gachancipá - Sesquilé



Sección Tipo: Como se muestra en la figura 5.24. La vía presenta dos carriles por sentido de 3,55 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,50 m, y separador intermedio rígido con vegetación.

Figura 5.24. Sección tipo, tramo Gachancipá - Sesquilé



5.2.5. Tramo 11 SESQUILE - SISGA

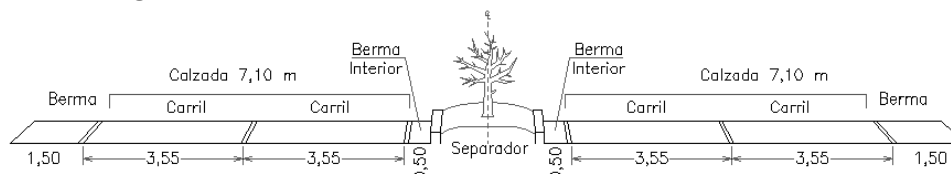
El último tramo analizado de la vía Bogotá -Tunja presenta dos carriles por sentido y una longitud aproximada de diez (10) kilómetros, con una topografía ondulada a plana y predios rurales a ambos lados del camino como se muestra en la figura 5.25.

Figura 5.25. Tramo 11. Sesquilé – Sisga



Sección Tipo: La vía presenta dos carriles por sentido de 3,55 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,50 m, y separador intermedio rígido con vegetación como se muestra en la figura 5.26.

Figura 5.26. Sección tipo, tramo Sesquilé - Sisga



5.3. VIA SOACHA- SILVANIA-GIRARDOT (TRAYECTO EMBALSE MUÑA – FUSAGASUGÁ - RICAURTE)

La vía Soacha – Silvania - Girardot forma parte del corredor Vial Bogotá – Buenaventura o Ruta Nacional 40, uno de los ejes viales más importantes del país que comunica el centro, occidente y sur de Colombia, incentivando su desarrollo económico.

Es una de las vías con mayor tránsito vehicular del país, generado principalmente por la concentración de movilización de carga y el desplazamiento de pasajeros desde y

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

hacia Bogotá, adicionalmente por ser la zona de atractivo turístico para el distrito capital. Este proyecto está localizado en los departamentos de Cundinamarca y Tolima, con una longitud aproximada de 132 Km., distribuidos en 110 Km. en Cundinamarca, y 22 Km. en el departamento de Tolima.

El área de influencia del corredor inicia en el distrito capital y recorre los municipios de Soacha, Granada, Silvania, Fusagasugá, Icononzo, Melgar, Nilo, Ricaurte, Suárez y Girardot.

Las labores de operación, ampliación y mantenimiento corresponden al concesionario SOCIEDAD CONCESIÓN AUTOPISTA BOGOTA - GIRARDOT S.A. La información general de la concesión se presenta en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Ficha general Concesión Autopista Bogotá - Girardot S.A.

FICHA GENERAL DE CONCESIONES Fuente ANI	
CONCESIÓN	CONCESIONARIO BOGOTA-GIRARDOT
No DE CONTRATO	GG-040 del 2004
CONCESIONARIO	SOCIEDAD CONCESIÓN AUTOPISTA BOGOTA - GIRARDOT S.A.
OBJETO	ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS, LA ADQUISICIÓN DE PREDIOS, LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN, LA OPERACIÓN Y EL MANTENIMIENTO DE DICHAS OBRAS, LA FINANCIACIÓN, LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS Y EL USO DE LOS BIENES DE PROPIEDAD DEL INCO DADOS EN CONCESIÓN, PARA LA CABAL EJECUCIÓN DEL PROYECTO VIAL "BOSA - GRANADA - GIRARDOT"
LONGITUD	131,75 km

Figura 5.27. Via Soacha – Silvania - Girardot

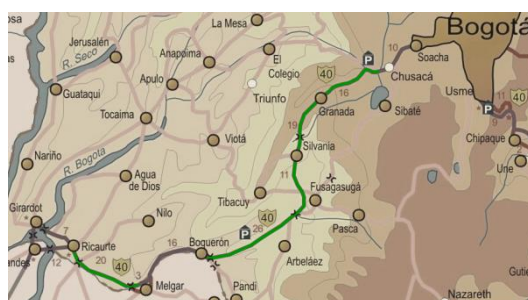
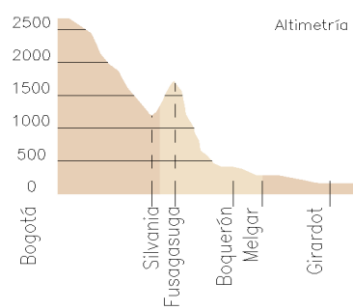


Figura 5.28. Altimetría trayecto



Como se puede observar en las figuras 5.27. y 5.28., la vía se desarrolla en un trayecto montañoso donde se desciende desde los 2600 hasta los 300 msnm en la Ciudad de Girardot a orillas del río Magdalena.

5.3.1. Tramo 12 T DEL SALTO – SILVANIA

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

El primer tramo analizado de la vía Bogotá Girardot es el Tramo T del Salto – Silvania, carretera rural multicarril con dos carriles por sentido y una longitud aproximada de treinta y cinco (35) kilómetros, con una topografía ondulada a montañosa y predios rurales a ambos lados del camino.

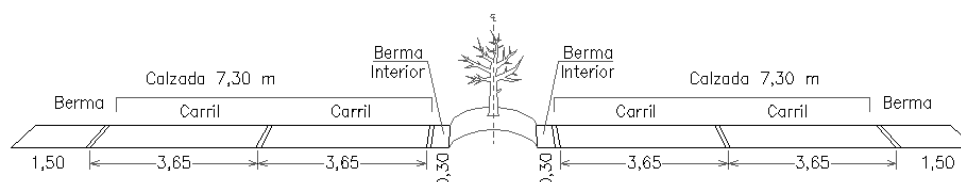
Este tramo, mostrado en la figura 5.29. Inicia en el sector del embalse El Muña, cerca al municipio de Soacha el cual es contiguo a la ciudad de Bogotá, en este tramo se localiza el PEAJE CHUZACÁ y el Alto de las Rosas a 2770 msnm

Figura 5.29. Tramo 12. T del Salto – Silvania



Sección Tipo: La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,50 m, con separador intermedio rígido con vegetación como se muestra en la figura 5.30.

Figura 5.30. Sección tipo, tramo T del Salto – Silvania



5.3.2. Tramo 13 SILVANIA – FUSAGASUGA

La vía continúa con este tramo de carretera rural multicarril, mostrado en la figura 5.31. con dos carriles por sentido y una longitud aproximada de ocho (8) kilómetros, con una topografía ondulada a plana, y predios rurales a ambos lados del camino

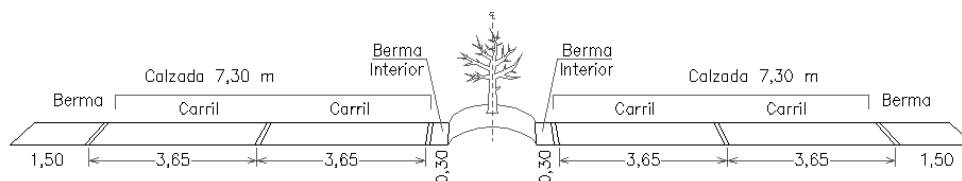
VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 5.31. Tramo 13. Sylvania – Fusagasuga



Sección Tipo: La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,50 m, con separador intermedio rígido con vegetación.

Figura 5.32. Sección tipo, tramo Sylvania - Fusagasuga



5.3.3. Tramo 14 FUSAGASUGA - CHINAUTA

Similar al tramo anterior este tramo de carretera rural multicarril, mostrado en la figura 5.33., con dos carriles por sentido y una longitud aproximada de veinticinco (25) kilómetros de longitud, recorre una topografía ondulada a plana, presenta predios rurales y paradores turísticos a ambos lados del camino. En este tramo se localiza el PEAJE CHINAUTA.

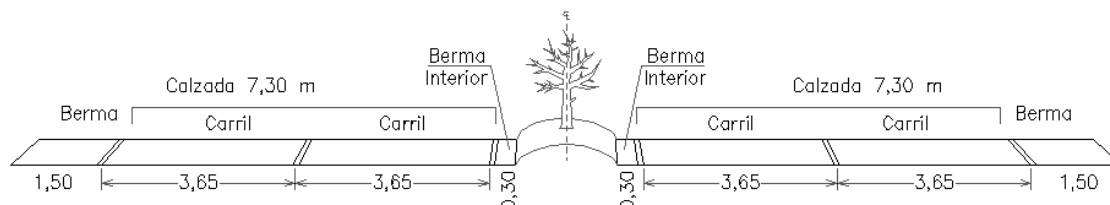
Figura 5.33. Tramo 14. Fusagasuga – Chinauta



VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Sección Tipo: La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,50 m, con separador intermedio rígido con vegetación como se muestra en la figura 5.34.

Figura 5.34. Sección tipo, tramo Fusagasuga - Chinauta



5.3.4. Tramo 15 DESCENSO BOQUERON

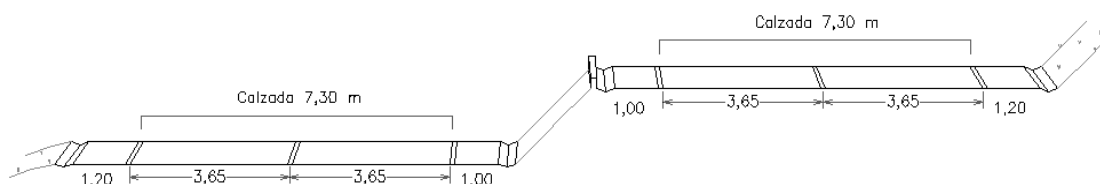
Una vez llegado al sector Chinauta se inicia el descenso al sector el boquerón, este tramo de carretera rural multicarril, mostrado en la figura 5.35., con dos carriles por sentido y una longitud aproximada de cinco (5) kilómetros de longitud, presenta una topografía montañosa, descendiendo desde los 810 msnm a los 460 msnm en el río Sumapaz.

Figura 5.35. Tramo 15. Descenso Boquerón



Sección Tipo: La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,20 m, en este tramo la doble calzada se separa, encontrándose talud como separador intermedio como se muestra en la figura 5.9.

Figura 5.36. Sección tipo, descenso Boquerón



5.3.5. Tramo 16 BOQUERON - MELGAR

Una vez cruzado el río Sumapaz, en el sector Boquerón, se encuentra el departamento de Tolima, en el la vía sigue con un tramo de carretera rural multicarril con dos carriles por sentido como se muestra en la figuras 5.37. y una longitud aproximada de cinco (5) kilómetros de longitud, con topografía montañosa. Este tramo incluye el Túnel Guillermo León Valencia paralelo al río Sumapaz estableciéndose dos secciones tipo en el tramo 16.

Figura 5.37. Tramo 16. Boquerón – Melgar. Vista en planta

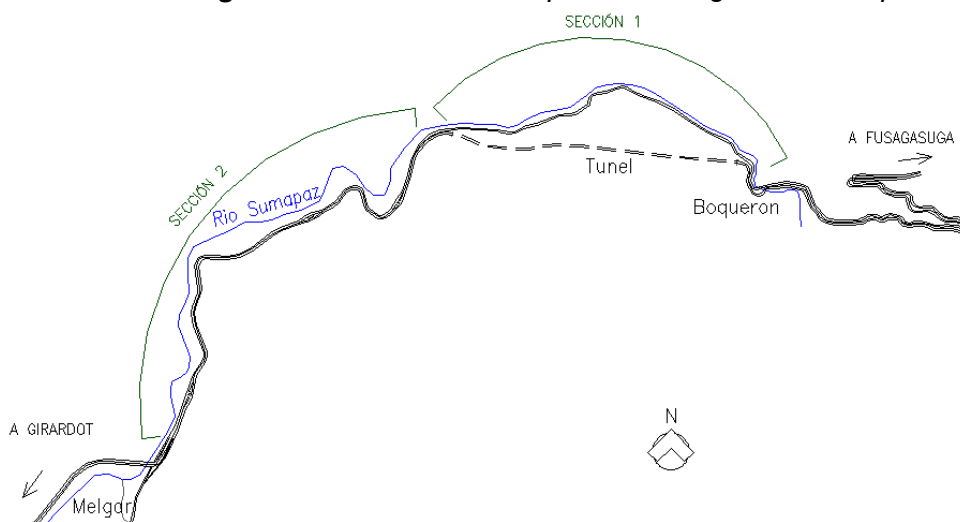


Figura 5.38. Tramo 16. Sección 1. Boquerón - Melgar



Sección Tipo 1: La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros cada uno, la calzada norte (sentido Fusagasugá – Girardot) sigue el trazado de la antigua vía contigua al río Sumapaz, mientras que la calzada sur recorre el Túnel construido bajo los cerros San Bartolo y las palomitas, con una longitud aproximada de 4 km. como se muestra en las figuras 5.38. y 5.39.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 5.39. Sección tipo 1, Boquerón - Melgar

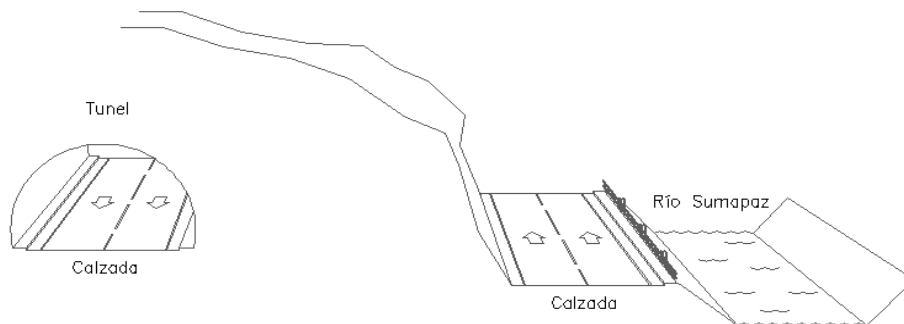
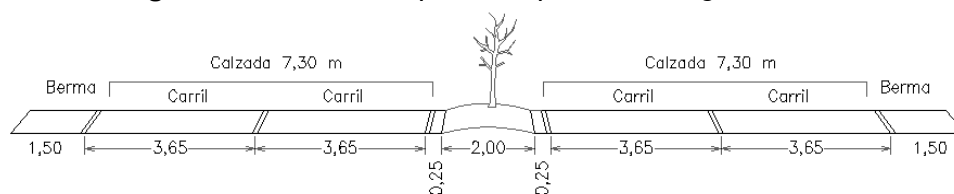


Figura 5.40. Tramo 16. Sección 2. Boquerón - Melgar



Sección Tipo 2: La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros cada uno con ancho medio de berma exterior de 1,50 m, con separador intermedio de 2,00 metros con vegetación de tallo delgado que lo que permite que se rompan sin causar mayor daño al vehículo, como se muestra en las figura 5.40. y 5.41

Figura 5.41. Sección tipo 2, Boquerón – Melgar



La totalidad de este tramo se encuentra localizada en el departamento de Tolima

5.3.6. Tramo 17 MELGAR - RICAURTE

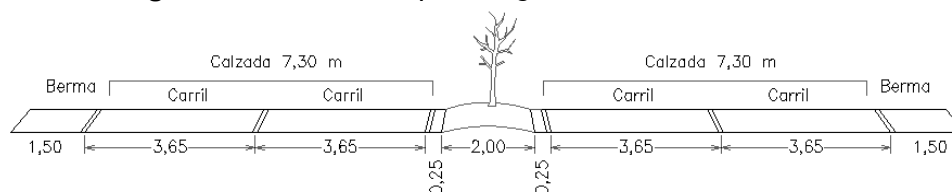
Al llegar a la variante de Melgar se regresa al departamento de Cundinamarca con un tramo de carretera rural multicarril con dos carriles por sentido y una longitud aproximada de catorce (14) kilómetros de longitud, con topografía plana como se muestra en la figura 5.42.. Iniciando en la variante de Melgar y terminando en la intersección de El Paso (inicio variante Girardot).

Figura 5.42. Tramo 17. Melgar Ricaurte



Sección Tipo: La vía presenta dos carriles por sentido de 3,65 metros cada uno, con ancho medio de berma exterior de 1,50 m, con separador intermedio de 2,00 metros con vegetación de tallo delgado que lo que permite que esta se rompa sin causar mayor daño al vehículo como se muestra en la figura 5.43.

Figura 5.43. Sección tipo, Melgar Ricaurte



5.3.7. Tramo 18 RICAURTE - GIRARDOT

Se llega a Girardot con un tramo de carretera rural de una Calzada con un carril por sentido y una longitud aproximada de quince (15) kilómetros de longitud, con topografía plana y presencia de predios rurales y paradores turísticos a ambos lados del camino como se muestra en la figura 5.44., Inicia en el sector el Paso donde se intersecta con la vía Espinal-Ibagué. Considerando la sección del tramo, al no ser una vía multicarril, este tramo no será considerado en el presente investigación.

Figura 5.44. Tramo 18, Ricaurte - Girardot



6. APLICACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

De los dieciocho tramos presentados en el capítulo 5, para la presente investigación se seleccionaron los doce tramos que cumplieren con la condición de ser vías rurales multicarril con dos carriles por sentido, la selección de estos tramos se presenta en la Tabla 6.1. Ilustrándose los mismos en la figura 6.1.

En el presente capítulo se aplicará del modelo predictivo del Manual de Seguridad Vial (HSM) sobre estos doce tramos seleccionados

Tabla 6.1. Resumen tramos analizados

TRAMO	SECTOR	LONG	DE	A	TIPO	VoBo
OCCIDENTE						
1	BOGOTA – SIBERIA	5	0	5	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
2	SIBERIA - PUENTE PIEDRA	10	5	15	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
3	P PIEDRA - CRUCE EL ROSAL	7	15	22	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
4	CRUCE EL ROSAL - EL VINO	9	22	31	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
5	EL VINO - LA VEGA	24	31	55	VIA CON SECCIÓN VARIABLE	NO
6	LA VEGA – VILLETA	25	55	80	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
NORTE						
7	BOGOTA - LA CARO	7	0	7	VIA RURAL MULTICARRIL (3-3)	NO
8	LA CARO-BRICEÑO	13	7	20	VIA RURAL MULTICARRIL (3-3)	NO
9	BRICEÑO-GACHANCIPA	10	20	30	VIA CON SECCIÓN VARIABLE	NO
10	GACHANCIPA-SESQUILE	12	30	42	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
11	SESQUILE-EL SISGA	10	42	52	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
SUR						
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	35	80	115	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	8	72	80	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	25	47	72	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
15	DESCENSO BOQUERON	5	42	47	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
16	BOQUERON – MELGAR	13	29	42	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	NO
17	MELGAR-RICAURTE	14	15	29	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	SI ✓
18	RICAURTE-GIRARDOT	15	0	15	VIA RURAL MULTICARRIL (2-2)	NO

De la vía Bogotá- La Vega-Honda no fue considerado el tramo El Vino – La Vega al encontrarse en obras de ampliación de la segunda calzada en el periodo de investigación, por lo que las características no fueron homogéneas en el lapso de tiempo.

De la vía Bogotá – Briceño -Tunja no se seleccionaron los tramos Bogotá - La Caro y La Caro - Briceño las cuales presentan tres carriles por sentido. El tramo Briceño - Gachancipa no fue considerado al encontrarse en obras de ampliación de la segunda calzada y construcción de la variante en el municipio de Tocancipá.

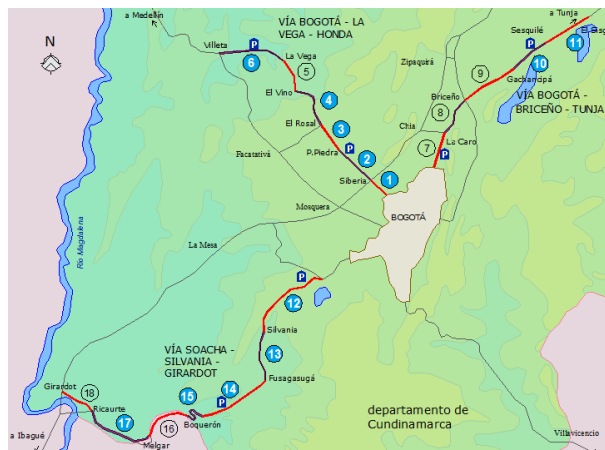
Por último, de la vía Soacha- Silvania -Girardot no fue considerado el tramo Boquerón – Melgar al encontrarse todo sobre el departamento de Tolima y no contarse con datos

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

de accidentalidad, ni tampoco el tramo Ricaurte - Girardot el cual presenta como sección una calzada con un carril por sentido.

La figura 6.1. Muestra la localización de cada uno de los tramos analizados en la presente investigación.

Figura. 6.1. Localización Tramos analizados



6.1. TRANSITO

Se denomina volumen de tránsito al número de vehículos que pasa por un tramo dado durante un período de tiempo, estando este volumen relacionado directamente con el número de accidentes en un lugar.

La incorporación del efecto del volumen de tránsito sobre la frecuencia de accidentes en el modelo predictivo del Manual de Seguridad Vial se hace través de la Función de desempeño de seguridad (SPF) como función del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA), esta es una medida fundamental del tránsito y en el sentido estricto se define como el volumen de tránsito total anual dividido por el número de días del año.

Para el caso particular de las vías en estudio se cuenta con los datos de TMDA a partir de las estadísticas correspondientes al flujo en las estaciones de Peaje que se encuentran localizadas sobre los tramos analizados, pero esta información es limitada, contando con que la mayoría de estos tramos no cuentan con las estaciones de peaje.

Tabla 6.2. T.M.D.A. (Veh/día) en estaciones de Peaje

TRAMO	SECTOR	Km	PEAJE	2010	2011	2012	2013	2014
OCCIDENTE								
1	BOGOTA - SIBERIA							
2	SIBERIA - PUENTE PIEDRA	9	SIBERIA	12261	12276	13914	14310	14796
3	P PIEDRA - CR EL ROSAL							
4	CRUCE EL ROSAL - EL VINO							
5	EL VINO - LA VEGA							
6	LA VEGA - VILLETA	68	CAIQUERO	3722	3093	4536	5012	5184

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

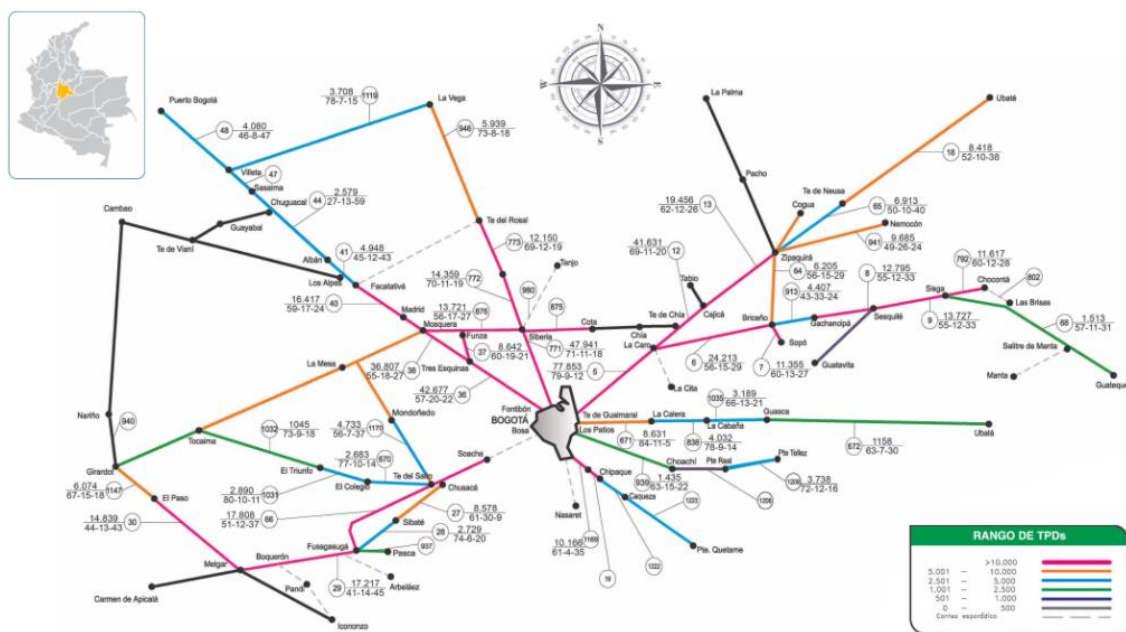
NORTE							
7	BOGOTA - LA CARO	1	ANDES*	24493	28155	29644	32710 32750
8	LA CARO-BRICEÑO						
9	BRICEÑO-GACHANCIPA						
10	GACHANCIPA-SESQUILE	31	EL ROBLE	11658	12443	13615	9269 14960
11	SESQUILE-EL SIGSA						
SUR							
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	107	CHUSACÁ	15537	17653	18808	19273 20932
13	SILVANIA-FUSAGASUGA						
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	57	CHINAUTA	12775	15014	15700	15993 17256
15	DESCENSO BOQUERON						
16	BOQUERON – MELGAR						
17	MELGAR-RICAURTE						
18	RICAURTE-GIRARDOT						

Fuente INVIAS

*Peaje LOS ANDES solo registra el tránsito en sentido Sur-Norte.

Como una segunda fuente de información del Tránsito en los tramos intervenidos se consideró el reporte de Tránsito medio diario semanal TMDS que se presenta en el reporte de volúmenes de Transito del ministerio de Transporte.

Figura. 6.2. TMDs En vías de Cundinamarca año 2011



En este reporte se representa el tránsito de diferentes tramos de las vías nacionales a partir del flujo medido en estaciones puntuales que cuantifican el tránsito presentado a partir de medición de TMDs como se muestra en la tabla 6.3.

Tabla 6.3. T.M.D.S. (Veh/día) en los tramos analizados

TR	SECTOR	ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014
OCCIDENTE								
1	BOGOTA - SIBERIA	771	47502	52116	47941	46497	55960	40849
2	SIBERIA - PUENTE PIEDRA	772	12472	12997	14359	14793	16096	15274

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

3	P PIEDRA - CR EL ROSAL	773	10918	10424	12150	13051	15016	14652
4	CR EL ROSAL - EL VINO	946	5048	5776	5939	6954	8063	7563
6	LA VEGA - VILLETA	1119	3495	3980	3708	4620	5273	4870
NORTE								
10	GACHANCIPA-SESQUILE	8	10660	11580	12795	14191	15593	14407
11	SESQUILE-EL SISGA	9	8839	8968	13727	12973	12625	13107
SUR								
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	66	9879	14263	17808	20458	16319	17339
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	66	9879	14263	17808	20458	16319	17339
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	29	10152	12612	17217	13958	17249	18068
15	DESCENSO BOQUERON	29	10152	12612	17217	13958	17249	18068
17	MELGAR-RICAURTE	30	8669	11366	14839	11542	16275	15052

Esta información permite tener datos de Volúmenes de tránsito en todos los tramos analizados, pero tiene el inconveniente de que al ser TMDs (Transito medio diario semanal) no representa de una manera exacta el TMDA (Transito medio diario Anual).

6.1.1. Relación TMDA - TMDS

Tanto el TMDA (Transito medio diario Anual), como el TMDs (Transito medio diario semanal) son medidas que representan el Volumen de transito mostrando el número de vehículos que pasan por un punto determinado para un periodo de tiempo de un día, la diferencia radica en que el TMDA se obtiene de una medición total de vehículos en el año y el TMDs de una medición semanal.

$$\text{TMDA} = \frac{\text{Transito medido en el año}}{365} \quad [6-1]$$

$$\text{TMDS} = \frac{\text{Transito medido en una semana}}{7} \quad [6-2]$$

Esta diferencia tiene dos consecuencias, en primer lugar hace más económico la obtención del TMDS, ya que se requiere menor tiempo de aforo, y en segundo lugar, el TMDS representa con menor exactitud el tránsito en la vía, ya que al contar únicamente los vehículos de una semana, no toma en cuenta las variaciones que ocurren en el año, dejando de considerar el efecto de los viajes que no se realizaron en la semana de medición, así como el efecto de los viajes que se realizaron en esta semana pero no se efectúan todas las semanas.

Para los tramos considerados en el presente estudio, no fue posible contar con la información de Transito Medio Diario Anual (TMDA) para la totalidad de los tramos, pero, a partir del TMDS y los datos de TDMA con los que se contaba, se buscó establecer el comportamiento del tránsito a partir de la relación entre estas dos medidas de volumen vehicular.

6.1.2. Estimación TMDA

La información de las estaciones de peaje permite obtener directamente el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) para los tramos 2, 6, 12, 13, 14 y 15; Para estimar el TMDA en los tramos faltantes se consideró que los efectos de la estacionalidad al obtener el Tránsito medio diario semanal (TMDS), son similares entre los tramos más cercanos, a partir de lo cual se estableció un coeficiente que relacione estas dos medidas del tránsito vehicular de la siguiente manera:

$$\text{Para el año } i \rightarrow K_i = \text{TMDA}_i / \text{TMDS}_i \quad [6-3]$$

$$\text{Para el tramo } \rightarrow K = \sum K_i / n \quad [6-4]$$

De esta manera para cada uno de los tramos en los que se cuenta con estación de peaje se obtiene un valor de anual de K y el valor total para este tramo se obtendrá promediando los valores anuales.

Finalmente el valor resultante de la constante K será aplicado en los tramos cercanos haciendo:

$$\text{TMDA} = K * \text{TMDS} \quad [6-5]$$

En la tabla 6.4. Se muestra la obtención de los valores de K para cada uno de los tramos con estación de peaje a partir de las ecuaciones [6-3] y [6-4]

Tabla 6.4. Estimación del coeficiente K para los tramos con estación de peaje

TRAMO	SECTOR	ESTACIÓN	2010	2011	2012	2013	2014	K
2	SIBERIA - P PIEDRA	772	12997	14359	14793	16096	15274	
		PEAJE	12261	12276	13914	14310	14796	
		COEF.	0,943	0,855	0,941	0,889	0,969	0,919
6	LA VEGA - VILLETA	1119	3980	3708	4620	5273	4870	
		PEAJE	3722	3093	4536	5012	5184	
		COEF.	0,935	0,834	0,982	0,951	1,064	0,953
10	GACH - SESQUILE	8	11580	12795	14191	15593	14407	
		PEAJE	11658	12443	13615	9269	14960	
		COEF.	1,007	0,972	0,959	0,594	1,038	0,914
12	T SALTO - SILVANIA	66	14263	17808	20458	16319	17339	
		PEAJE	15537	17653	18808	19273	20932	
		COEF.	1,089	0,991	0,919	1,181	1,207	1,078
14	FUSAG - CHINAUTA	29	12612	17217	13958	17249	18068	
		PEAJE	12775	15014	15700	15993	17256	
		COEF.	1,013	0,872	1,125	0,927	0,955	0,978

La tabla 6.5 muestra la estimación del T.M.D.A. (Veh/día) en los tramos analizados a partir de los coeficientes K obtenidos para cada tramo con estación de Peaje de la siguiente manera:

- Para los tramos 1 y 3 coeficiente hallado para el tramo 2

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

- Para el tramo 4 coeficiente hallado para el tramo 6
- Para el tramo 11 coeficiente hallado para el tramo 10
- Para el tramo 17 coeficiente hallado para el tramo 14

Tabla 6.5. Estimación del T.M.D.A. (Veh/día) en los tramos analizados

TRAMO	SECTOR	ESTACIÓN	2010	2011	2012	2013	2014
OCCIDENTE							
1	BOGOTA - SIBERIA	771	47912	44073	42746	51445	37554
2	SIBERIA - P PIEDRA	772	12261	12276	13914	14310	14796
3	P PIEDRA - C ROSAL	773	9583	11170	11998	13805	13470
4	C ROSAL - EL VINO	946	5506	5661	6629	7686	7209
6	LA VEGA - VILLETA	1119	3722	3093	4536	5012	5184
NORTE							
10	GACH - SESQUILE	8	11580	12795	14191	15593	14407
11	SESQUILE - SISGA	9	8199	12550	11861	11543	11984
SUR							
12	TE SALTO - SILVANIA	66	15537	17653	18808	19273	20932
13	SILVANIA - TE SALTO	66	15537	17653	18808	19273	20932
14	FUSAG - CHINAUTA	29	12775	15014	15700	15993	17256
15	DESC BOQUERON	29	12775	15014	15700	15993	17256
17	MELGAR - RICAURTE	30	11121	14519	11293	15924	14727

6.2. ACCIDENTES

Para Calibrar los modelos presentados y a la vez verificar la validez de los mismos es necesario conocer los antecedentes de accidentes en la vía tanto en número como en características de los mismos, para lo cual se requiere contar con información confiable y en un rango suficientemente amplio que nos brinde un número significativo de datos.

6.2.1. Base de datos ministerio de transporte

Como primera información de referencia de accidentes se contó con la base de datos del ministerio de transporte para el año 2013. Considerando que esta base de datos los presentaba por progresiva, se logró distribuir la información de accidentes por cada tramo establecido.

Además del número de accidentes esta base de datos nos brinda información adicional sobre Gravedad del accidente, hora, clase de accidente e hipótesis como se presenta en la tabla 6.6.

Tabla 6.6. Presentación de información base de datos ministerio de transporte

FECHA	AREA	GRAVEDAD ACC	HORA	MUNICIPIO	CLASE	DIRECCION	HIPOTESIS
01/01/13	RURALES	CON HERIDOS	15:00	GIRARDOT	CHOQUE	PAS PASO POR TOCAIMA	OTRA
01/01/13	URBANOS	CON HERIDOS	00:00	MEDELLIN	CHOQUE	CRA 1 0 CLL 2 0	OTRA
01/01/13	RURALES	SOLO DAÑOS	03:35	RIONEGRO	VOLCAMIENTO	RAM RIONEGRO - AEROP	OTRA
01/01/13	RURALES	SOLO DAÑOS	12:00	MANIZALES	CHOQUE	RAM SAN JOSE DEL FRA	OTRA
01/01/13	RURALES	SOLO DAÑOS	08:30	BARBOSA	CHOQUE	SRM EL CANGREJO - AG	EMBRIAGUEZ

Es de resaltar que la clase de accidente presentada en la base de datos del ministerio varía con respecto al tipo de accidente referido en el manual donde se habla de

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

accidentes por salidas de carretera, colisión Frontales, Colisión por roce , colisión por alcance, Embestida o Atropellamiento.

Tabla 6.7. Accidentes en los tramos analizados base de datos ministerio de transporte

TRAMO	SECTOR	Long	ACCID	DAÑO	HERD	MUER	DIA	NOCH
OCCIDENTE								
1	BOGOTA – SIBERIA	5	114	102	11	1	77	37
2	SIBERIA - P PIEDRA	10	52	36	15	1	37	15
3	P PIEDRA - CR ROSAL	7	23	14	6	3	12	11
4	CR ROSAL - EL VINO	9	32	25	7	0	18	14
5	EL VINO - LA VEGA	24	53	46	5	2	30	23
6	LA VEGA – VILLETA	25	59	49	8	2	33	26
NORTE								
7	BOGOTA - LA CARO	7	82	55	26	1	64	18
8	LA CARO-BRICEÑO	13	63	39	18	6	45	18
9	BRICEÑO-GACHANCIPA	10	56	26	27	3	34	22
10	GACHANCIPA-SESQUILE	12	29	18	11	0	19	10
11	SESQUILE-EL SISGA	10	19	7	9	3	10	9
SUR								
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	35	136	100	31	5	77	59
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	8	48	43	5	0	35	13
14	FUSAG-CHINAUTA	25	100	81	13	6	62	38
15	DESCENSO BOQUERON	5	34	26	6	2	25	9
16	BOQUERON - MELGAR	13	41	33	8	0	29	12
17	MELGAR-RICAURTE	14	35	20	10	5	22	13

Para la clasificación de accidentes diurnos y nocturnos se consideraron accidentes nocturnos los ocurridos entre las 6:00 PM y las 5:59 AM.

6.2.2. Base de datos policía de carreteras de Cundinamarca

De igual forma y buscando ampliar la relación de Accidentes de tránsito se contó con la base de datos de la policía de carreteras de Cundinamarca para los años 2010 – 2014 información presentada como se muestra en la tabla 6.8.

Tabla 6.8. Presentación de información pase de datos Policía de Carreteras

FECHA	HORA	RUTA - VIA	KM.	CLASE DE ACCIDENTE	HIPOTESIS PRINCIPAL
01/01/2013	22 A 23	LA VARA - APULO	63+945	OBJETO FIJO	SALIRCE DE LA CALZADA
01/01/2013	20 A 21	SOACHA - SILVANIA	93+400	ATROPELLO	CRUZAR SIN OBSERVAR
01/01/2013	16 A 17	BRICEÑO - EL SISGA	22+800	CHOQUE	ADELANTAR POR LA DERECHA
01/01/2013	16 A 17	VARIANTE CAJICA	02+00	OBJETO FIJO	SUEÑO POR CANSANCIO

De manera similar a la base de datos del Ministerio, La policía de carreteras de Cundinamarca brinda información del número de accidentes, así como la hora, clase de accidente e hipótesis aunque esta no nos presenta gravedad del accidente

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Tabla 6.9. Accidentes en los tramos analizados según base de datos de la Policía de Carreteras de Cundinamarca

TRAMO	SECTOR	LONG	DE	A	2010	2011	2012	2013	2014
OCCIDENTE									
1	BOGOTA – SIBERIA	5	0	5	86	81	126	123	148
2	SIBERIA - PUENTE PIEDRA	10	5	15	48	34	50	51	55
3	P PIEDRA - CRUCE EL ROSAL	7	15	22	20	18	24	22	24
4	CRUCE EL ROSAL - EL VINO	9	22	31	30	23	35	36	35
6	LA VEGA – VILLETA	25	55	80	33	36	36	47	46
NORTE									
7	BOGOTA - LA CARO	7	0	7	51	59	59	84	107
8	LA CARO-BRICEÑO	13	7	20	47	61	66	68	73
10	GACHANCIPA-SESQUILE	12	30	42	35	26	23	30	18
11	SESQUILE-EL SISGA	10	42	52	18	15	13	18	28
SUR									
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	35	80	115	93	110	152	184	206
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	8	72	80	37	40	39	41	47
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	25	47	72	98	107	88	98	104
15	DESCENSO BOQUERON	5	42	47	34	32	33	35	36
17	MELGAR-RICAURTE	14	15	29	37	28	25	39	56

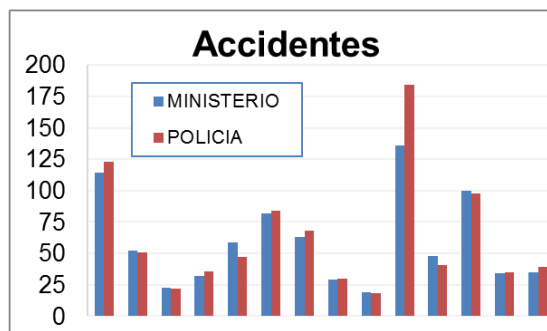
Es de resaltar que para el año en común (2013) los accidentes observados no coinciden entre las dos bases de datos, aunque muestran cierta similitud como se muestra en la tabla 6.10 y figura 6.3

Tabla 6.10. Comparación bases de datos (año 2013)

TRAMO	SECTOR	MINISTERIO	POLICIA
1	BOGOTA - SIBERIA	114	123
2	SIBERIA - PUENTE PIEDRA	52	51
3	P PIEDRA - CR EL ROSAL	23	22
4	CRUCE EL ROSAL - EL VINO	32	36
6	LA VEGA - VILLETA	59	47
7	BOGOTA - LA CARO	82	84
8	LA CARO-BRICEÑO	63	68
10	GACHANCIPA-SESQUILE	29	30
11	SESQUILE-EL SISGA	19	18
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	136	184
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	48	41
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	100	98
15	DESCENSO BOQUERON	34	35
17	MELGAR-RICAURTE	35	39

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 6.3. Comparación bases de datos accidentes



Aunque en promedio la diferencia es del 6% tramos como LA VEGA – VILLETA y TE DEL SALTO-SILVANIA presentan diferencias mayores del 20%, diferencia que debe ser considerada al momento de aplicar los modelos y establecer conclusiones

6.2.3. Informe de accidentes de tránsito

Para relacionar de una manera más adecuada el accidente presentado con las condiciones de la vía, se requiere una base de datos de accidentes continua, confiable y completa, y las condiciones de esta base de datos se definen desde la toma de datos en el lugar del accidente.

En Colombia esta toma de datos se realiza mediante el Informe Policial de Accidente de Tránsito, como se ilustra en la figura 6.4., tanto el informe adoptado según resolución 004040 del 28 de diciembre de 2004 como el adoptado mediante resolución no. 0011268 de 2012 presentan 5 opciones de clase de accidente como lo son: choque, atropellamiento, caída ocupante, incendio u otro, no permitiendo relacionar el accidente con las condiciones de la vía.

Figura 6.4. Informe de accidente de tránsito

INFORME POLICIAL DE ACCIDENTE DE TRÁNSITO No. 000000000

1. ORGANISMO DE TRÁNSITO

2. GRAVEDAD: CON MUERTOS, CON HERIDOS, SOLO DAÑOS

3. LUGAR O COORDENADAS GEOGRÁFICAS: Lat., Long., LOCALIDAD O COMUNA

4. FECHA Y HORA: FECHA Y HORA DE OCURRENCIA, FECHA Y HORA DE LEVANTAMIENTO

5. CLASE DE ACCIDENTE: CHOQUE (1), CAÍDA OCUPANTE (4), ATROPELLADO (2), INCENDIO (5), VOLCAMIENTO (3), OTRO (6)

5.1. CHOQUE CON 5.2. OBJETO FIJO: VEHICULO (1), TREN (2), SEMOVIENTE (3), OBJETO FIJO (4), MURO (1), POSTE (2), ARBOL (3), BARANDA (4), SEMAFORO (1), INMUEBLE (2), HIDRATANTE (3), VALLA SEÑAL (4), TARRINA, CASETA (5), VEHICULO ESTACIONADO (6), OTRO (7)

6. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR: 6.1. ÁREA (RURAL, NACIONAL, DEPARTAMENTAL, MUNICIPAL, URBANA), 6.2. SECTOR (RESIDENCIAL, INDUSTRIAL, COMERCIAL), 6.3. ZONA (ESCOLAR, TURISTICA, PRIVADA, MILITAR, HOSPITALARIA, DEPORTIVA), 6.4. DISEÑO (SILOBRITA, INTERSECCIÓN, LOTE O PREDIO, PASO A NIVEL, PONTÓN, CICLO RUTA, PASO ELEVADO, PASO INFERIOR, PEATONAL, PUENTE, TRAMO DE VÍA, TÚNEL), 6.5. CONDICIÓN CLIMÁTICA (GRANIZO, LLUVIA, NIEBLA, VIENTO, NORMAL)

7. CARACTERÍSTICAS DE LAS VÍAS

Además de la inexactitud en la información entre las dos fuentes, no contar con la información fidedigna del accidente, introduce otro factor de incertidumbre ya que dificulta relacionar los accidentes con las condiciones de la vía.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Desde una información con calidad se puede conocer mejor la situación existente y así establecer medidas a tomar más acordes con las necesidades contribuyendo así a reducir el número de accidentes.

Como una forma de ilustrativa de mostrar la relación entre la calidad de la información con el número de accidentes, se utilizó la información de la investigación “RoadsKill”, (Hundley 2013) presentada por Tom Hundley del Pulitzer Center mediante un mapa interactivo en el que revela la situación en cada país en cuanto a muertes por accidentalidad vial.

Figura 6.5. Mapa interactivo centro Pulitzer



Con la información establecida en la página <http://roadskillmap.com/> se realizaron dos mapas, en primer lugar un mapa que presenta para una serie de países el número de muertes por accidentes por cada 100.000 personas tal y como lo presenta directamente el reporte y, en segundo lugar, un mapa con la variación de la información reportada frente a la información estimada.

Figura 6.6. Muertes por accidentes por cada 100.000 hab

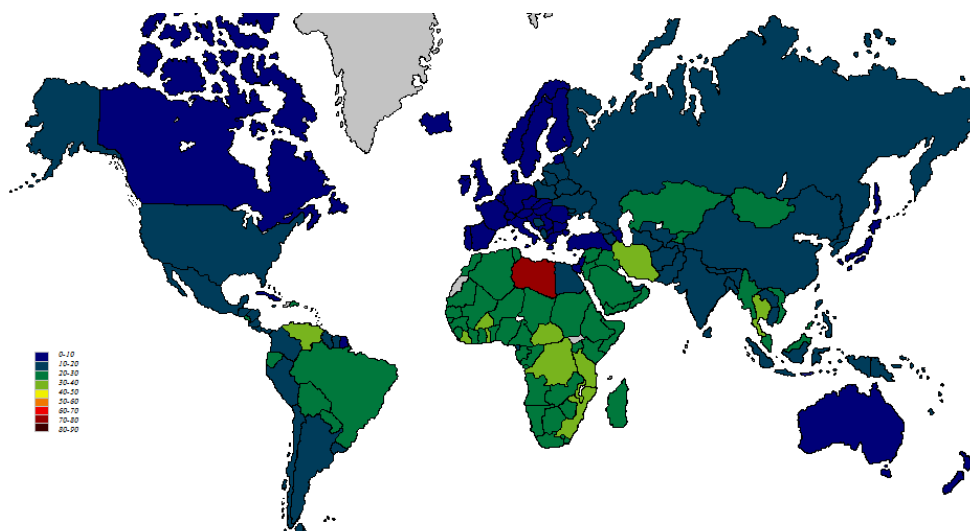
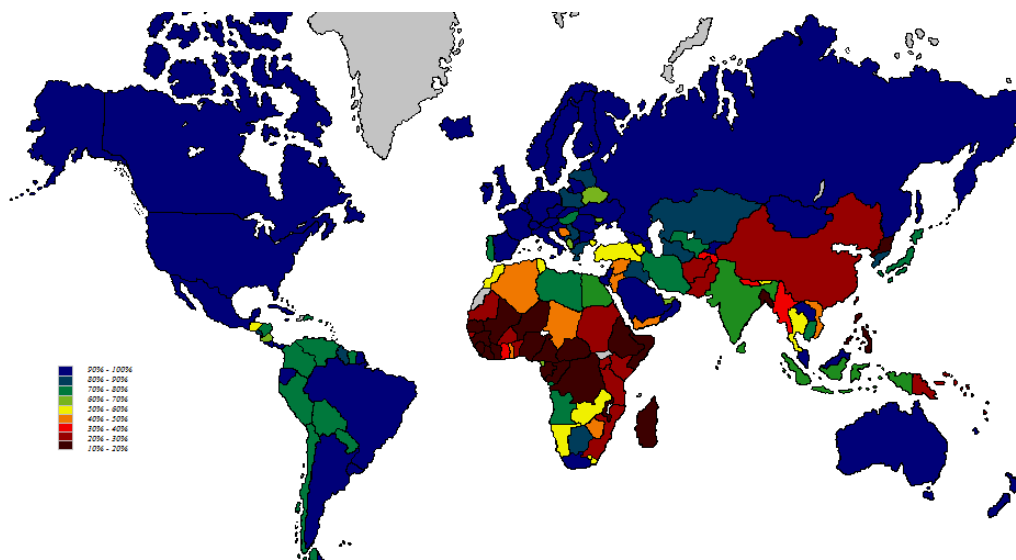


Figura 6.7. Relación accidentes reportados frente a accidentes estimados



En las figuras 6.6. y 6.7 se puede observar como en los sectores con mayor exactitud en la información (tonos azul) como Europa o Norte América se presentó el menor número de muertes por accidentes de tránsito, caso contrario al de sectores como África o el sur de Asia.

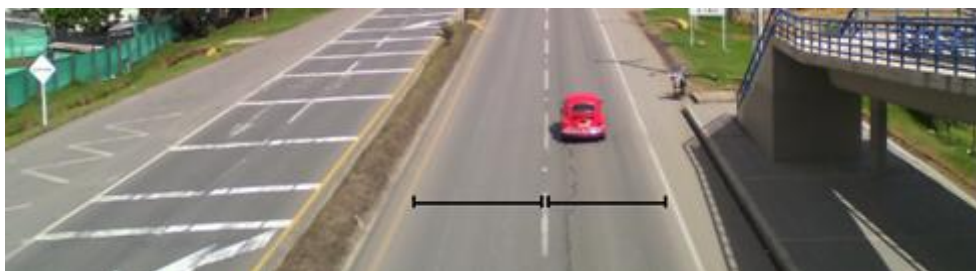
6.3. FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACCIDENTES (CMFs) PARA LOS TRAMOS EN ESTUDIO

Con la información existente se procedió a determinar los cinco factores de modificación de accidentes (CMFs) presentados en el manual para las vías rurales multicarril para cada uno de los tramos en estudio.

6.3.1. Ancho de Carril

En los diferentes tramos considerados se identificó que la condición más constante es el ancho de carril variando entre 3,55 a 3,65

Figura 6.8. Ancho de Carril Tramo Puente Piedra – El Rosal



VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

El Manual de Seguridad Vial propone un factor de modificación de accidentes por Ancho de carril (CMF_{1rd}) como función del Factor de modificación de accidentes para accidentes relacionados con el ancho de carril (CMF_{RA}) y de la proporción del total de accidentes constituido por accidentes relacionados con el ancho de carril (p_{RA})

$$CMF_{1rd} = (CMF_{RA} - 1.0) \times p_{RA} + 1.0 \quad [6-5]$$

Al ser el CMF_{RA} función del tránsito y del ancho de carril se determina directamente mediante la aplicación de la tabla 4.2.

Tabla 6.11. CMF_{RA} para tramos analizados

	TRAMO	TMDs 2013	ANCHO DE CARRIL		CMF_{RA}
			(m)	(pies)	
1	BOGOTA - SIBERIA	63.578	3,65	11,98	1,00
2	SIBERIA - PUENTE PIEDRA	16.127	3,65	11,98	1,00
3	PUENTE PIEDRA - CR EL ROSAL	13.474	3,65	11,98	1,00
4	CRUCE EL ROSAL - EL VINO	7.739	3,65	11,98	1,00
6	LA VEGA - VILLETA	5.083	3,65	11,98	1,00
10	GACHANCIPA-SESQUILE	15.653	3,55	11,65	1,01
11	SESQUILE-EL SISGA	14.496	3,55	11,65	1,01
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	19.937	3,65	11,98	1,00
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	19.937	3,65	11,98	1,00
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	19.720	3,65	11,98	1,00
15	DESCENSO BOQUERON	19.720	3,65	11,98	1,00
17	MELGAR-RICAURTE	16.309	3,65	11,98	1,00

Al no contar con información sobre el tipo de accidente, se buscó hacer una estimación a partir de la información con la que se cuenta para estimar la proporción de relacionados con el ancho de carril sobre el total de accidentes (p_{RA})

El informe brindado por la policía de carreteras de Cundinamarca presenta la información como se presenta en la tabla 6.12.

Tabla 6.12. Base de datos Policía de Carreteras de Cundinamarca

FECHA	HORA	RUTA - VIA	KM.	CLASE DE ACC	HIPOTESIS
19/11	12 A 13	BOGOTA - BRICEÑO	01+400	CHOQUE	FALTA DE PRECAUCION POR LLUVIA
17/04	07 A 08	BOGOTA - BRICEÑO	01+700	VOLCAMIENTO	EXCESO DE VELOCIDAD
17/02	06 A 07	BOGOTA - BRICEÑO	02+400	CHOQUE	EXCESO DE VELOCIDAD

Siendo la hipótesis el único dato que brinda información adicional sobre el accidente, se buscó relacionar cada hipótesis con algún tipo de accidentes presentados en el manual: Salidas de carretera, colisión frontal, colisión por roce, colisión por alcance, embestida, atropellamiento u otro; de los cuales salidas de carretera, colisiones frontales y colisiones por roce que son los accidentes relacionados con el ancho de carril

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Para el año 2013 se identificaron 200 hipótesis, siendo las 20 más frecuentes las que se muestran en la tabla 6.13.:

Tabla 6.13. Relación Hipótesis – Tipo de Accidentes

HIPÓTESIS	ACCIDENTE	TIPO
NO MANTENER DISTANCIA DE SEGURIDAD	23,64%	ALCANCE
NO RESPETAR PRELACION	4,30%	
EXCESO DE VELOCIDAD	3,58%	---
FRENAR BRUSCAMENTE	3,17%	ALCANCE
SUPERFICIE HUMEDA	2,76%	---
FALTA DE PRECAUCION POR NIEBLA O LLUVIA	2,56%	---
ADELANTAR CERRANDO	2,15%	ROCE
ADELANTAR POR LA DERECHA	1,94%	ROCE
CRUZAR SIN OBSERVAR	1,94%	ATROPELL
CAMBIO DE CARRIL SIN INDICACION E INADECUADO	1,74%	ROSE
SUEÑO POR CANSANCIO	1,74%	---
FALTA DE PRECAUCION POR LLUVIA NIEBLA O HUMO	1,64%	---
DISTRACCION DEL CONDUCTOR	1,54%	---
GIRAR BRUSCAMENTE	1,54%	
FALLAS EN LOS FRENOS	1,43%	
FALLAS EN LAS LLANTAS	1,33%	
SUPERFICIE LISA	1,33%	
OBSTACULOS EN LA VIA	1,13%	
EMBRIAGUEZ APARENTE	1,02%	
NO ESTAR PENDIENTE DE LA VIA	1,02%	

Con la información con la que se cuenta no fue posible relacionar directamente cada uno de las hipótesis con los tipos de accidentes; Por ejemplo en el caso de hipótesis SUEÑO POR CANSANCIO o DISTRACCIÓN DEL CONDUCTOR, al accidente puede darse por invadir el carril lateral caso en el cual el accidente sí tendría que ver con el ancho de carril o el accidente pudo haber sido al no percatarse de reducción de velocidad de un vehículo adelante dando alcance al mismo sin que tenga que ver el ancho de carril.

6.3.1.1. Evaluación del efecto del P_{RA}

Estableciendo que no fue posible determinar el valor de P_{RA} (proporción del total de accidentes constituido por accidentes relacionados con el ancho de carril) con la información existente, se tomó el valor establecido por defecto en el manual ($P_{RA}=0,50$) no sin antes evaluar el efecto de asumir este valor

En primer lugar para las vías con ancho de carril de 3,65 m (especificación de diseño INVIAS) teniendo un CMF_{RA} de 1.00 se tiene

$$CMF_{1rd} = (CMF_{RA} - 1,0) \times p_{RA} + 1,0 \quad [6-6]$$

$$CMF_{1rd} = (1,00 - 1,00) \times p_{RA} + 1,0$$

$$CMF_{1rd} = 1,00 \text{ Para cualquier valor de } p_{RA}$$

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Es decir para vías con ancho de diseño INVIAS no tiene ningún efecto

Ahora bien, considerando que para los tramos estudiados la condición más crítica (menor ancho) fue de 3,55 m (11,65 pies) se tiene un CMF_{RA} (Factor de modificación de accidentes para accidentes relacionados con el ancho de carril) de 1,0106 de este modo se tiene

$$CMF_{1rd} = (CMF_{RA} - 1.0) \times p_{RA} + 1.0 \quad [6-7]$$

$$CMF_{1rd} = (1,0106 - 1.0) \times p_{RA} + 1.0$$

$$CMF_{1rd} = 0,0106 p_{RA} + 1.0$$

De este modo, para diferentes valores p_{RA} se obtienen los valores de CMF_{1rd} mostrados en la tabla 6.14.:

Tabla 6.14. CMF_{1rd} para diferentes p_{RA} con ancho de carril de 3,55 m

P_{RA}	CMF_{1rd}
0%	1
20%	1,0021
40%	1,0042
50%	1,0053
60%	1,0064
80%	1,0085
100%	1,0106

Evidenciando una variación menor al 0,8% entre el CMF_{1rd} asumido con un P_{RA} del 50% o un P_{RA} del 100% para anchos de carril de 3,55 m; lo que indica que asumiendo que el 50% de los accidentes presentados en la vía son relacionados con el ancho de carril, así el número de accidentes reales que se presenten relacionados con el ancho de carril sea de 0% o del 100% el error no será superior al 0,6%

En conclusión, aunque no fue posible clasificar los accidentes por tipo, al estar los anchos de carril tan cercanos al ancho base establecido en el manual (3,66 metros), el efecto del ancho de carril sobre el número de accidentes será menor, pudiéndose usar el valor por defecto para el P_{RA} (50%) teniendo en cuenta que este valor ya introduce un error menor que 0,8% en los cálculos posteriores

Por lo tanto como factor de modificación de accidentes por Ancho de carril (CMF_{1rd}) se tienen los valores presentados en la tabla 6.15:

Tabla 6.15. CMF_{1rd} para tramos analizados

TRAMO	CMF_{RA}	CMF_{1rd}
1 BOGOTA - SIBERIA	1,00	1,00
2 SIBERIA - PUENTE PIEDRA	1,00	1,00
3 PUENTE PIEDRA - CR EL ROSAL	1,00	1,00
4 CRUCE EL ROSAL - EL VINO	1,00	1,00

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

6	LA VEGA - VILLETA	1,00	1,00
10	GACHANCIPA-SESQUILE	1,01	1,0053
11	SESQUILE-EL SISGA	1,01	1,0053
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	1,00	1,00
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	1,00	1,00
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	1,00	1,00
15	DESCENSO BOQUERON	1,00	1,00
17	MELGAR-RICAURTE	1,00	1,00

6.3.2. Ancho de Berma lateral derecha

Aunque la norma colombiana establece un ancho de Berma de 1,80 metros, este ancho fue encontrado en muy pocos lugares puntuales evidenciándose una gran variabilidad en este aspecto. Adicionalmente se pudo evidenciar que no se cumplen las condiciones que deben tener las bermas laterales específicamente en tener ancho constante o estar libres de obstáculos.

Esto es crítico considerando que la berma además de ser espacio que permita maniobrar al vehículo que salga del camino, es un espacio de circulación para ciclistas y peatones, principalmente cerca de la ciudad de Bogotá, A continuación se presentan tres casos donde la presencia de obstáculos limita considerablemente el ancho útil de la berma.

La figura 6.9 presenta una variación de la berma lateral derecha, localizada en el tramo 1, donde la reducción de la berma por presencia de obstáculos obliga a ciclistas y peatones a invadir el carril vehicular

Figura 6.9. Variación de berma en Tramo Bogotá Siberia.



En la figura 6.10 se puede observar como el cabezal de una alcantarilla, localizado en el tramo 4, se encuentra cercano al carril vehicular generando un alto riesgo de accidentalidad en la vía

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 6.10 Presencia de obstáculos Tramo El Rosal- El Vino.



La figura 6.11 presenta una interrupción de la continuidad de la berma lateral derecha en el tramo Fusagasugá Chinauta

Figura 6.11. Interrupción de la Berma Tramo Fusagasugá Chinauta.



Considerando la variabilidad de los anchos de Berma se tomó como referencia el ancho promedio medido en cada uno de los tramos, acorde a lo establecido en la tabla 3-3 se tienen los valores presentados en la tabla 6.16.

Tabla 6.16. CMF_{2rd} para tramos analizados

	Tramo	Berma (m)	(pies)	CMF_{2rd}
1	BOGOTA - SIBERIA	1,30	4,27	1,086
2	SIBERIA - PUENTE PIEDRA	1,60	5,25	1,071
3	PUENTE PIEDRA - CRUCE EL ROSAL	1,60	5,25	1,071
4	CRUCE EL ROSAL - EL VINO	0,80	2,62	1,118
6	LA VEGA - VILLETA	1,40	4,59	1,081
10	GACHANCIPA-SESQUILE	1,50	4,92	1,076
11	SESQUILE-EL SISGA	1,50	4,92	1,076
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	1,50	4,92	1,076
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	1,50	4,92	1,076
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	1,50	4,92	1,076
15	DESCENSO BOQUERON	1,20	3,94	1,091
17	MELGAR-RICAURTE	1,50	4,92	1,076

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Es de resaltar que la condición base para la variable del ancho de berma lateral presentada en el Manual de Seguridad Vial es de 8 pies (2,44 m) distancia mayor a la establecida en la normatividad Colombiana 1,80 m

6.3.3. Ancho de Mediana

Las medianas identificadas en la mayoría de los casos eran medianas rígidas que buscaban evitar el paso de vehículos de una calzada a otra, buscando evitar que un vehículo que salga de la vía colisione con un vehículo en sentido contrario

Desde el punto de vista de gravedad de accidentes la invasión de la calzada de sentido contrario se considera de alta peligrosidad porque conlleva un alto riesgo de choque frontal con los vehículos que transitan en sentido opuesto. Así se reitera la importancia de la existencia de medianas, sin embargo el hecho de hacerlas rígidas y cercanas al carril central (mínima berma interior) hace que se incremente el número de accidentes por despiste, de este modo, la existencia de medianas rígidas incrementa el número de accidentes pero se reduce la gravedad de los mismos

Aunque la mayoría de las medianas son del tipo rígido, pensadas en restringir el paso, las características específicas varían significativamente entre los diferentes tramos analizados como se muestra en las figuras 6.12., 6.13. y 6.14.

Figura 6.12. Separador Tramo El Vino - La Vega



Figura 6.13. Separador Tramo Sesquilé - El Sisga
(Al Fondo represa el Sisga)



VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 6.14. Separador Tramo T del Salto - Silvania



El único tramo con separador atravesable fue el tramo Melgar Ricaurte el cual presenta vegetación de tallo delgado que lo que permite que esta se rompa sin causar mayor daño al vehículo. Aunque como se muestra en la figura 6.15., este separador puede mostrar elementos que sean un riesgo significativo para vehículos que salgan de la vía

Figura 6.15. Cabezal de Alcantarilla en Separador Tramo Melgar-Ricaurte



Acorde a lo establecido en el numeral 4.2.3.1. CMF_{3rd} - Ancho de mediana, se asignaron los CMF para los diferentes tramos como se muestra en la tabla 6.17.:

Tabla 6.17. CMF_{3rd} para tramos analizados

TRAMO	MEDIANA	CMF_{3rd}
1 BOGOTA - SIBERIA	Rígida	1,000
2 SIBERIA - PUENTE PIEDRA	Rígida	1,000
3 PUENTE PIEDRA - CR EL ROSAL	Rígida	1,000
4 CRUCE EL ROSAL - EL VINO	Rígida	1,000
6 LA VEGA - VILLETA	Rígida	1,000
10 GACHANCIPA-SESQUILE	Rígida	1,000
11 SESQUILE-EL SISGA	Rígida	1,000
12 TE DEL SALTO-SILVANIA	Rígida	1,000

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

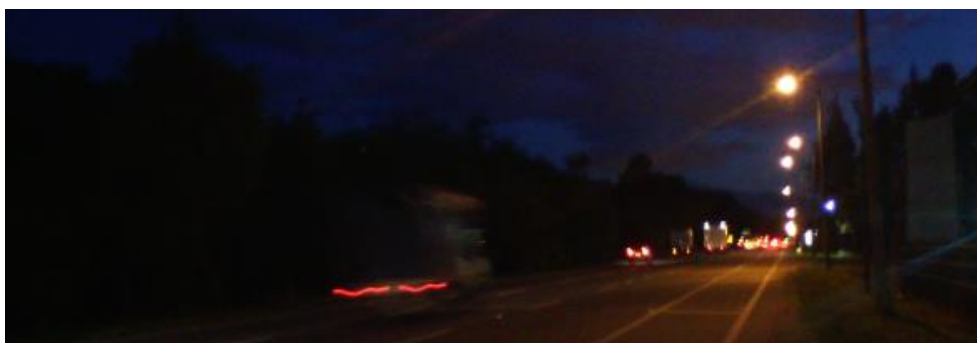
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	Rígida	1,000
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	Rígida	1,000
15	DESCENSO BOQUERON	Rígida	1,000
17	MELGAR-RICAURTE	2,50	1,076

6.3.4. Iluminación

El Manual de Seguridad Vial propone un factor de modificación de accidentes por el efecto de la iluminación sobre el total de accidentes (CMF_{4rd}) como función de la proporción del total de accidentes nocturnos para segmentos de carretera sin iluminación que implican una fatalidad o lesión (p_{inr}); de la proporción del total de accidentes nocturnos para segmentos de carretera sin iluminación que involucran daños materiales solamente (p_{pnr}) y de proporción del total de accidentes para los segmentos de carretera sin luz que se producen por la noche

$$CMF_{4rd} = 1 - [(1 - 0,72 \times p_{inr} - 0,83 \times p_{pnr}) \times p_{nr}] \quad [6-8]$$

Figura 6.16. Tramo Bogotá La Caro en la noche



Para determinar los factores p_{inr} , p_{pnr} y p_{nr} se utilizaron los datos proporcionados por el ministerio de transporte para el año 2013 (Tabla 6.18.) considerando que el tramo Bogotá - La Caro es el único totalmente iluminado

Tabla 6.18. Accidentes nocturnos

TR	SECTOR	ACCID	DIA	NOCH	% NOCH	MUERT	HERID	DAÑOS
OCCIDENTE								
1	BOGOTA - SIBERIA	114	77	37	32,46%	1	1	35
2	SIBERIA - P PIEDRA	52	37	15	28,85%	0	6	9
3	P PIEDRA - CR ROSAL	23	12	11	47,83%	3	3	5
4	CR ROSAL - EL VINO	32	18	14	43,75%	0	1	13
5	EL VINO - LA VEGA	53	30	23	43,40%	2	2	19
6	LA VEGA - VILLETA	59	33	26	44,07%	0	5	21
NORTE								
8	LA CARO-BRICEÑO	63	45	18	28,57%	4	3	11
9	BRICEÑO-GACH	56	34	22	39,29%	2	11	9
10	GACH-SESQUILE	29	19	10	34,48%	0	3	7

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

11	SESQUILE-EL SISGA	19	10	9	47,37%	2	3	4
SUR								
12	T SALTO-SILVANIA	136	77	59	43,38%	1	17	41
13	SILVANIA-FUSAG	48	35	13	27,08%	0	1	12
14	FUSAG-CHINAUTA	100	62	38	38,00%	4	4	30
15	DESC BOQUERON	34	25	9	26,47%	1	2	6
17	MELGAR-RICAURTE	35	22	13	37,14%	0	4	9
		853	536	317		20	66	231

Para el tramo 1 se tiene:

p_{inr} = proporción del total de accidentes nocturnos para segmentos de carretera sin iluminación que implican una fatalidad o lesión (p_{inr});

$$p_{inr} = \frac{\text{acc con muertos} + \text{acc con lesionados}}{\text{total accidentes nocturnos}} = \frac{1 + 1}{37} = 0,054$$

p_{pnr} = proporción del total de accidentes nocturnos para segmentos de carretera sin iluminación que involucran daños materiales solamente

$$p_{pnr} = \frac{\text{acc solo daños}}{\text{total acc nocturnos}} = \frac{35}{37} = 0,946$$

p_{nr} = proporción del total de accidentes para los segmentos de carretera sin luz que se producen por la noche

$$p_{nr} = \frac{\text{total acc nocturnos}}{\text{total accidentes}} = \frac{37}{114} = 0,325$$

$$CMF_{4rd} = 1 - [(1 - 0,72 \times p_{inr} - 0,83 \times p_{pnr}) \times p_{nr}] \quad [6-9]$$

$$CMF_{4rd} = 1 - [(1 - 0,72 \times 0,054 - 0,83 \times 0,946) \times 0,325]$$

$$CMF_{4rd} = 1 - [(0,176) \times 0,325]$$

$$CMF_{4rd} = 0,943$$

De igual forma se estimó el CMF_{4rd} para cada uno de los tramos como se muestra en la tabla 6.19.

Tabla 6.19. *Calculo del CMF_{4rd}*

TR	SECTOR	P_{inr}	P_{pnr}	P_{nr}	CMF_{4rd}
OCCIDENTE					
1	BOGOTA - SIBERIA	0,054	0,946	0,325	0,943
2	SIBERIA - P PIEDRA	0,400	0,600	0,288	0,938
3	P PIEDRA - CR ROSAL	0,545	0,455	0,478	0,890
4	CR ROSAL - EL VINO	0,071	0,929	0,438	0,922
6	LA VEGA - VILLETA	0,192	0,808	0,441	0,916
NORTE					
10	GACHANCIPA-SESQUILE	0,300	0,700	0,345	0,930
11	SESQUILE-EL SISGA	0,556	0,444	0,474	0,891

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

SUR					
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	0,305	0,695	0,434	0,912
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	0,077	0,923	0,271	0,952
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	0,211	0,789	0,380	0,927
15	DESCENSO BOQUERON	0,333	0,667	0,265	0,945
17	MELGAR-RICAURTE	0,308	0,692	0,371	0,924

Este será el factor de modificación de accidentes por el efecto de la iluminación sobre el total de accidentes para tramos iluminados.

Es de aclarar que para el caso específico de esta investigación, considerando que ninguno de los tramos está iluminado, se tomará para todos los tramos **CMF_{4rd}=1,00**. Estableciendo que el valor de CMF_{4rd} de la tabla 6.19. se deberá utilizar en caso de que se ilumine alguno de estos tramos.

6.3.5. Presencia de controles automáticos de velocidad

Para las vías en estudio no se identificaron tramos con presencia de controles automáticos de velocidad, de esta forma para todos los tramos se tiene:

$$CMF_{5rd} = 1,00$$

6.3.6. Resumen factores de modificación de accidentes (CMFs)

A continuación, en la tablas 6.20. y 6.21., se presenta el cuadro resumen del cálculo de los distintos CMFs para cada uno de los diferentes tramos en estudio

Tabla 6.20. Cuadro resumen características de los tramos analizados

TR	SECTOR	CARRIL (m - ft)		BERMA (m - ft)		MEDIANA	ILUM	CONT VEL
OCIDENTE								
1	BOGOTA - SIBERIA	3,65	11,98	1,30	4,27	RIGIDA	NO	NO
2	SIBERIA - PT PIEDRA	3,65	11,98	1,60	5,25	RIGIDA	NO	NO
3	PT PIEDRA - CR ROSAL	3,65	11,98	1,60	5,25	RIGIDA	NO	NO
4	CR EL ROSAL - EL VINO	3,65	11,98	0,80	2,62	RIGIDA	NO	NO
6	LA VEGA - VILLETA	3,65	11,98	1,40	4,59	RIGIDA	NO	NO
NORTE								
10	GACHANCIPA- SESQUILE	3,55	11,65	1,50	4,92	RIGIDA	NO	NO
11	SESQUILE-EL SISGA	3,55	11,65	1,50	4,92	RIGIDA	NO	NO
SUR								
12	T SALTO-SILVANIA	3,65	11,98	1,50	4,92	RIGIDA	NO	NO
13	SILVANIA-FUSAG	3,65	11,98	1,50	4,92	RIGIDA	NO	NO
14	FUSAG-CHINAUTA	3,65	11,98	1,50	4,92	RIGIDA	NO	NO
15	DESC BOQUERON	3,65	11,98	1,20	3,94	RIGIDA	NO	NO
17	MELGAR-RICAURTE	3,65	11,98	1,50	4,92	2,50	NO	NO

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Tabla 6.21. Factores de modificación de accidentes

EST.	SECTOR	CMF ₁	CMF ₂	CMF ₃	CMF ₄	CMF ₅	∏CMF
OCCIDENTE							
1	BOGOTA - SIBERIA	1,000	1,086	1,00	1,00	1,00	1,086
2	SIBERIA - PT PIEDRA	1,000	1,071	1,00	1,00	1,00	1,071
3	PT PIEDRA - CR ROSAL	1,000	1,071	1,00	1,00	1,00	1,071
4	CR EL ROSAL - EL VINO	1,000	1,118	1,00	1,00	1,00	1,118
6	LA VEGA - VILLETAS	1,000	1,081	1,00	1,00	1,00	1,081
NORTE							
10	GACHANCIPA-SESQUILE	1,005	1,076	1,00	1,00	1,00	1,082
11	SESQUILE-EL SISGA	1,005	1,076	1,00	1,00	1,00	1,082
SUR							
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	1,000	1,076	1,00	1,00	1,00	1,076
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	1,000	1,076	1,00	1,00	1,00	1,076
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	1,000	1,076	1,00	1,00	1,00	1,076
15	DESCENSO BOQUERON	1,000	1,091	1,00	1,00	1,00	1,091
17	MELGAR-RICAURTE	1,000	1,076	1,08	1,00	1,00	1,158

Donde ∏CMF es el producto de todos los factores para cada tramo

$$\prod CMF = CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd} \quad [6-10]$$

6.4. FUNCIÓN DE DESEMPEÑO DE SEGURIDAD (SPF)

Como se mostró en el capítulo 4.1 La función de desempeño de seguridad (SPF) presentada en el manual (HSM) para carretera multicarril está dada por

$$N_{spfrd} = e^{(a+b \cdot \ln(TMDA) + \ln(L))} \quad [6-11]$$

Donde a y b son Coeficientes de regresión.

Utilizando los valores de los coeficientes a y b para el total de accidentes presentados en la tabla 4.1. (a=-9.025 y b=1.049) para el tramo 1 con una longitud de 3.108 millas y un tránsito diario en el año 2010 de 47912 veh/día se tiene:

$$N_{spfrd} = e^{(-9,025 + 1,049 \cdot \ln(47912) + \ln(3.108))}$$

$$N_{spfrd} = e^{(-9,025 + 11,305 + 1,134)}$$

$$N_{spfrd} = e^{(3,414)} = 30,4$$

De esta forma para todos los tramos, en el periodo 2010-2014 se obtienen los valores de N_{spfrd} presentados en la tabla 6.22.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Tabla 6.22. Número base de accidentes por año para el total de accidentes

TR	L(mi)	TRANSITO (TMDA)					N _{spfrd} TOTAL ACCIDENTES				
		2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
1	3,11	47912	44073	42746	51445	37554	30,4	27,8	27,0	32,7	23,5
2	6,22	12261	12276	13914	14310	14796	14,5	14,6	16,6	17,1	17,7
3	4,35	9583	11170	11998	13805	13470	7,9	9,2	10,0	11,5	11,2
4	5,59	5506	5661	6629	7686	7209	5,7	5,8	6,9	8,0	7,5
6	15,54	3722	3093	4536	5012	5184	10,4	8,6	12,8	14,2	14,7
10	7,46	11580	12795	14191	15593	14407	16,4	18,3	20,4	22,5	20,7
11	6,22	8199	12550	11861	11543	11984	9,5	14,9	14,1	13,7	14,2
12	21,75	15537	17653	18808	19273	20932	65,3	74,6	79,8	81,8	89,2
13	4,97	15537	17653	18808	19273	20932	14,9	17,1	18,2	18,7	20,4
14	15,54	12775	15014	15700	15993	17256	38,0	45,0	47,1	48,1	52,1
15	3,11	12775	15014	15700	15993	17256	7,6	9,0	9,4	9,6	10,4
17	8,70	11121	14519	11293	15924	14727	18,4	24,3	18,7	26,8	24,7

De igual forma, utilizando los coeficientes para accidentes con muertos y lesiones ($a = -8.837$ $b = 0.958$) y considerando solo los accidentes con lesión fatal, lesión incapacitante o Lesión no incapacitante evidente, sin incluir los choques con posible lesión ($a = -8.505$ $b = 0.874$) se obtienen los valores de N_{spfrd} presentados en la tabla 6.23.

Tabla 6.23. Número base de accidentes por año para accidentes con muertos y lesionados

TRAMO	L(mi)	N _{spfrd} ACC MUERTOS Y LES					N _{spfrd} ACC MUERTOS Y LES*				
		2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
1	3,11	13,8	12,7	12,3	14,7	10,9	7,8	7,2	7,0	8,3	6,3
2	6,22	7,5	7,5	8,4	8,6	8,9	4,7	4,7	5,3	5,4	5,6
3	4,35	4,1	4,8	5,1	5,8	5,7	2,7	3,0	3,2	3,7	3,6
4	5,59	3,1	3,2	3,7	4,3	4,0	2,1	2,2	2,5	2,8	2,7
6	15,54	5,9	5,0	7,2	7,9	8,2	4,2	3,5	4,9	5,4	5,6
10	7,46	8,5	9,3	10,3	11,3	10,4	5,4	5,9	6,4	7,0	6,5
11	6,22	5,1	7,6	7,2	7,0	7,3	3,3	4,8	4,6	4,5	4,6
12	21,75	32,7	37,0	39,3	40,2	43,6	20,3	22,7	24,0	24,5	26,3
13	4,97	7,5	8,5	9,0	9,2	10,0	4,6	5,2	5,5	5,6	6,0
14	15,54	19,4	22,6	23,6	24,0	25,9	12,2	14,1	14,6	14,9	15,9
15	3,11	3,9	4,5	4,7	4,8	5,2	2,4	2,8	2,9	3,0	3,2
17	8,70	9,5	12,3	9,6	13,4	12,4	6,1	7,6	6,1	8,3	7,7

* considerando solo los accidentes con lesión fatal, lesión incapacitante o Lesión no incapacitante evidente; los choques con posible lesión no están incluidos.

6.5. FACTOR DE CALIBRACIÓN DE AJUSTE A CONDICIONES LOCALES

El uso del factor de calibración permite relacionar la información observada con la información obtenida a partir del modelo, introduciendo las condiciones de un determinado país o región. Para la calibración del modelo el Manual de Seguridad Vial presenta un procedimiento de calibración que consta de 5 pasos:

Paso 1 - Identificar los tipos de instalaciones para las que el modelo predictivo se va a calibrar, en este caso vías rurales de múltiples carriles

Paso 2 - Seleccionar los sitios para la calibración del modelo de predicción para cada tipo de instalación: se usarán los 12 tramos descritos anteriormente

Paso 3 - Obtención de datos para cada tipo de instalación aplicables a un período de calibración específica: Se utilizará la base de datos policía de carreteras de Cundinamarca

Paso 4 - Aplicar el modelo predictivo de la Parte C para predecir la frecuencia total de accidente para cada sitio durante el período de calibración, para lo cual se aplicó la ecuación 4-1 pero sin incluir el valor de Cr, el cual no ha sido calculado

$$N_{\text{predicted}} = N_{\text{spfrd}} \times (CMF_{1\text{rd}} \times CMF_{2\text{rd}} \times CMF_{3\text{rd}} \times CMF_{4\text{rd}} \times CMF_{5\text{rd}}) \quad [6-12]$$

De esta forma, para el tramo 1 y el año 2010 se tiene:

$$N_{\text{predicted}} = 30,4 \times (1,00 \times 1,086 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00)$$

$$N_{\text{predicted}} = 30,4 \times 1,089 = 33,01$$

De igual forma, haciendo esto para todos los tramos se tienen los valores establecidos en la tabla 6.24

Tabla 6.24. Aplicación el modelo predictivo de la Parte C del Manual HSM 2010

Id	SECTOR	L(km)	L(mi)	TMDA	N _{spfrd}	CMF	N _{predicted}	N _{observ}
1	2010 BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	47.912	30,4	1,086	33,0	86
2	SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	12.261	14,5	1,071	15,6	48
3	P PIEDRA - CR ROSAL	7	4,35	9.583	7,9	1,071	8,4	20
4	CR ROSAL - EL VINO	9	5,59	5.506	5,7	1,118	6,3	30
5	LA VEGA - VILLETA	25	15,54	3.722	10,4	1,081	11,3	33
6	GACH - SESQUILE	12	7,46	11.580	16,4	1,082	17,8	35
7	SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	8.199	9,5	1,082	10,3	18
8	T SALTO-SILVANIA	35	21,75	15.537	65,3	1,076	70,2	93
9	SILVANIA-FUSAG	8	4,97	15.537	14,9	1,076	16,1	37
10	FUSAG-CHINAUTA	25	15,54	12.775	38,0	1,076	40,9	98
11	DESC BOQUERON	5	3,11	12.775	7,6	1,091	8,3	34
12	MELGAR-RICAURTE	14	8,70	11.121	18,4	1,158	21,3	37
13	2011 BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	44.073	27,8	1,086	30,2	81
14	SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	12.276	14,6	1,071	15,6	34
15	P PIEDRA - CR ROSAL	7	4,35	11.170	9,2	1,071	9,9	18
16	CR ROSAL - EL VINO	9	5,59	5.661	5,8	1,118	6,5	23

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

17		LA VEGA - VILLETA	25	15,54	3.093	8,6	1,081	9,3	36
18		GACH - SESQUILE	12	7,46	12.795	18,3	1,082	19,8	26
19		SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	12.550	14,9	1,082	16,1	15
20		T SALTO-SILVANIA	35	21,75	17.653	74,6	1,076	80,3	110
21		SILVANIA-FUSAG	8	4,97	17.653	17,1	1,076	18,4	40
22		FUSAG-CHINAUTA	25	15,54	15.014	45,0	1,076	48,4	107
23		DESC BOQUERON	5	3,11	15.014	9,0	1,091	9,8	32
24		MELGAR-RICAURTE	14	8,70	14.519	24,3	1,158	28,2	28
25	2012	BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	42.746	27,0	1,086	29,3	126
26		SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	13.914	16,6	1,071	17,8	50
27		P PIEDRA - CR ROSAL	7	4,35	11.998	10,0	1,071	10,7	24
28		CR ROSAL - EL VINO	9	5,59	6.629	6,9	1,118	7,7	35
29		LA VEGA - VILLETA	25	15,54	4.536	12,8	1,081	13,9	36
30		GACH - SESQUILE	12	7,46	14.191	20,4	1,082	22,0	23
31		SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	11.861	14,1	1,082	15,2	13
32		T SALTO-SILVANIA	35	21,75	18.808	79,8	1,076	85,8	152
33		SILVANIA-FUSAG	8	4,97	18.808	18,2	1,076	19,6	39
34		FUSAG-CHINAUTA	25	15,54	15.700	47,1	1,076	50,7	88
35		DESC BOQUERON	5	3,11	15.700	9,4	1,091	10,3	33
36		MELGAR-RICAURTE	14	8,70	11.293	18,7	1,158	21,6	25
37	2013	BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	51.445	32,7	1,086	35,6	123
38		SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	14.310	17,1	1,071	18,3	51
39		P PIEDRA - CR ROSAL	7	4,35	13.805	11,5	1,071	12,4	22
40		CR ROSAL - EL VINO	9	5,59	7.686	8,0	1,118	9,0	36
41		LA VEGA - VILLETA	25	15,54	5.012	14,2	1,081	15,4	47
42		GACH - SESQUILE	12	7,46	15.593	22,5	1,082	24,3	30
43		SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	11.543	13,7	1,082	14,8	18
44		T SALTO-SILVANIA	35	21,75	19.273	81,8	1,076	88,1	184
45		SILVANIA-FUSAG	8	4,97	19.273	18,7	1,076	20,1	41
46		FUSAG-CHINAUTA	25	15,54	15.993	48,1	1,076	51,7	98
47		DESC BOQUERON	5	3,11	15.993	9,6	1,091	10,5	35
48		MELGAR-RICAURTE	14	8,70	15.924	26,8	1,158	31,0	39
49	2014	BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	37.554	23,5	1,086	25,6	148
50		SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	14.796	17,7	1,071	19,0	55
51		P PIEDRA - CR ROSAL	7	4,35	13.470	11,2	1,071	12,0	24
52		CR ROSAL - EL VINO	9	5,59	7.209	7,5	1,118	8,4	35
53		LA VEGA - VILLETA	25	15,54	5.184	14,7	1,081	15,9	46
54		GACH - SESQUILE	12	7,46	14.407	20,7	1,082	22,4	18
55		SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	11.984	14,2	1,082	15,4	28
56		T SALTO-SILVANIA	35	21,75	20.932	89,2	1,076	96,0	206
57		SILVANIA-FUSAG	8	4,97	20.932	20,4	1,076	22,0	47
58		FUSAG-CHINAUTA	25	15,54	17.256	52,1	1,076	56,0	104
59		DESC BOQUERON	5	3,11	17.256	10,4	1,091	11,4	36
60		MELGAR-RICAURTE	14	8,70	14.727	24,7	1,158	28,6	56
							Σ	1520	3290

Paso 5 - Calcular el factor de calibración para su uso en el modelo predictivo, el cual está dado por:

$$Cr = \frac{\sum \text{accidentes observados}}{\sum \text{accidentes predichos}} \quad [6-13]$$

Para este caso

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

$$Cr = 3290 / 1520 = 2,164$$

De esta forma se tiene un factor de calibración de 2,164

6.6. FRECUENCIA MEDIA ESPERADA DE ACCIDENTES

El modelo predictivo presentado en el Manual de Seguridad Vial (HSM), para estimar la frecuencia de media de accidentes para un segmento de vía multicarril dividida está dada por:

$$N_{\text{predicted}} = N_{\text{spfrd}} \times Cr \times (CMF_{1\text{rd}} \times CMF_{2\text{rd}} \times CMF_{3\text{rd}} \times CMF_{4\text{rd}} \times CMF_{5\text{rd}}) \quad [6-14]$$

Donde

- N_{spfrd} : Frecuencia media de accidentes para condiciones base
- $CMF_{1\text{rd}} \dots CMF_{5\text{rd}}$: factores de modificación de accidentes
- Cr: factor de calibración de ajuste a condiciones locales

Una vez obtenido el factor de Calibración se cuenta con la totalidad de la información requerida para aplicar el modelo presentado en el manual, de esta manera para el tramo 1, año 2017 se tiene:

$$N_{\text{predicted}} = 30,4 \times 2,164 \times (1,00 \times 1,086 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00)$$

$$N_{\text{predicted}} = 30,4 \times 2,164 \times 1,086 = 71,44$$

Haciendo esto para la totalidad de tramos se buscó evaluar la calidad del modelo en replicar los resultados usando la diferencia al cuadrado entre los valores observados y los pronosticados se puede afirmar que existe una correlación entre el modelo y lo observado

La estimación de los accidentes acorde a lo establecido en el modelo presentado en el capítulo 11 del manual (HSM) se presenta en el anexo A-3.

Tabla 6.25. Accidentes Observados- Accidentes estimados en el modelo

Id	AÑO	ZONA	SECTOR	OBSERVADO	MODELO
				Nobserv	Npredicted
1	2010	OCC	BOGOTA - SIBERIA	86	71,4
2			SIBERIA - P PIEDRA	48	33,7
3			P PIEDRA - C ROSAL	20	18,2
4			C ROSAL - EL VINO	30	13,7
5			LA VEGA - VILLET	33	24,4
6		NOR	GACH-SESQUILE	35	38,5
7			SESQUILE-EL SISGA	18	22,3
8		SUR	T SALTO-SILVANIA	93	152,0
9			SILVANIA-FUSAG	37	34,8
10			FUSAG-CHINAUTA	98	88,4

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

11			DESC BOQUERON	34	17,9
12			MELGAR-RICAURTE	37	46,1
13	2011	OCC	BOGOTA - SIBERIA	81	65,4
14			SIBERIA - P PIEDRA	34	33,8
15			P PIEDRA - C ROSAL	18	21,4
16			C ROSAL - EL VINO	23	14,1
17			LA VEGA - VILLETA	36	20,1
18		NOR	GACH-SESQUILE	26	42,7
19			SESQUILE-EL SISGA	15	34,9
20		SUR	T SALTO-SILVANIA	110	173,8
21			SILVANIA-FUSAG	40	39,7
22			FUSAG-CHINAUTA	107	104,8
23			DESC BOQUERON	32	21,2
24			MELGAR-RICAURTE	28	60,9
25	2012	OCC	BOGOTA - SIBERIA	126	63,4
26			SIBERIA - P PIEDRA	50	38,5
27			P PIEDRA - C ROSAL	24	23,1
28			C ROSAL - EL VINO	35	16,6
29			LA VEGA - VILLETA	36	30,0
30		NOR	GACH-SESQUILE	23	47,6
31			SESQUILE-EL SISGA	13	32,9
32		SUR	T SALTO-SILVANIA	152	185,8
33			SILVANIA-FUSAG	39	42,5
34			FUSAG-CHINAUTA	88	109,8
35			DESC BOQUERON	33	22,3
36			MELGAR-RICAURTE	25	46,8
37	2013	OCC	BOGOTA - SIBERIA	123	77,0
38			SIBERIA - P PIEDRA	51	39,7
39			P PIEDRA - C ROSAL	22	26,7
40			C ROSAL - EL VINO	36	19,4
41			LA VEGA - VILLETA	47	33,3
42		NOR	GACH-SESQUILE	30	52,6
43			SESQUILE-EL SISGA	18	32,0
44		SUR	T SALTO-SILVANIA	184	190,6
45			SILVANIA-FUSAG	41	43,6
46			FUSAG-CHINAUTA	98	111,9
47			DESC BOQUERON	35	22,7
48			MELGAR-RICAURTE	39	67,1
49	2014	OCC	BOGOTA - SIBERIA	148	55,3
50			SIBERIA - P PIEDRA	55	41,1
51			P PIEDRA - C ROSAL	24	26,1
52			C ROSAL - EL VINO	35	18,1
53			LA VEGA - VILLETA	46	34,5
54		NOR	GACH-SESQUILE	18	48,4
55			SESQUILE-EL SISGA	28	33,2
56		SUR	T SALTO-SILVANIA	206	207,8
57			SILVANIA-FUSAG	47	47,5
58			FUSAG-CHINAUTA	104	121,2
59			DESC BOQUERON	36	24,6
60			MELGAR-RICAURTE	56	61,9

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Para evaluar la calidad del modelo en replicar los resultados se estimó el error cuadrático medio (ECM) midiendo el promedio de los errores al cuadrado de la forma

$$ECM = \frac{1}{n} \sum (y' - y)^2 \quad [6-15]$$

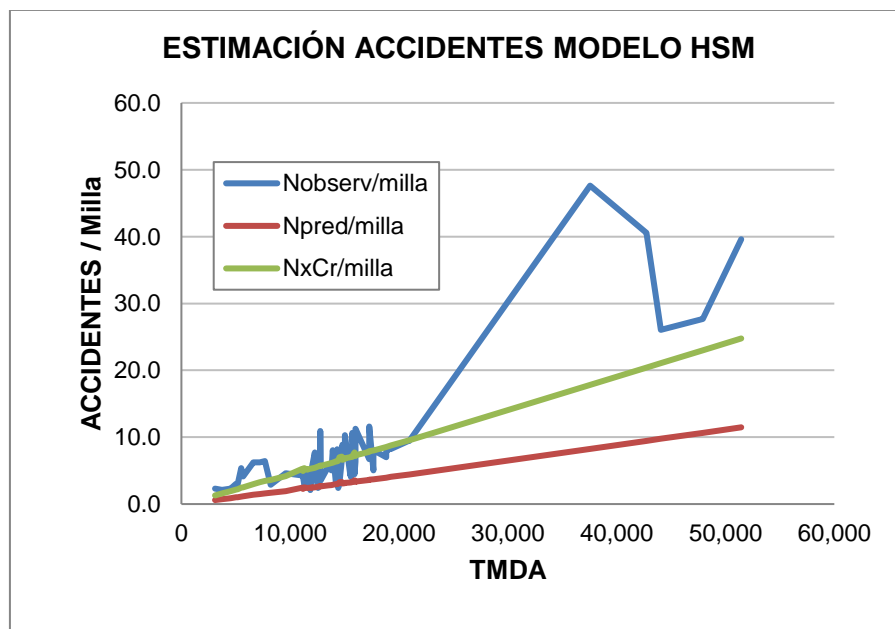
Donde y' son las predicciones
 y corresponden a los verdaderos valores

Al determinar el valor de error cuadrático medio del modelo si calibrar frente a los datos observados da un valor de ECM de 1598,4 , al aplicar el factor de calibración Cr el valor de ECM se reduce a 569,3 lo que implica que se mejora el modelo al ser aplicado este factor

La estimación de los accidentes acorde a lo establecido en el modelo presentado en el capítulo 11 del manual (HSM) así como la estimación del ECM se presenta en el anexo A-3.

Para observar de una manera descriptiva el comportamiento del modelo se realizó la figura 6.17. considerando en el eje x el tránsito en cada tramo (TMDA) y en el eje y el número de accidentes por milla: graficando accidentes observados ($N_{\text{observ}}/\text{milla}$) accidentes Calculados inicialmente ($N_{\text{base}}/\text{milla}$) y calculados considerando el Factor de calibración ($N_{\text{pred}}/\text{milla}$)

Figura 6.17. Accidentes Observados y Estimados



En primer lugar se observa como la predicción se corrige en gran medida con la inclusión del factor de calibración Cr, (variando de la línea roja a la línea verde) sin embargo, aún se observan algunos datos que varían significativamente entre el modelo y los datos reales observados en terreno (Linea verde y línea azul)

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Esto se puede observar más fácilmente relacionando directamente los datos observados con los datos obtenidos ($N_{predicted}$). En la tabla 6.26. Se han resaltado los datos más alejados de lo estimado en el Modelo; resaltándose de rosado los datos que superan el doble de accidentes y con color verde los datos donde la accidentalidad medida en terreno es inferior a la mitad de los datos esperados en el modelo.

Tabla 6.26. Relación datos observados/datos modelo

TR	DATOS OBSERVADOS (N_{observ})					DATOS MODELO ($N_{predicted}$)					$N_{observ} / N_{predicted}$				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
1	86	81	126	123	148	71	65	63	77	55	1,20	1,24	1,99	1,60	2,68
2	48	34	50	51	55	34	34	39	40	41	1,42	1,01	1,30	1,29	1,34
3	20	18	24	22	24	18	21	23	27	26	1,10	0,84	1,04	0,82	0,92
4	30	23	35	36	35	14	14	17	19	18	2,19	1,63	2,11	1,86	1,93
6	33	36	36	47	46	24	20	30	33	34	1,35	1,79	1,20	1,41	1,33
10	35	26	23	30	18	38	43	48	53	48	0,91	0,61	0,48	0,57	0,37
11	18	15	13	18	28	22	35	33	32	33	0,81	0,43	0,40	0,56	0,84
12	93	110	152	184	206	152	174	186	191	208	0,61	0,63	0,82	0,97	0,99
13	37	40	39	41	47	35	40	42	44	48	1,06	1,01	0,92	0,94	0,99
14	98	107	88	98	104	88	105	110	112	121	1,11	1,02	0,80	0,88	0,86
15	34	32	33	35	36	18	21	22	23	25	1,90	1,51	1,48	1,54	1,46
17	37	28	25	39	56	46	61	47	67	62	0,80	0,46	0,53	0,58	0,91

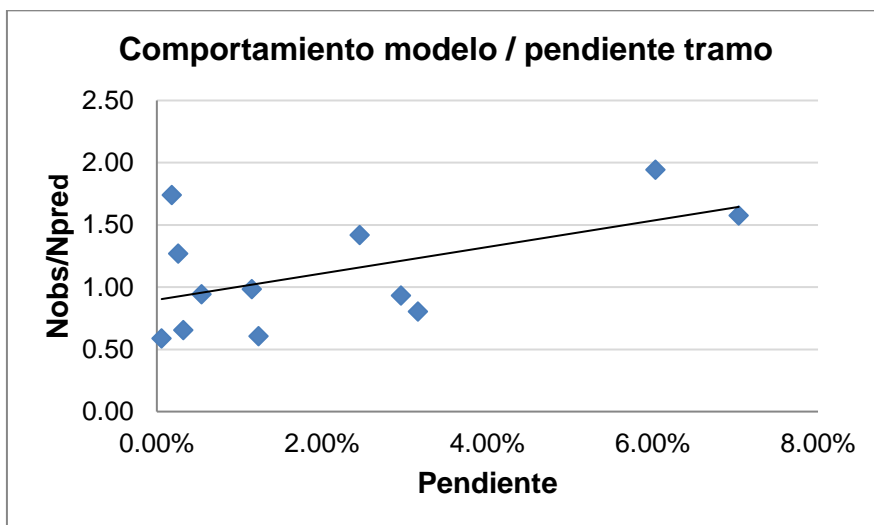
Una primera observación de la información puede establecer que mientras que los datos de color verde se encuentran en tramos planos, dos de los datos en rojo (que los datos observados superan los resultados del modelo predictivo) se encuentran en un tramo de montaña, Tramo 4. Cruce El Rosal - El Vino

Buscando comparar el comportamiento del modelo frente a las condiciones del terreno se determinó graficar la relación entre Comportamiento modelo y la pendiente de de cada tramo como se muestra en la tabla 6.27.

Tabla 6.27. Comportamiento modelo / pendiente tramo

T	SECTOR	COTA DE	COTA A	DIF	LONG	PEND	Nobs/Npre
1	BOGOTA - SIBERIA	2545	2554	0,009	5	0,18%	1,74
2	SIBERIA - P PIEDRA	2554	2580	0,026	10	0,26%	1,27
3	P PIEDRA - C ROSAL	2580	2618	0,038	7	0,54%	0,94
4	C ROSAL - EL VINO	2618	2851	0,543	9	6,03%	1,94
6	LA VEGA - VILLETA	1170	698	0,614	25	2,46%	1,42
10	GACHA-SESQUILE	2568	2575	0,007	12	0,06%	0,59
11	SESQUILE - SISGA	2575	2698	0,123	10	1,23%	0,61
12	T SALTO-SILVANIA	2570	1464	1,106	35	3,16%	0,80
13	SILVANIA-FUSAG	1464	1556	0,092	8	1,15%	0,98
14	FUSAG-CHINAUTA	1556	817	0,739	25	2,96%	0,93
15	DESC BOQUERON	817	465	0,352	5	7,04%	1,58
17	MELGAR-RICAURTE	330	285	0,045	14	0,32%	0,66

Figura 6.18. Comportamiento modelo / pendiente tramo



En el gráfico 6.18. Se puede observar como existe una tendencia a aumentar la relación entre los datos observados y los datos obtenidos al incrementarse la pendiente alejándose del modelo.

Los puntos más alejados de este gráfico corresponden a los tramos 4 y 15 (de mayor pendiente) los cuales, además de su inclinación presentan características propias de camino de montaña como un gran número de curvas, condiciones de riesgo al costado de camino y otras características geométricas, las cuales, son factores de riesgo que no se ven representadas en el modelo.

6.7. GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES

Con el modelo predictivo del Manual de Seguridad Vial (HSM 2010), además de estimar el número total de accidentes, permite estimar los accidentes por gravedad, es así como la tabla 6-28 (11-5 del manual), además de mostrar los Coeficientes de regresión para el número total de accidentes, también muestra los coeficientes para accidentes con muertos y lesiones

Tabla 6.28. Coeficientes de regresión para carreteras multicarril divididas

Nivel de gravedad	a	b	c**
4 carriles – total de accidentes	-9.025	1.049	1.549
4 carriles – accidentes con , muertos y lesiones	-8.837	0.958	1.687
4 carriles, fatales y lesiones *	-8.505	0.874	1.740

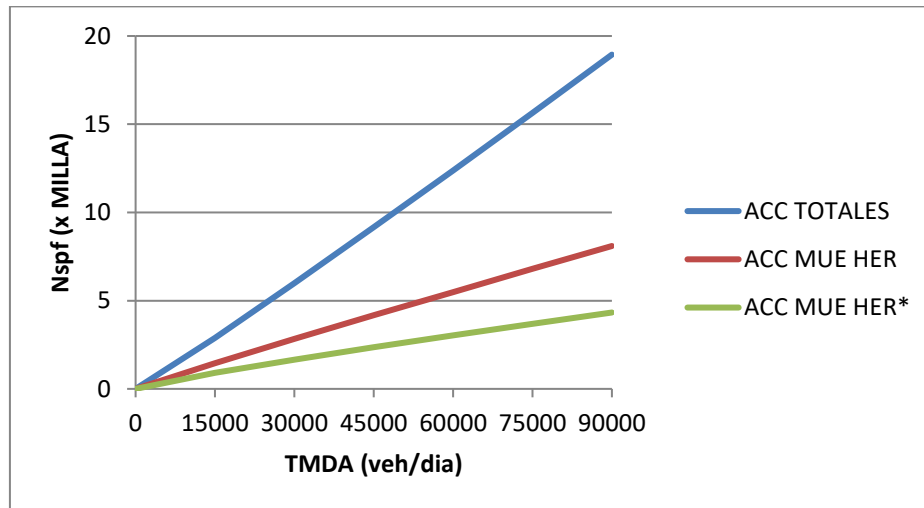
NOTAS: * considerando solo los accidentes con lesión fatal, lesión incapacitante o Lesión no incapacitante evidente; los choques con posible lesión no están incluidos.

** Parámetro c utilizado para determinar parámetro de sobredispersión.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Utilizando estos coeficientes para determinar la Frecuencia accidentes para condiciones base (N_{spf}) en una milla por diferentes niveles de tránsito se obtiene la gráfica 6.19. (Fig11-4 HSM) aplicando la ecuación [4-2] $\rightarrow N_{spf\ rd} = e^{(a+b \ln(TMDA) + \ln(L))}$

Figura 6.19 N_{spf} por gravedad de accidentes para Segmentos Rurales Multicarril Divididos



En esta gráfica se puede ver como existe un comportamiento casi lineal en los accidentes por milla, aunque la ecuación de la cual surge es exponencial, esto se da considerando que la variable independiente (el tránsito) está afectado por el logaritmo natural

A partir de esta “linealidad aparente” es posible estimar una línea de tendencia para cada una de las tres situaciones, haciendo y la Frecuencia accidentes para condiciones base (N_{spf}) en una milla y ubicando en el eje x el tránsito medio diario se tiene:

Accidentes totales	$y = 0,000208 x$
Accidentes con muertos y heridos	$y = 0,000091 x$
Accidentes con muertos y heridos*	$y = 0,000050 x$

Relacionando la pendiente de las distintas ecuaciones es posible afirmar que el 43% (91/208) de los accidentes totales entran en el grupo de los accidentes con muertos y heridos, y el 24% (50/208) de los mismos, clasifican como accidentes con muertos y heridos sin incluir los choques con posible lesión.

Ahora bien, buscando evaluar el comportamiento de las vías estudiadas en cuanto a gravedad de accidentes se tomó en cuenta la base de datos que presenta esta desagregación para el año 2013 (ministerio de transporte) ilustrando cuantos accidentes presentaron solo daño, accidentes con heridos y accidentes con solo muertes.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Tabla 6.29. Distribución por gravedad de accidentes año 2013

TR	SECTOR	LONG (m)	ACCID	DAÑO	HERD	MUER	MU+HE
1	BOGOTA - SIBERIA	3,11	114	102	11	1	12
2	SIBERIA - P PIEDRA	6,22	52	36	15	1	16
3	P PIEDRA - C EL ROSAL	4,35	23	14	6	3	9
4	C EL ROSAL - EL VINO	5,59	32	25	7	0	7
6	LA VEGA - VILLETA	15,5	59	49	8	2	10
10	GACHANCIPA-SESQUILE	7,46	29	18	11	0	11
11	SESQUILE-EL SISGA	6,22	19	7	9	3	12
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	21,8	136	100	31	5	36
13	SILVANIA-FUSA	4,97	48	43	5	0	5
14	FUSA-CHINAUTA	15,5	100	81	13	6	19
15	DESC BOQUERON	3,11	34	26	6	2	8
17	MELGAR-RICAURTE	8,7	35	20	10	5	15
SUMA			681	521	132	28	160
PORCENT			100%	77%	19%	4%	23%

Para este caso el 23% de los accidentes clasificaron como accidentes con muertos y heridos, valor coincidente con el 24% (50/208) obtenido al relacionar las pendientes de las líneas de tendencia para accidentes con muertos y heridos sin incluir los choques con posible lesión frente al total de accidentes. Lo que indicaría que al tomar esta información se toman como accidentes con heridos que presentan lesión incapacitante o Lesión no incapacitante evidente, excluyendo los choques con posible lesión no están incluidos.

6.7.1. Gravedad de los accidentes en los tramos estudiados

Como se explicó en el anteriormente el modelo predictivo para estimar la frecuencia de accidentes para una vía multicarril mostrado en el Manual de Seguridad Vial (HSM), presenta la frecuencia de accidentes de la siguiente forma:

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd})$$

Donde el N_{spfrd} corresponde a la frecuencia media de accidentes para condiciones base, la cual está dada por

$$N_{spfrd} = e^{(a+b \ln(TMDA) + \ln(L))}$$

Donde,

N_{spfrd} = número base de accidentes por año

TMDA = tránsito medio diario anual (vehículos / día)

L = longitud del segmento (millas)

a, b = Coeficientes de regresión

Aplicando los coeficientes para 4 carriles, para accidentes con muertos y lesiones (considerando solo los accidentes con lesión fatal, lesión incapacitante o Lesión no incapacitante evidente; los choques con posible lesión no están incluidos) $a = -8.505$ $b = 0.874$, y aplicando el modelo predictivo del manual, acorde al procedimiento efectuado en el capítulo 6.6 se obtienen los valores presentados en la tabla 6.30.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

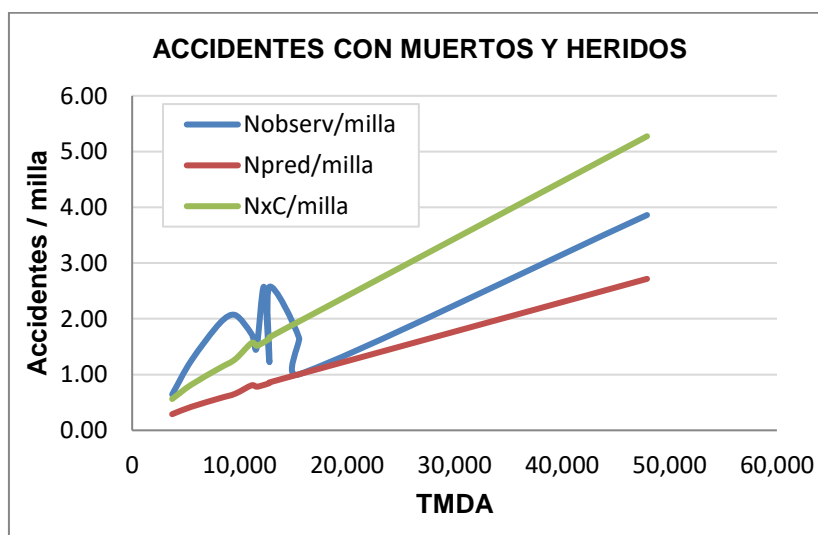
Tabla 6.30. Aplicación del modelo para accidentes con muertos y heridos

Id	SECTOR	L(km)	L(mi)	TMDA	N _{spf rd}	CMF	N _{pred}	N _{observ}	N x Cr
1	BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	47.912	7,8	1,086	8,4	12	16,4
2	SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	12.261	4,7	1,071	5,0	16	9,8
3	P PIEDRA - C ROSAL	7	4,35	9.583	2,7	1,071	2,8	9	5,5
4	C ROSAL - EL VINO	9	5,59	5.506	2,1	1,118	2,4	7	4,6
6	LA VEGA - VILLETA	25	15,54	3.722	4,2	1,081	4,5	10	8,7
10	GACHAN-SESQUILE	12	7,46	11.580	5,4	1,082	5,8	11	11,3
11	SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	8.199	3,3	1,082	3,6	12	7,0
12	T SALTO-SILVANIA	35	21,75	15.537	20,3	1,076	21,8	36	42,5
13	SILVANIA-FUSA	8	4,97	15.537	4,6	1,076	5,0	5	9,7
14	FUSA-CHINAUTA	25	15,54	12.775	12,2	1,076	13,1	19	25,6
15	DESC BOQUERON	5	3,11	12.775	2,4	1,091	2,7	8	5,2
17	MELGAR-RICAURTE	14	8,70	11.121	6,1	1,158	7,0	15	13,7
							82	160	

$$Cr = \frac{\sum_{observ}}{\sum_{pred}} = 1,947$$

Este valor del factor de calibración es muy similar al valor de 2,164 obtenido al aplicar el modelo sobre el total de accidentes. Graficando los valores de accidentes por milla como se realizó para el caso del total de accidentes se obtiene la figura 6.20

Figura 6.20. Accidentes con muertos y heridos, Observados y Estimados



De igual manera que en el modelo con la totalidad de accidentes se observa como la predicción se corrige en gran medida con la inclusión del factor de calibración Cr, (variando de la línea roja a la línea verde).

En terminos generales se aprecia cierta correlacion entre los datos observados y los datos estimados estableciendo que se necesitarían mas años para observar de una mejor manera el comportamiento del modelo para accidentes con muertos y lesiones.

7. ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA SEGURIDAD

Tanto las condiciones de la vía como el entorno en el que ella se desenvuelve brindan condiciones de seguridad o de riesgo para el usuario, es así como algunas características afectan en mayor o menor grado número de accidentes que se pueden presentar en un tramo vial o en un sitio específico.

Como se mostró en el capítulo 3 del presente documento, el modelo predictivo para estimar la frecuencia de accidentes para el caso específico de las vías multicarril divididas, presentado en el capítulo 11 del Manual de Seguridad Vial (HSM), muestra la frecuencia de accidentes como función de cinco características geométricas de diseño y control de tráfico, que son: Ancho de carril, Ancho de Berma Lateral, Ancho de mediana, Iluminación y Presencia de Controles automáticos de velocidad.

Pero adicional a estas cinco características, existen diferentes condiciones que pueden hacer más peligrosa una vía, las cuales, aunque no se presentan en el modelo exhibido en el capítulo 11 del manual como las características de las curvas o las condiciones superficiales de la carretera, inciden en la seguridad de la vía.

Distintas investigaciones en seguridad vial que han observado el efecto de esas condiciones sobre el número de accidentes, analizan la influencia de algunas de las principales características viarias sobre la seguridad de la circulación, entre las que se presentan, entre ellas Gouvea – Sampedro (2007) que presenta como características viarias con influencia sobre la seguridad en la circulación:

- *Geometría y trazado de la vía:* Considerando Curvas horizontales, Curvas verticales y Rampas y Ancho de Carril
- *Pavimento:* Incluyendo tanto las condiciones estructurales como la textura de la superficie
- *Señalización:* Compuesta por señales Verticales y señales Horizontales
- *Mediana:* Sean estas anchas sin barrera físicas, estrechas con barreras rígidas o estrechas sin barrera
- *Accesos:* considerando la densidad de acceso y el volumen de tránsito por los mismos

Así como esta investigación muestra 5 condiciones de la vía que influyen en la presencia o gravedad de los accidentes, pueden existir muchos otros factores que influyan en la presencia o gravedad de accidentes, por citar algún ejemplo el instituto mexicano del transporte (Mendoza 2002) establece que “Los puentes y alcantarillas pueden ser significativos en términos de su influencia en los accidentes por salida de camino, requiriendo por tanto ser considerados en programas para mejorar la seguridad”; ahora bien, ¿qué tan significativo es este número de accidentes generados?

Es probable que sean menos los accidentes relacionados con presencia de puentes y alcantarillas que los relacionados con el ancho de carril, pero son accidentes que se presentan y que el modelo predictivo no considera por lo tanto la pregunta sería ¿qué tan complejo quiero mi modelo?, vale la pena resaltar que un modelo con más variables de entrada no significa que sea la mejor opción y más aún en casos como estos donde, como se vio en los anteriores capítulos, no existen bases de datos completas y confiables.

Es posible que la AASHTO hubiese buscado realizar un modelo sencillo que fuera fácil de implementar y a su vez redujera el error inducido por un alto número de variables, así que se construyó un modelo con 5 variables representativas, pero considerando que para el caso de vías rurales de dos carriles los factores considerados fueron 12, queda la duda si esos mismos cinco factores serán los más representativos en las condiciones locales.

Como forma de conocer esos otros elementos de la infraestructura vial que podrían estar relacionados directamente en la frecuencia de accidentes para el caso específico de las vías multicarril divididas que no hubiesen sido considerados en el capítulo 11 del manual, se realizó una revisión del capítulo 10 donde se presenta el modelo predictivo para vías rurales de dos carriles y dos direcciones.

7.1. HSM – CAPÍTULO 10. - CARRETERAS RURALES DE DOS CARRILES

Para las vías rurales de dos carriles y dos direcciones, el Manual de Seguridad Vial (HSM), presenta en su capítulo 10 la frecuencia de accidentes en función de doce características geométricas de diseño y control de tráfico las cuales son:

- Ancho carril
- Ancho y tipo de berma
- Curvas horizontales: longitud, radio, y presencia o ausencia de espiral de transición
- Peralte
- Pendiente
- Densidad de accesos
- Bandas sonoras de la línea central
- Carril de sobrepaso
- Carril de giro a la izquierda
- Diseño de costados del camino
- Iluminación
- Sistemas de Control automatizado de velocidad

De manera similar al caso de las vías multicarril divididas, El modelo predictivo para estimar la frecuencia media de accidentes se establece da la forma

$$N_{\text{predicteds}} = N_{\text{spfrs}} \times Cr \times (CMF_{1r} \times CMF_{2r} \times \dots \times CMF_{12r}) \quad [7-1]$$

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Donde el efecto del volumen vehicular se introduce a partir del TMDA, los efectos de las características geométricas de diseño y control de tráfico se incorporan a través de los Factores de Modificación de Accidentes (CMFs) y la frecuencia base de accidentes se incorpora a través de una Función de desempeño de seguridad (SPF) como se muestra en la Ecuación 7-2.

$$N_{spfrs} = TMDA \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)} \quad [7-2]$$

Donde,

N_{spfrs} = frecuencia estimada total de choque para las condiciones de base del segmento calzada;

TMDA = volumen de tráfico medio diario anual (vehículos por día);

L = longitud del segmento de carretera (millas).

De estas las 12 características presentadas para vías de dos carriles cuatro ya están incluidas en el modelo para vías multicarril, (Acho de Carril, Ancho de Berma Lateral, Iluminación y Presencia de Controles automáticos de velocidad) y tres no se podrían aplicar al caso de vía multicarril (Bandas sonoras de la línea central, Carril de sobrepaso y Carril de giro a la izquierda) quedando cinco características nuevas que podrían ser aplicadas al caso de vías multicarril, que son: Curvatura Horizontal, Peralte, Inclinación, Densidad de accesos y diseño del costado de Camino.

7.1.1. Curvas Horizontales

El primer caso, presentado en el Capítulo 10 del Manual de Seguridad Vial que no se presenta en el capítulo 11 es el de Curvas horizontales, donde se consideran características de la curva como lo són la longitud, el radio, y la presencia o ausencia de espiral Transiciones

Para este caso el Factor de Modificación de Accidentes (CMF) presentado en el Manual se presenta en forma de ecuación de la siguiente manera:

$$CMF_{3r} = \frac{(1,55 \times Lc) + (80,2/R) - (0.012 \times S)}{(1,55 \times Lc)} \quad [7-3]$$

Donde:

CMF_{3r} = Factor de Modificación de Accidentes (CMF) por curvatura horizontal;

Lc = longitud de la curva horizontal (millas), incluyendo las transiciones en espiral, si están presentes;

R = radio de curvatura (pies);

S = transición de curva en espiral:

- 1 si la curva de transición espiral está presente en ambos extremos de la curva;

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

- 0 si curva de transición espiral no está presente;
- 0.5 si la transición espiral está presente en uno, pero no ambos extremos de la curva horizontal.

7.1.2. Peralte

Corresponde a la diferencia entre la elevación del costado exterior y el costado interior de una curva en la vía, Las siguientes relaciones presentan el Factor de Modificación de Accidentes (CMF) presentado en el Manual por variación del Peralte, el cual está dado por:

$$\begin{aligned} \text{CMF}_{4r} &= 1.00 && \text{para } SV < 0.01 && [7-4] \\ \text{CMF}_{4r} &= 1.00 + 6 \times (SV - 0.01) && \text{para } 0.01 \leq SV < 0.02 && [7-5] \\ \text{CMF}_{4r} &= 1.06 + 3 \times (SV - 0.02) && \text{para } SV \geq 0.02 && [7-6] \end{aligned}$$

donde:

CMF_{4r} = Factor de modificación de Accidentes por el efecto de la variación del peralte sobre el total de accidentes;

SV = Variación de peralte (ft / ft), que representa la relación entre el peralte recomendado por el Libro Verde AASHTO y el peralte real de la curva.

7.1.3. Pendiente

La pendiente corresponde a la inclinación longitudinal de la vía, para este caso el factor de modificación Accidentes (CMF_{5r}) presentado en el manual por el Grado de inclinación en segmentos de carretera está dado por:

Tabla 7.1. CMF por pendiente

Pendiente aproximada (%)		
$\leq 3\%$	$3\% < \text{Pendiente} \leq 3\%$	$> 6\%$
1,00	1,10	1,16

7.1.4. Densidad de Accesos

Corresponde al número de entradas laterales por longitud de vía, El factor de modificación de accidentes por la densidad de accesos está determinado por

$$\text{CMF}_{6r} = \frac{0.322 + DD \times [0.05 - 0.005 \times \ln(\text{TMDA})]}{0.322 + 5 \times [0.05 - 0.005 \times \ln(\text{TMDA})]} \quad [7-7]$$

Donde:

CMF_{6r} = Factor de modificación de Accidente por el efecto de la densidad de la accesos sobre el total de accidentes;

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

TMDA = Transito medio diario anual de la carretera que se está evaluando (vehículos por día);

DD = densidad de accesos, considerando los accesos a ambos lados de la carretera (caminos de acceso / milla).

La condición base para densidad de accesos es de 5 accesos por milla

7.1.5. Costados del camino

Para los propósitos del método predictivo presentado en el manual (HSM), Este Factor de modificación de Accidentes está dado por el índice de peligrosidad por costado de camino, el cual define el riesgo por la condiciones al costado de la misma a partir de una escala de uno a siete, que siendo el siete la condición más peligrosa

Para este caso, el CMF está dado por la ecuación 7-8.

$$CMF_{10r} = \frac{e^{(-0.6869 + 0.0668 \times RHR)}}{e^{(-0.4865)}} \quad [7-8]$$

donde,

CMF_{10r} = Factor de modificación de accidente por el efecto del diseño del costado del camino

RHR = índice de peligrosidad por costado de camino

Siendo el valor base del índice de peligrosidad por costado de camino de 3 (para RHR=3, CMF = 1,00)

A continuación se presentan los ejemplos fotográficos y definiciones cuantitativas para cada calificación peligro lateral (1 a 7) en función de las características de diseño de del costado de la carretera

7.1.5.1. Índice de peligrosidad por costado de vía (RHR)

Este índice considera la zona aledaña a la vía en relación con la capacidad de recuperación, dada por la presencia de elementos tales como barreras o árboles entre otros factores presentes al costado de la misma. A medida que aumenta el RHR de 1 a 7, se incrementa el riesgo de accidente y / o severidad del mismo.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura 7.1. Ejemplo de vía con RHR=1



Figura 7.2. Ejemplo de vía con RHR=2



Figura 7.3. Ejemplo de vía con RHR=3



Figura 7.4. Ejemplo de vía con RHR=4



Figura 7.5. Ejemplo de vía con RHR=5



Figura 7.6. Ejemplo de vía con RHR=6



Figura 7.7. Ejemplo de vía con RHR=7



Fuente Federal Highway Administration (FHWA)

<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/99207/appd.cfm>

7.2. APLICACIÓN DE LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACCIDENTES PARA VÍAS RURALES DE DOS CARRILES EN VÍAS MULTICARRIL

Buscando evaluar el efecto de la inclusión de los Factores de modificación de accidentes presentados en el capítulo 10 del Manual de Seguridad Vial, en el modelo presentado en el capítulo 11 para vías multicarril, se tomó como referencia el trayecto de la vía Bogotá- La Vega- Honda, comprendido entre las abscisas k15+000 a k31+000

Este trayecto incluye, tanto el tramo que más se aleja del modelo del manual en cuanto a accidentes estimados que es el Tramo 4., Cruce El Rosal - El Vino, (Figura 7.9.) en el cual se presentaron el doble de accidentes que los esperados al aplicar el modelo, así como uno de los tramos donde el número de accidentes observados fue más cercano al establecido en el modelo predictivo, que es el Tramo 3. Puente de Piedra – Cruce El Rosal. (Figura 7.8.)

Figura 7.8. Tramo 3. Puente Piedra – Cruce Rosal



Figura 7.9. Tramo 4. Cruce El Rosal – El Vino



El tramo 3, de la vía Bogotá - la Vega – Honda, entre el k15+000 al k22+000 , presenta una topografía plana con predios rurales y algunos restaurantes y paraderos turísticos en ambos costados de la vía, mientras que el tramo 4, entre el k22+000 al k31+000 se desarrolla sobre una topografía montañosa presentando variedad de curvas entre otras condiciones propias de carretera de montaña como taludes importantes en los costados de la vía y tramos con una considerable pendiente longitudinal.

Figura 7.10. Tramos 3 y 4 vistos en planta
En Azul Tramo 3. – En Rojo Tramo 4

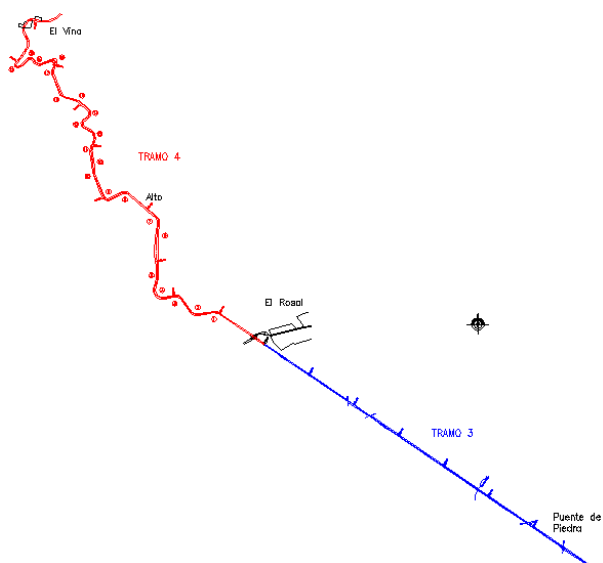
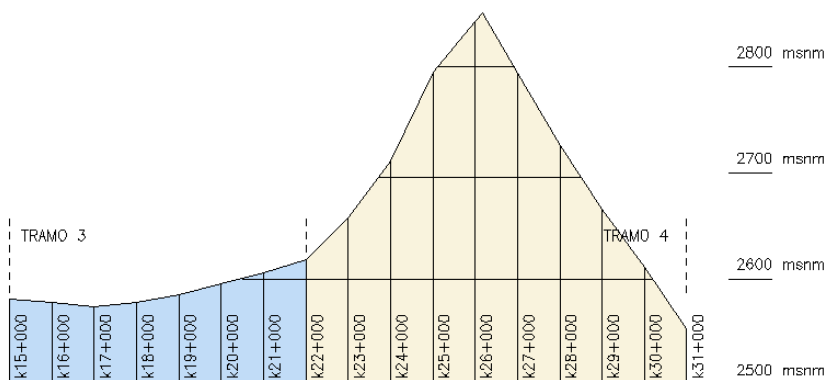


Figura 7.11. Altimetría tramos 3 y 4



Como lo muestra la figura 7.10., de estos dos tramos, el tramo 3 solo presenta las curvaturas generadas por los tres retornos existentes, mientras el tramo 4 presenta 21 curvas de diferentes características, para este tramo se contó con la información del trazado brindada por la Concesión Sabana de Occidente la cual se encuentra en la tabla 7.2.

Tabla 7.2. Características geométricas de las curvas presentes en el tramo 4

	CURVA	DESDE	HASTA	LONG	RADIO	PERALTE MX	ESPIRAL	ALTURA	VEL DISEÑO
INICIO		22.000						2618	
CRUCE		22.245						2621	
	1	23.000	23.147	147,65	185	7,60%	NO	2661	50
	2	23.404	23.545	141,52	123,5	7,75%	NO	2676	50
	3	23.860	24.005	144,21	123,5	8,60%	NO	2708	60
	4	24.196	24.492	296,53	144,5	8,45%	NO	2729	60
	5	24.658	24.811	153,74	410	4,10%	NO	2767	60

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

	6	25.108	25.245	136,97	675	3,25%	NO	2813	60
	7	25.702	25.847	144,35	150	8,00%	NO	2833	60
ALTO		26.185						2851	
	8	26.484	26.596	112,29	100	10,00%	NO	2825	60
	9	27.311	27.443	132,20	82,5	9,90%	NO	2803	50
	10	27.344	27.524	180,38	475	4,70%	NO	2771	60
	10'	27.627	27.729	101,91	350	6,10%	NO	2748	60
	11	27.830	27.929	98,88	190	7,65%	NO	2736	60
	12	28.089	28.280	191,02	144	9,50%	NO	2713	60
	13	28.426	28.551	125,32	67,5	10,00%	NO	2701	50
	14	28.679	28.801	121,57	85	9,80%	SI	2677	50
	15	28.993	29.114	120,59	240	7,31%	NO	2664	60
	16	29.313	29.406	92,63	100	10,00%	NO	2647	60
	17	29.807	29.874	67,42	85	10,00%	NO	2619	50
	18	29.991	30.124	133,75	56,5	10,00%	NO	2609	40
	19	30.326	30.424	98,07	80	8,45%	NO	2584	40
	20	30.510	30.611	100,49	62	9,85%	NO	2567	50
	21	30.802	30.951	149,63	60	10,00%	NO	2556	50
FINAL		31.000						2553	

Considerando esta información para el tramo 4 y realizando una estimación de las características geométricas del tramo 3 usando la herramienta googleearth, se procedió a estimar los factores de modificación de accidentes acorde a lo establecido en el capítulo 10 del manual, estimando los CMFs por Curvas horizontales, Peralte, Inclinación, Densidad de accesos y costado de camino kilómetro a kilómetro.

El anexo A-5 muestra el cálculo Factores de modificación de accidentes cuyos resultados se muestran en la tabla 7.3

Tabla 7.3. Factores de modificación de accidentes por Curvas horizontales, Peralte, Inclinación, Densidad de accesos y costado de camino.

ABSCISA		CMF _{3R}	CMF _{4R}	CMF _{5R}	CMF _{6R}	CMF _{10R}
DE	A	CURVATURA	PERALTE	INCLINACIÓN	ACCESOS	COSTADO
15	16	1.000	1.000	1.006	1.039	1.000
16	17	1.039	1.000	1.008	1.012	1.000
17	18	1.000	1.000	1.008	0.999	1.000
18	19	1.000	1.000	1.014	1.012	1.000
19	20	1.039	1.000	1.020	1.039	1.000
20	21	1.000	1.000	1.022	0.985	1.000
21	22	1.042	1.000	1.024	0.985	1.000
22	23	1.000	1.000	1.078	1.102	1.069
23	24	1.548	1.010	1.108	1.023	1.143
24	25	1.237	1.000	1.168	0.918	1.143
25	26	1.207	1.010	1.096	1.023	1.143
26	27	1.254	1.000	1.098	0.971	1.143
27	28	1.480	1.000	1.136	0.971	1.143
28	29	1.838	1.000	1.120	0.945	1.143
29	30	1.658	1.000	1.110	0.971	1.143
30	31	2.599	1.000	1.116	0.918	1.143
Promedio		1.309	1.001	1.071	0.995	1.076

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

De estas cinco características la que más peso presentó para los tramos observados (tramo 3 y 4) es el de curvatura horizontal, donde las curvas presentes entre el km 22+000 al km 31+000, , afectan en mayor medida el Factor de modificación de accidentes (CMF), las demás condiciones (Peralte, Inclinación, Densidad de accesos y costado de camino) al encontrarse cercanas a las condiciones base, afectan en menor medida al modelo.

A partir de esta información se procedió a estimar los accidentes de dos maneras, primero con el modelo original presentado en el capítulo 11 del manual, haciendo:

$$N_{\text{predicted}} = N_{\text{spfrd}} \times C_r \times (CMF_{1\text{rd}} \times CMF_{2\text{rd}} \times CMF_{3\text{rd}} \times CMF_{4\text{rd}} \times CMF_{5\text{rd}}) \quad [7-9]$$

Y luego agregando los Factores correspondientes a Curvas horizontales, Peralte, Inclinación, Densidad de accesos y costado de camino presentados en el capítulo 10 del manual, haciendo:

$$N_{\text{predictedrs}} = N_{\text{spfrs}} \times C_r \times (CMF_{1r} \times CMF_{2r} \times \dots \times CMF_{10r}) \quad [7-10]$$

De esta manera para el tramo 3 (Puente Piedra – Cruce El Rosal) aplicando el modelo presentado en el capítulo 11 del Manual, se tienen los accidentes presentados en la tabla 7.4.

Tabla 7.4. Accidentes Observados- Accidentes estimados según modelo del capítulo 11 del manual (HSM) para el tramo 3

				2010	2011	2012	2013	2014												
ABSCISA		\TMDs		9.583	11.170	11.998	13.805	13.470												
DE	A	Milla	\PCMF _{RD}																	
15	16	0,622	1,07	2,60	3,06	3,30	3,82	3,72												
16	17	0,622	1,07	2,60	3,06	3,30	3,82	3,72												
17	18	0,622	1,07	2,60	3,06	3,30	3,82	3,72												
18	19	0,622	1,07	2,60	3,06	3,30	3,82	3,72												
19	20	0,622	1,07	2,60	3,06	3,30	3,82	3,72												
20	21	0,622	1,07	2,60	3,06	3,30	3,82	3,72												
21	22	0,622	1,07	2,60	3,06	3,30	3,82	3,72												
				<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Npred</td> <td>18,2</td> <td>21,4</td> <td>23,1</td> <td>26,7</td> <td>26,1</td> </tr> <tr> <td>Nobser</td> <td>20,0</td> <td>18,0</td> <td>24,0</td> <td>22,0</td> <td>24,0</td> </tr> </table>					Npred	18,2	21,4	23,1	26,7	26,1	Nobser	20,0	18,0	24,0	22,0	24,0
Npred	18,2	21,4	23,1	26,7	26,1															
Nobser	20,0	18,0	24,0	22,0	24,0															

Ahora bien, agregando al modelo anterior los Factores correspondientes a Curvas horizontales, Peralte, Inclinación, Densidad de accesos y costado de camino, acorde a lo establecido en el capítulo 10 se obtienen los accidentes presentados en la Tabla 7.5.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Tabla 7.5. Accidentes Observados- Accidentes estimados según modelo del capítulo 10 del manual (HSM) para el tramo 3

				2010	2011	2012	2013	2014
ABSCISA		\TMDA		9.583	11.170	11.998	13.805	13.470
DE	A	Milla	Π CMF					
15	16	0,622	1,12	2,72	3,20	3,45	3,99	3,89
16	17	0,622	1,14	2,76	3,24	3,49	4,05	3,95
17	18	0,622	1,08	2,62	3,08	3,32	3,84	3,75
18	19	0,622	1,10	2,67	3,14	3,38	3,92	3,82
19	20	0,622	1,18	2,87	3,37	3,63	4,20	4,10
20	21	0,622	1,08	2,62	3,08	3,32	3,85	3,75
21	22	0,622	1,13	2,74	3,22	3,47	4,02	3,91
Npred				19,0	22,3	24,1	27,9	27,2
Nobser				20,0	18,0	24,0	22,0	24,0

Para el tramo 3 los resultados del modelo del capítulo 10 no varían significativamente respecto al modelo original presentado en el capítulo 11 del manual, lo anterior era de esperarse considerando que las condiciones presentadas en este trayecto no varían mucho de las condiciones base del modelo

De igual forma como se realizó para el tramo 3, aplicando el modelo del capítulo 11 del manual para el tramo 4 (Cruce El Rosal - El Vino), se tienen los valores de accidentes presentados en la tabla 7.6.

Tabla 7.6. Accidentes Observados- Accidentes estimados según modelo del capítulo 11 del manual (HSM) para el tramo 4

				2010	2011	2012	2013	2014
ABSCISA		\TMDs		5.506	5.661	6.629	7.686	7.209
DE	A	Milla	Π CMF _{RD}					
22	23	0,622	1,12	1,52	1,56	1,85	2,16	2,02
23	24	0,622	1,12	1,52	1,56	1,85	2,16	2,02
24	25	0,622	1,12	1,52	1,56	1,85	2,16	2,02
25	26	0,622	1,12	1,52	1,56	1,85	2,16	2,02
26	27	0,622	1,12	1,52	1,56	1,85	2,16	2,02
27	28	0,622	1,12	1,52	1,56	1,85	2,16	2,02
28	29	0,622	1,12	1,52	1,56	1,85	2,16	2,02
29	30	0,622	1,12	1,52	1,56	1,85	2,16	2,02
30	31	0,622	1,12	1,52	1,56	1,85	2,16	2,02
Npred				13,7	14,1	16,6	19,4	18,1
Nobser				30,0	23,0	35,0	36,0	35,0

De igual forma, a o realizado en el tramo 3, agregando los Factores correspondientes a Curvas horizontales, Peralte, Inclinación, Densidad de accesos y costado de camino para el tramo 4 se obtienen los valores de accidentes presentados en la tabla 7.7.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

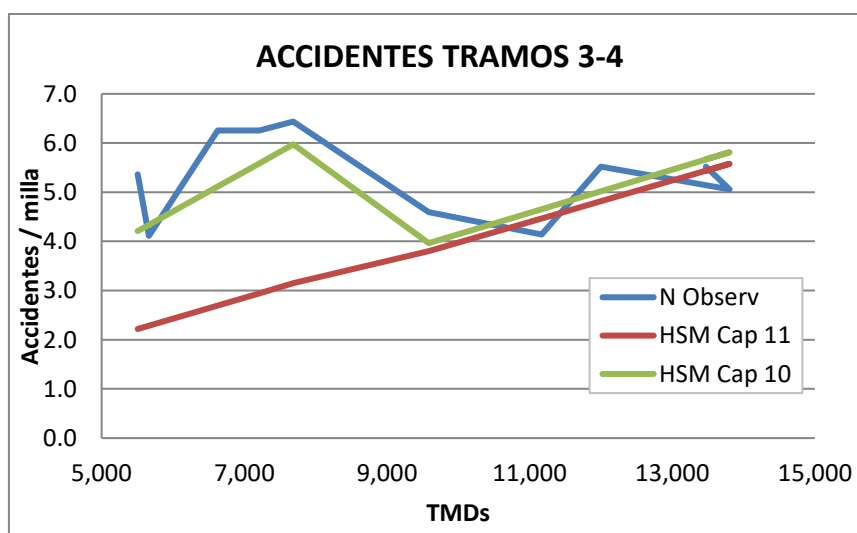
Tabla 7.7. Accidentes Observados- Accidentes estimados según modelo del capítulo 10 del manual (HSM) para el tramo 4

				2010	2011	2012	2013	2014
ABSCISA		\TMDA		5.506	5.661	6.629	7.686	7.209
DE	A	Milla	\TCMF					
22	23	0,622	1,42	1,93	1,99	2,35	2,74	2,56
23	24	0,622	2,27	3,08	3,17	3,74	4,37	4,09
24	25	0,622	1,70	2,30	2,37	2,80	3,27	3,06
25	26	0,622	1,75	2,37	2,44	2,88	3,37	3,15
26	27	0,622	1,71	2,32	2,39	2,82	3,29	3,08
27	28	0,622	2,09	2,83	2,92	3,44	4,02	3,76
28	29	0,622	2,49	3,38	3,48	4,10	4,79	4,48
29	30	0,622	2,29	3,10	3,19	3,77	4,40	4,12
30	31	0,622	3,41	4,62	4,76	5,62	6,56	6,13
Npred				25,9	26,7	31,5	36,8	34,4
Nobser				30,0	23,0	35,0	36,0	35,0

En este caso, correspondiente el tramo 4, los resultados del modelo presentado en el capítulo 10 varían respecto al modelo correspondiente a vías multicarril presentado en el manual, ajustándose más , el modelo del capítulo 10, a los datos observados

Para visualizar de una mejor manera el efecto de incluir estos factores en el modelo se presenta la figura 7.12, considerando en el eje x el tránsito vehicular (TMDs) y en el eje y el número de accidentes por milla, tanto los accidentes observados (color azul), como los accidentes estimados según modelo del capítulo 11 y accidentes estimados según modelo presentado en el capítulo 10, para el Tramo 4 y Tramo 3.

Figura 7.12. Accidentes por milla Observados- Accidentes estimados modelo original y modelo capítulo 10, Tramo 3 y Tramo 4



En este gráfico primeros 5 datos representan el tramo 4 (de menor tránsito vehicular) entre los años 2010 a 2014 y los datos posteriores representan los accidentes en el tramo 3 para este mismo periodo de tiempo

En el gráfico se puede observar el modelo correspondiente al capítulo 10 del manual se acerca más a los datos observados que el modelo presentado en el capítulo 11, principalmente en el tramo 4 correspondiente a tramo de montaña, lo que indicaría que en el número de accidentes presentados también se ven involucrados algunos de los factores presentes en el modelo del capítulo 10, que no están presentes en el capítulo 11.

Los anexos A-6 y A-7 presentan la estimación de accidentes para los tramos 3-4, según modelos del capítulo 11 y capítulo 10 Manual de Seguridad Vial HSM 2010.

7.3. MODELO PROPUESTO

Como parte del ejercicio propositivo del presente trabajo se pretende generar un modelo que se ajuste de una mejor manera con el número de accidentes observados en el terreno, principalmente en vías de montañas que es donde el modelo se alejó de una mayor manera, tomando como base el modelo predictivo para estimar la frecuencia de accidentes para una vía multicarril presentado en el capítulo 11 del Manual de Seguridad Vial HSM 2010.

7.3.1. Vías de montañas

Las montañas han sido obstáculos naturales al desplazamiento, para atravesarlas se han construido vías con características especiales, que requieren movimientos de tierras, ya sean cortes o rellenos, así como la construcción, de estructuras especiales como muros de contención, túneles o viaductos

Así como en su construcción el ingeniero se enfrenta a retos especiales, en su operación diseño y operación, también los conductores enfrentan características diferentes como curvas cerradas, tramos con reducida línea de visión o descensos peligrosos entre otras condiciones particulares que no se encuentran en terrenos planos

De este modo, Gouvea – Sampedro (2007) enuncian que “Un trazado en planta demasiado sinuoso, con un gran número de curvas horizontales o con radios de curvatura pequeños, demanda un gran esfuerzo y habilidad del conductor, que es sometido a stress permanente”

Lo anterior tiene gran importancia en un país como Colombia, donde para conectar las ciudades principales es necesario atravesar las cordilleras y donde actualmente se encuentran en desarrollo proyectos para la construcción de vías en doble calzada como las autopistas de la montaña o autopistas de la prosperidad, proyectos que enfrentas los retos propios de este tipo de vías.

7.3.2. Análisis

Buscando que el modelo propuesto no incluya un gran número de variables que dificulten su implementación se evaluará el efecto de cada característica de la vía de las incorporadas en el capítulo 7.2 del presente documento (Curvatura Horizontal, Peralte, Inclinación, Densidad de Accesos y costado de camino), sobre el modelo para esto se determinó la correlación del Factor de Modificación por cada factor sobre el producto de los factores de modificación de accidentes mediante el coeficiente de Correlación R^2 como se muestra en la tabla 7.8

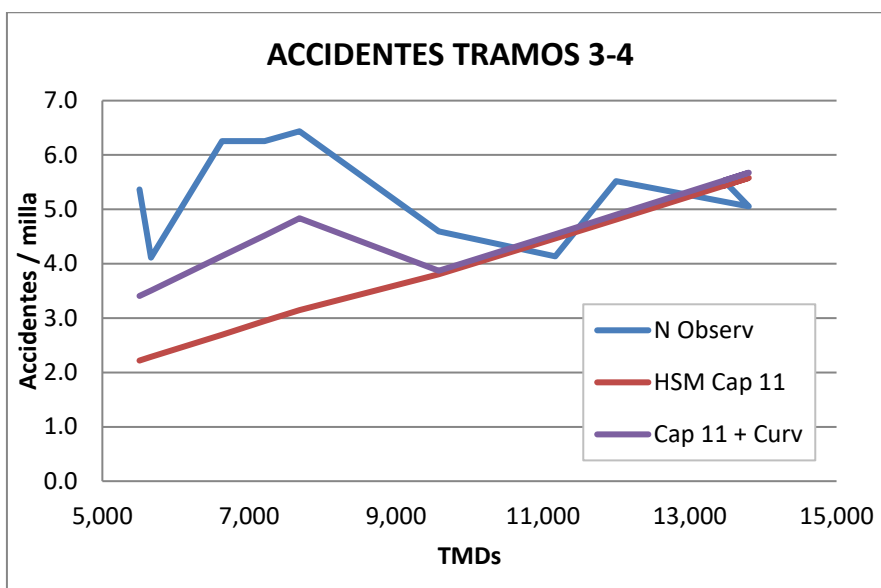
Tabla 7.8. Correlación del Factor de Modificación por cada factor sobre el producto de los factores de modificación de accidentes

ABSCISA		CMF _{3R}	CMF _{4R}	CMF _{5R}	CMF _{6R}	CMF _{10R}	πCMF
DE	A	CURVA	PERALT	INCL	ACCES	COSTADO	
15	16	1.000	1.000	1.006	1.039	1.000	1.12
16	17	1.039	1.000	1.008	1.012	1.000	1.14
17	18	1.000	1.000	1.008	0.999	1.000	1.08
18	19	1.000	1.000	1.014	1.012	1.000	1.10
19	20	1.039	1.000	1.020	1.039	1.000	1.18
20	21	1.000	1.000	1.022	0.985	1.000	1.08
21	22	1.042	1.000	1.024	0.985	1.000	1.13
22	23	1.000	1.000	1.078	1.102	1.069	1.42
23	24	1.548	1.010	1.108	1.023	1.143	2.27
24	25	1.237	1.000	1.168	0.918	1.143	1.70
25	26	1.207	1.010	1.096	1.023	1.143	1.75
26	27	1.254	1.000	1.098	0.971	1.143	1.71
27	28	1.480	1.000	1.136	0.971	1.143	2.09
28	29	1.838	1.000	1.120	0.945	1.143	2.49
29	30	1.658	1.000	1.110	0.971	1.143	2.29
30	31	2.599	1.000	1.116	0.918	1.143	3.41
Coef R^2		0.95	0.04	0.56	0.30	0.66	

Acorde a lo anterior, de los factores de modificación de accidentes incorporados en el capítulo 7.2, el correspondiente a curvas horizontales es el que afecta, en mayor medida el modelo, siendo esta condición característica propia de las vías de montaña, donde se presentan tramos con curvas horizontales en gran número y de bajo radio

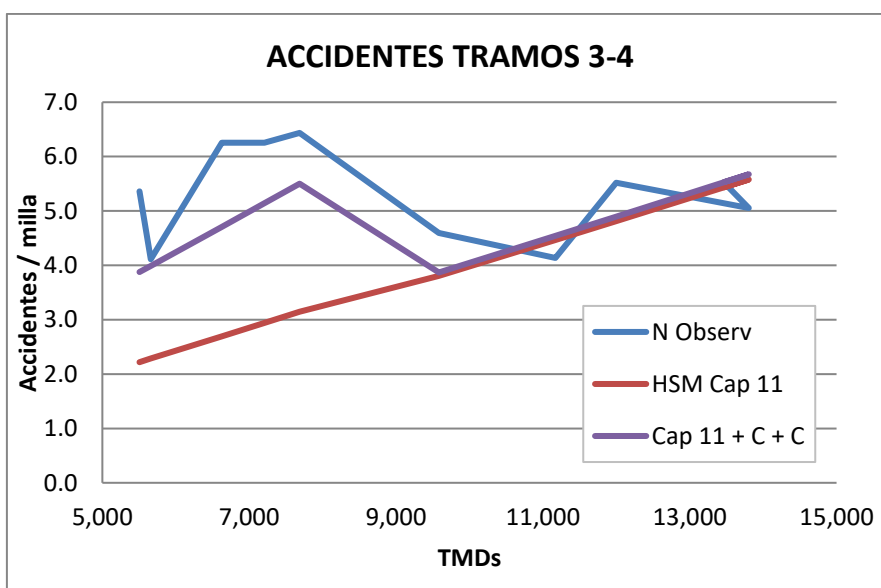
Para evaluar de una manera visual el efecto de incorporar el factor de curvas horizontales en el modelo se modificó el modelo incluyendo este factor y se introdujo en la figura 7.13.

Figura 7.13. Accidentes por milla Observados- Accidentes estimados modelo original y modelo incluyendo curvatura horizontal, Tramo 3 y Tramo 4



En la figura 7.13 se puede observar cómo, al incluir el factor de curvatura horizontal, los resultados del modelo se acercan a los datos observados; de esta misma manera se buscó evaluar el comportamiento del modelo incluyendo el segundo factor que afecta en mayor medida el modelo, que fue el factor correspondiente a costados del camino

Figura 7.14. Accidentes por milla Observados- Accidentes estimados modelo original y modelo incluyendo curvatura horizontal y costados del camino, Tramo 3 y Tramo 4



VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

En la figura 7.14 se puede observar cómo, al incluir el factor de costados del camino, los resultados del modelo se acercan más a los datos observados; por lo tanto se propone incorporar este factor al modelo predictivo, considerando que este factor además de mejorar el modelo es un factor que no requiere información detallada o difícil de conseguir para ser determinado.

Incluir más variables haría el modelo incrementar su complejidad y el efecto en los resultados deja de ser tan significativo, razón por la cual se determinó dejar en dos el número de variables nuevas incluidas al mismo, proponiéndose la inclusión de los factores de curvatura horizontal y Costados del camino al modelo predictivo para estimar la frecuencia de accidentes para una vía multicarril presentado en el capítulo 11 en el manual de seguridad (HSM).

7.3.3. Modelo predictivo propuesto

El capítulo 11 del Manual de Seguridad Vial HSM 2010, presenta un modelo predictivo para estimar la frecuencia de accidentes para una vía multicarril, el cual está dado por:

$$N_{\text{pred}} = N_{\text{spfrd}} \times C_r \times (CMF_{1\text{rd}} \times CMF_{2\text{rd}} \times CMF_{3\text{rd}} \times CMF_{4\text{rd}} \times CMF_{5\text{rd}}) \quad [6-9]$$

Acorde a los resultados del capítulo 6.3.2. Se propone incorporar el factor de modificación de accidentes correspondiente a curvatura horizontal tal y como se presenta en el capítulo 10 del Manual de Seguridad Vial, quedando el modelo predictivo para estimar la frecuencia de accidentes para una vía multicarril, dado por:

$$N_{\text{pred}} = N_{\text{spfrd}} \times C_r \times (CMF_{1\text{rd}} \times CMF_{2\text{rd}} \times CMF_{3\text{rd}} \times CMF_{4\text{rd}} \times CMF_{5\text{rd}} \times CMF_{6\text{rd}} \times CMF_{7\text{rd}}) \quad [6-10]$$

donde:

- $N_{\text{predicted}}$: Frecuencia media prevista de accidentes (accidentes/año)
- N_{spf} : Frecuencia media de accidentes para condiciones base
- $CMF_{1\text{rd}}$ = Factor de modificación de accidentes por ancho de carril
- $CMF_{2\text{rd}}$ = Factor de modificación de accidentes por ancho de berma
- $CMF_{3\text{rd}}$ = Factor de modificación de accidentes por ancho y tipo de mediana
- $CMF_{4\text{rd}}$ = Factor de modificación de accidentes por iluminación
- $CMF_{5\text{rd}}$ = Factor de modificación de accidentes por sistema automatizado de control de velocidad
- $CMF_{6\text{rd}}$ = Factor de modificación de accidentes por curvas horizontales
- $CMF_{7\text{rd}}$ = Factor de modificación de accidentes por costado del camino
- C_x : Factor de calibración de ajuste a condiciones locales

7.3.3.1. $CMF_{6\text{rd}}$ - Curvas Horizontales

El Factor de Modificación de Accidentes (CMF) por la curvatura horizontal está dado por la siguiente ecuación

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

$$CMF_{6rd} = \frac{(1,55 \times Lc) + (80,2/R) - (0,012 \times S)}{(1,55 \times Lc)} \quad [7-11]$$

Donde:

CMF_{6rd} = Factor de Modificación de Accidentes (CMF) por curvatura horizontal;

Lc = longitud de la curva horizontal (millas), incluyendo las transiciones en espiral, si están presentes;

R = radio de curvatura (pies);

S = transición de curva en espiral:

- 1 si la curva de transición espiral está presente en ambos extremos de la curva;
- 0 si curva de transición espiral no está presente;
- 0.5 si la transición espiral está presente en uno, pero no ambos extremos de la curva horizontal.

7.3.3.2. CMF_{7rd} - Costados de Camino

El Factor de modificación de Accidentes por costados de camino está dado a partir del índice de peligrosidad por costado de vía, el cual define el riesgo por la condiciones al costado de la misma a partir de una escala de uno a siete, siendo el siete la condición más peligrosa

Para este caso, el CMF está dado por la ecuación [6-12]

$$CMF_{7rd} = \frac{e^{(-0,6869 + 0,0668 \times RHR)}}{e^{(-0,4865)}} \quad [6-12]$$

donde,

- CMF_{7rd} = Factor de modificación de accidente por el efecto del diseño del costado de la carretera;
- RHR = índice de peligrosidad por costado de camino.

8. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Al analizar cuantitativamente la seguridad vial es posible valorar la viabilidad económica de proyectos enfocados en la reducción de accidentes a partir de una evaluación beneficio costo ya sea de una obra nueva o en la realización de mejoras en un proyecto existente.

En el presente capítulo se pretende evaluar económicamente la realización de una mejora a la vía, tomando como referencia los mismos dos tramos considerados en el capítulo 7, El Tramo 3. Puente de Piedra – Cruce El Rosal y el Tramo 4. Cruce El Rosal - El Vino, realizando un cambio en las características geométricas de la vía, en este caso, realizando una ampliación en el ancho de Berma en los dos tramos.

8.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA AMPLIACIÓN DE BERMA VÍA PUENTE DE PIEDRA – CRUCE EL ROSAL Y EL VINO USANDO EL MODELO PROPUESTO EN EL MANUAL

Aunque son continuos, los tramos 3 y 4 varían significativamente en las características del entorno que atraviesan, pasando de un terreno plano a una topografía montañosa, lo que implica una variación en sus características, cambiando de una recta larga a un tramo con variedad de curvas y condiciones propias de carretera de montaña como tramos inclinados, curvaturas horizontales o taludes en los costados de la vía

Figura 8.1. Tramo 3. Puente Piedra – Cruce Rosal



Figura 8.2. Tramo 4. Cruce El Rosal – El Vino



Al analizar las características de estos tramos, se encuentra que ambos tramos tienen un ancho de berma inferior al propuesto en el Manual de diseño del Instituto Nacional de Vías – INVIAS (2008), el cual establece, para una vía primaria de dos calzadas, un ancho de berma exterior mínimo de 2,50 metros para terreno Plano y de 1,80 metros para terrenos montañosos, (anchos de berma que no se encontraron de manera continua en los tramos analizados)

El resumen de las características de estos dos tramos se encuentra en la tabla 8.1.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Tabla 8.1. Características de los tramos (Tramo 3 y Tramo 4)

TR	SECTOR	CARRIL (m - ft)		BERMA (m - ft)		MEDIANA	ILUM	CONTROL VEL
3	PT PIEDRA - CR ROSAL	3,60	11,81	1,60	5,25	RIGIDA	NO	NO
4	CR EL ROSAL - EL VINO	3,60	11,81	0,80	2,62	RIGIDA	NO	NO

Como medida para reducir el número de accidentes, en el presente capítulo se propone ampliar los anchos de berma exterior existentes a los anchos establecidos en el manual de diseño

La evaluación económica de dicha alternativa se realizará considerando los pasos establecidos por Gold (1998) que en su capítulo 12, Evaluación de viabilidad económica de los proyectos, presenta un *esquema didáctico para la evaluación económica de proyectos destinados a reducir accidentes de tránsito siguiendo la metodología de beneficios costos*. Evaluación presentada en doce pasos los cuales se presentan a continuación:

Paso 1 - Estimar la vida útil del proyecto

Paso 2 - Calcular el costo de implantación del proyecto

Paso 3 - Estimar los costos anuales de mantenimiento para la vida útil del proyecto

Paso 4 - Montar el flujo de los costos anuales

Paso 5 – Calcular el costo medio anual para la sociedad de los accidentes ocurrido en el lugar antes de la implantación del proyecto (situación “sin proyecto”)

Paso 6 – Calcular el valor de la reducción de accidentes esperada para el primer año después de la implantación del proyecto

Paso 7 – Calcular el valor de la reducción de accidentes esperada para cada año de la vida útil del proyecto

Paso 8 – Calcular los valores presentes de los costos anuales y de los beneficios anuales

Paso 9 – Calcular los valores presentes totales de los costos y beneficios

Paso 10 – Calcular el valor presente neto (VPN) del proyecto

Paso 11 – Calcular la relación beneficio/costo

Paso 12 – Calcular la tasa interna de retorno

Paso 13 – Calcular el periodo de retorno (“playback”)

Paso 14 – Hacer un análisis de sensibilidad

8.1.1. Vida útil del proyecto

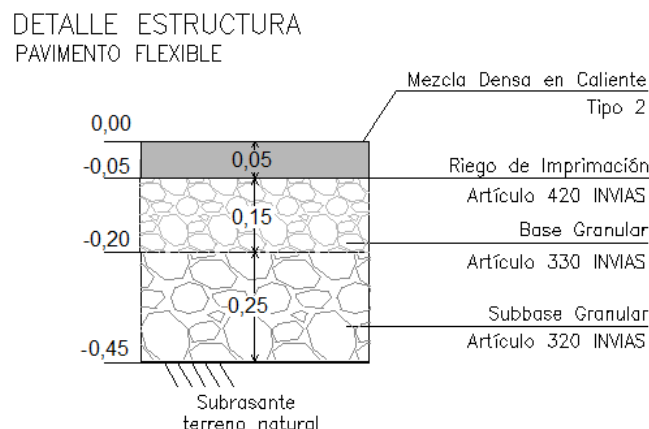
Considerando la categoría de la vía se estima un periodo de diseño igual o superior a 20 años, para este caso específico se establecerá un periodo de diseño de 25 años.

8.1.2. Costo de implantación del proyecto

Como medida para reducir el número de accidentes, en el presente capítulo se propone ampliar los anchos de berma exterior existentes a los anchos establecidos en el manual de diseño del Instituto Nacional de Vías – INVIAS (2008)

Estableciendo que las condiciones estructurales de la ampliación no sean inferiores a la estructura existente, y estimando una distribución de capas en la vía acorde a lo observado en los tramos que se encuentran actualmente en ampliación (tramo La Vega - Villeta), se asumió una estructura como se muestra en la figura 8.3, con una capa de 25 centímetros de Subbase granular, 15 centímetros de Base granular y una carpeta asfáltica de 5 cm.

Figura 8.3. Estructura de la vía



8.1.2.1. Costos de obra

Tomando como referencia los precios de construcción establecidos por el instituto de Infraestructura y concesiones de Cundinamarca (ICCU) se realizó un presupuesto para las obras requeridas en estos dos tramos.

Tramo 3 PUENTE PIEDRA – CRUCE EL ROSAL

Para este tramo se propone ampliar el ancho de berma de 1,60 metros a 2,50 metros, el cual es el ancho propuesto en el manual de diseño para tramos planos.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Longitud Siete (7) kilómetros
Ancho medio de berma exterior 1,60 m
Tipo de Terreno Plano
Ancho propuesto en el manual de diseño 2,50 m
Diferencia 2,50 m – 1,60 m = 0,90 m (1,80 sumando ambos costados)

EXCAVACIONES: 7000 m x 1,80 m x 0,45 m = 5 670 m³
SUBBASE GRANULAR: 7000 m x 1,80 m x 0,25 m = 3 150 m³
BASE GRANULAR: 7000 m x 1,80 m x 0,15 m = 1 890 m³
RIEGO DE IMPRIMACIÓN: 7000 m x 1,80 m = 12 600 m²
MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-2: 7000m x 1,80m x 0,05m = 630 m³

Tabla 8.2. Presupuesto ampliación de ancho de Berma Tramo 3 (de 1,60 a 2,50)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VR UNIT	VR TOTAL
1	EXCAVACIONES VARIAS SIN CLASIFICAR	M3	5670,00	\$18.871	\$106.998.570
2	SUBBASE GRANULAR	M3	3150,00	\$130.162	\$410.010.300
3	BASE GRANULAR	M3	1890,00	\$139.848	\$264.312.720
4	RIEGO DE IMPRIMACIÓN	M2	12600,00	\$2.577	\$32.470.200
5	MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-2	M3	630,00	\$499.287	\$314.550.810
VALOR TOTAL TRAMO 3					\$1.128.342.600
VALOR EN DOLARES*					\$389.084

* Considerando un valor de dólar de \$2900 pesos colombianos (2016).

Tramo 4 CRUCE EL ROSAL – EL VINO

Para este tramo se evalúan dos situaciones, en primer lugar, se considerará la ampliación del ancho de berma de 0,80 metros a 1,80 metros, ancho propuesto en el manual de diseño del INVIAS para tramos montañosos y, en segundo lugar, ampliar de 0,80 metros a 2,44 metros (8 pies), condición base del ancho de berma presentada en el Manual de Seguridad Vial – HSM 2010.

Longitud Nueve (9) kilómetros
Ancho medio de berma exterior 0,80 m
Tipo de Terreno Montañoso

a) Ancho propuesto en el manual de diseño 1,80 m
Diferencia 1,80 m – 0,80 m = 1,00 m (2,00 sumando ambos costados)

EXCAVACIONES: 9000 m x 2,00 m x 0,45 m = 8 100 m³
SUBBASE GRANULAR: 9000 m x 2,00 m x 0,25 m = 4 500 m³
BASE GRANULAR: 9000 m x 2,00 m x 0,15 m = 2 700 m³
RIEGO DE IMPRIMACIÓN: 9000 m x 2,00 m = 18 000 m²
MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-2: 9000m x 2,00m x 0,05 m = 900 m³

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Tabla 8.3. Presupuesto ampliación de ancho de Berma Tramo 4 (de 0,80 a 1,80)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VR UNIT	VR TOTAL
1	EXCAVACIONES VARIAS SIN CLASIFICAR	M3	8100,00	\$18.871	\$152.855.100
2	SUBBASE GRANULAR	M3	4500,00	\$130.162	\$585.729.000
3	BASE GRANULAR	M3	2700,00	\$139.848	\$377.589.600
4	RIEGO DE IMPRIMACIÓN	M2	18000,00	\$2.577	\$46.386.000
5	MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-2	M3	900,00	\$499.287	\$449.358.300
VALOR TOTAL TRAMO 4					\$1.611.918.000
VALOR EN DOLARES**					\$555.834

* Considerando un valor de dólar de \$2900 pesos colombianos (2016)

b) Condición base del ancho de berma del Manual de Seguridad Vial 2,44 m (8 pies)

Diferencia 2,44 m - 0,80 m = 1,64 m (3,28 sumando ambos costados)

EXCAVACIONES: 9000 m x 3,28 m x 0,45 m = 13 284 m³
 SUBBASE GRANULAR: 9000 m x 3,28 m x 0,25 m = 7 380 m³
 BASE GRANULAR: 9000 m x 3,28 m x 0,15 m = 4 428 m³
 RIEGO DE IMPRIMACIÓN: 9000 m x 3,28 m = 29 520 m²
 MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-2: 9000m x 3,28m x 0,05 m = 1476 m³

Tabla 8.4. Presupuesto ampliación de ancho de Berma Tramo 4 (de 0,80 a 2,44)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VR UNIT	VALOR TOTAL
1	EXCAVACIONES VARIAS SIN CLASIFICAR	M3	13284,00	\$18.871	\$250.682.364
2	SUBBASE GRANULAR	M3	7380,00	\$130.162	\$960.595.560
3	BASE GRANULAR	M3	4428,00	\$139.848	\$619.246.944
4	RIEGO DE IMPRIMACIÓN	M2	29520,00	\$2.577	\$76.073.040
5	MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-2	M3	1476,00	\$499.287	\$736.947.612
VALOR TOTAL TRAMO 4					\$2.643.545.520
VALOR EN DOLARES*					\$911.567

* Considerando un valor de dólar de \$2900 pesos colombianos (2016)

8.1.3. Costos anuales de mantenimiento para la vida útil del proyecto

Como un estimativo, los costos anuales de mantenimiento durante la vida útil del proyecto se consideraron como un porcentaje del costo de implantación del proyecto, acorde a lo sugerido por Gold (1998) se tomaron mantenimientos rutinarios de manera anual y mantenimientos correctivos de forma periódica de la siguiente manera:

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

- Mantenimiento Anual que comprende labores rutinarias como de demarcación o limpieza, las cuales serán tomadas como porcentaje del costo total de implantación (CTI). Se tomará un 1% al año de no haber una estimación mejor.
- Mantenimiento periódico por cada x años, el cual comprende labores correctivas necesarias para evitar daños mayores en la vía, de igual forma que los mantenimientos anuales se consideraran como porcentaje del costo total de implantación, Para este caso un 2% del costo de implantación cada 3 años.

Tabla 8.5. Costos anuales de mantenimiento

	TRAMO 3		TRAMO 4
	(de 1,60 a 2,50)	(de 0,80 a 1,80)	(de 0,80 a 2,44)
VALOR TOTAL	\$1.128.342.600	\$1.611.918.000	\$2.643.545.520
VALOR DOLARES	\$389.084	\$555.834	\$911.567
COSTO DE MANT ANUAL (1%)	\$3.891	\$5.558	\$9.116
COSTO DE MANT PER (2%)	\$7.782	\$11.117	\$18.231

8.1.4. Flujo de los costos anuales

Considerando como año 0 el año de construcción del proyecto (2016) el flujo de los costos anuales sería el siguiente:

Tabla 8.6. Flujo de los costos anuales (Valores en USD)

AÑO	TRAMO 3		TRAMO 4
	(de 1,60 a 2,50)	(de 0,80 a 1,80)	(de 0,80 a 2,44)
	Σ COSTOS	Σ COSTOS	Σ COSTOS
2016	USD 389.084	USD 555.834	USD 911.567
2017	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2018	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2019	USD 11.673	USD 16.675	USD 27.347
2020	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2021	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2022	USD 11.673	USD 16.675	USD 27.347
2023	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2024	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2025	USD 11.673	USD 16.675	USD 27.347
2026	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2027	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2028	USD 11.673	USD 16.675	USD 27.347
2029	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2030	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2031	USD 11.673	USD 16.675	USD 27.347
2032	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2033	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2034	USD 11.673	USD 16.675	USD 27.347
2035	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2036	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2037	USD 11.673	USD 16.675	USD 27.347

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

2038	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2039	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116
2040	USD 11.673	USD 16.675	USD 27.347
2041	USD 3.891	USD 5.558	USD 9.116

8.1.5. Costo medio anual de los accidentes ocurridos en el tramo antes de la realización de las obras

Un accidente vehicular genera diferentes costos tanto para los propietarios de vehículos o aseguradoras como para la sociedad en general. Además de los costos fácilmente cuantificables como daños en el vehículo se presentan costos como los generados por la atención médica a un paciente, atención policiaca costos por congestión vehicular generada o procesos jurídicos.

La determinación del costo unitario por accidente se realizó a partir de los resultados del trabajo de investigación realizado por la Universidad de los Andes sobre costo económico de la accidentalidad vial (Andes 2013) donde se Presenta el Costo Por Accidente en millones de pesos para los años 2008, 2009 y 2010.

Tabla 8.7. Costo Por Accidente en millones de pesos 2010.

COSTOS POR ACCIDENTE	TIPO DE GRAVEDAD DEL ACCIDENTE		
	SOLO DAÑOS	CON HERIDOS	CON MUERTOS
Daños a la Propiedad	6,1	7,3	12,9
Costos Médicos		2,4	1
Costos Administrativos	0,9	2,3	3,7
Costos Humanos		8,3	607,3
TOTAL COSTOS POR TIPO DE GRAVEDAD DEL ACCIDENTE	7	20,3	624,9

* Al valor del Dólar en el año 2010 (valor promedio aprox. dólar 2010 \$1900)

Tabla 8.8. Costo por gravedad de accidente en dólares

SOLO DAÑOS	CON HERIDOS	CON MUERTOS
USD\$ 3.684	USD\$ 10.684	USD\$ 328.895

Partiendo del principio de que los costos generados por los accidentes varían respecto a la gravedad de los mismos se usó la base de datos del ministerio de transporte del año 2013 para establecer la proporción de accidentes que terminan en daños, accidentes con heridos o accidentes con muertos

Tabla 8.9. Distribución por gravedad de accidentes año 2013

TRAMO	SECTOR	Long	VEH/DIA	ACCID	DAÑO	HERD	MUER
1	BOGOTA - SIBERIA	5	63.578	114	102	11	1
2	SIBERIA - P PIEDRA	10	16.127	52	36	15	1
3	P PIEDRA - CR EL ROSAL	7	13.474	23	14	6	3
4	CR EL ROSAL - EL VINO	9	7.739	32	25	7	0
6	LA VEGA - VILLETA	25	5.083	59	49	8	2

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

10	GACHANCIPA-SESQUILE	12	15.653	29	18	11	0
11	SESQUILE-EL SISGA	10	14.496	19	7	9	3
12	TE DEL SALTO-SILVANIA	35	19.937	136	100	31	5
13	SILVANIA-FUSAGASUGA	8	19.937	48	43	5	0
14	FUSAGASUGA-CHINAUTA	25	19.720	100	81	13	6
15	DESCENSO BOQUERON	5	19.720	34	26	6	2
17	MELGAR-RICAURTE	14	16.309	35	20	10	5
			SUMA	681	521	132	28
					77%	19%	4%

Para el año 2013, en los tramos estudiados el 77% de los accidentes se presentaron con solo daños, el 19% con heridos y un 4% de los accidentes presentaron fallecidos, como no se cuenta con la información correspondiente para los demás años se asumirá esta proporción por el periodo de tiempo en estudio

8.1.5.1. Estimación del Tránsito

Buscando evaluar el Considerando el comportamiento del tráfico vehicular en 25 años (vida útil de la vía) tomando como año cero 2016, suponiendo que en este año se realiza la obra, es necesario establecer las causas que originan el crecimiento del tránsito en los tramos analizados, con el fin de simplificar el análisis se determinó extrapolar la información del tránsito existente a futuro, para lo cual se determinó realizar una regresión con los datos conocidos y aplicar este modelo a los años posteriores

Para determinar qué modelo de regresión replicaba de una mejor manera los resultados observados se realizaron dos regresiones: exponencial y lineal; utilizando el coeficiente determinación R2 para seleccionar el mejor modelo, dando como resultado el modelo de regresión lineal determinándose la ecuación de la forma $y = ae^{bx}$ para cada tramo como se muestra en la tabla 8.10.

Tabla 8.10. Regresión para estimación de TMDA

TRAMO	SECTOR	R2		y=ae ^{bx}	
		Lineal	Expon	b	a
OCCIDENTE					
1	BOGOTA - SIBERIA	0,665	0,715	0,053	1,6E-42
2	SIBERIA - P PIEDRA	0,813	0,811	0,038	6,0E-30
3	P PIEDRA - C ROSAL	0,406	0,641	0,055	2,1E-44
4	C ROSAL - EL VINO	0,670	0,685	0,055	1,4E-44
6	LA VEGA - VILLETA	0,596	0,606	0,060	4,3E-49
NORTE					
10	GACHANC - SESQUILE	0,541	0,616	0,041	1,2E-32
11	SESQUILE - SISGA	0,577	0,575	0,035	4,1E-27
SUR					
12	TE SALTO - SILVANIA	0,465	0,462	0,034	1,8E-26
13	SILVANIA - FUSAGAS	0,465	0,462	0,034	1,8E-26
14	FUSAG - CHINAUTA	0,696	0,687	0,046	8,0E-37
15	DESC BOQUERON	0,696	0,687	0,046	8,0E-37
17	MELGAR - RICAURTE	0,520	0,566	0,043	5,9E-34
PROMEDIO		0,592	0,626		

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

De esta manera el tránsito medio diario semanal para los dos tramos en el periodo en estudio es:

Tabla 8.11. Proyección del tránsito en la vida útil del proyecto

TR	$y=ae^{bx}$		TMDA PROYECTADO						
			TRAMO	Año 0	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20	Año 25
	b	a		2016	2021	2026	2031	2036	2041
3	0,055	2,1E-44	3	16.903	22.222	29.215	38.408	50.495	66.385
4	0,055	1,4E-44	4	8.339	10.956	14.393	18.910	24.843	32.638

8.1.5.2. Estimación de accidentes

Usando el modelo predictivo para estimar accidentes en una vía multicarril presentado en el capítulo 11 del manual se estimaron los accidentes para los dos tramos en consideración

Tramo 3 PUENTE PIEDRA – CRUCE EL ROSAL (año 2016)

TMDA estimado	16.903 veh/día	
Longitud	7 km (4,35 millas)	
Coeficientes	a=-9,025	b=1,049
Características de la vía	Ancho de carril	3,60 m ($CMF_{1rd}= 1,003$)
	Ancho de berma	1,60 m ($CMF_{2rd}= 1,071$)
	Mediana	Rígida ($CMF_{3rd}= 1,00$)
	Iluminación	No ($CMF_{4rd}= 1,00$)
	Control A. Velocidad	No ($CMF_{5rd}= 1,00$)

$$N_{spfrd} = e^{(a+bln(TMDA) \ln(L))}$$

$$N_{spfrd} = e^{(-9,025+1,049 \ln(16.903) \ln(4,35))}$$

$$N_{spfrd} = 14,26$$

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd})$$

$$N_{pred} = 14,26 \times 2,158 \times (1,00 \times 1,071 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00)$$

$$N_{pred} = 33,06$$

Se estima que para el año 2016 en el tramo 3 - PUENTE PIEDRA – CRUCE EL ROSAL, se presentaran 32,96 accidentes de los cuales 25,22 serán con solo daños (77%) 6,39 con heridos (19%) y 1,36 accidentes presentarán fallecidos (4%).

Tramo 4 CRUCE EL ROSAL – EL VINO (año 2016)

TMDA estimado	8.339 veh/día	
Longitud	9 km (5,59 millas)	
Coeficientes	a=-9,025	b=1,049
Características de la vía	Ancho de carril	3,65 m ($CMF_{1rd}= 1,00$)

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Ancho de berma	0,80 m (CMF _{2rd} = 1,118)
Mediana	Rígida (CMF _{3rd} = 1,00)
Iluminación	No (CMF _{4rd} = 1,00)
Control A. Velocidad	No (CMF _{5rd} = 1,00)

$$N_{spfrd} = e^{(a+b \ln(TMDA) \ln(L))}$$

$$N_{spfrd} = e^{(-9,025+1,049 \ln(8.339) \ln(5.59))}$$

$$N_{spfrd} = 8,74$$

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd})$$

$$N_{pred} = 8,74 \times 2,158 \times (1,00 \times 1,118 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00)$$

$$N_{pred} = 21,09$$

Se estima que para el año 2016 en el Tramo 4 CRUCE EL ROSAL – EL VINO, se presentaran 21,09 accidentes de los cuales 16,13 serán con solo daños (77%) 4,09 con heridos (19%) y 0,87 accidentes presentarán fallecidos (4%).

Aplicando los valores establecidos en la Tabla 8.8 Costo por gravedad de accidente en dólares se determinó el costo medio anual para la sociedad de los accidentes ocurrido en el lugar antes de la implantación del proyecto (situación “sin proyecto”).

Tabla 8.12. Costo de los accidentes producidos en el año cero (2016)

GRAV ACCID	VALOR UNIT	Tramo 3		Tramo 4	
		ACCID	VALOR	ACCID	VALOR
Solo daños	USD 3.684	25,22	USD 92.914	16,13	USD 59.431
Con Heridos	USD 10.684	6,39	USD 68.268	4,09	USD 43.667
Con Muertos	USD 328.895	1,36	USD 445.772	0,87	USD 285.134
		29,58	USD 606.953	33,51	USD 388.232

8.1.6. Valor de la reducción de accidentes esperada para el primer año después de la implantación del proyecto (modelo HSM)

Al incrementar el ancho de berma en los dos tramos analizados se espera que se presente una reducción en el número de accidentes. Considerando que la obra se realiza en el año 0 (2016) los beneficios se presentarán desde el año 1 (2017) donde se pondrá uso la nueva berma con el ancho recomendado en la Norma.

Para el tramo 3, con las condiciones actuales de la vía, en el año 2017 (año 1) los accidentes serán:

TMDA estimado	17.853 veh/dia	
Longitud	7 km (4,35 millas)	
Coeficientes	a=-9,025	b=1,049
Características de la vía	Ancho de carril	3,65 m (CMF _{1rd} = 1,00)
	Ancho de berma	1,60 m (CMF _{2rd} = 1,071)

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Mediana	Rígida ($CMF_{3rd}= 1,00$)
Iluminación	No ($CMF_{4rd}= 1,00$)
Control A. Velocidad	No ($CMF_{5rd}= 1,00$)

$$N_{spfrd} = e^{(a+b \ln(TMDA) \ln(L))}$$

$$N_{spfrd} = e^{(-9,025+1,049 \ln(17.853) \ln(4,35))}$$

$$N_{spfrd} = 15,10$$

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd})$$

$$N_{pred} = 15,10 \times 2,158 \times (1,00 \times 1,071 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00)$$

$$N_{pred} = \mathbf{34,02}$$

Cambiando el valor del ancho de berma por el ancho propuesto en el manual de diseño (2,50 m) se tiene un CMF_{2rd} que pasaría de 1,071 a 1,00, con lo que se tendría un número de accidentes de:

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd})$$

$$N_{pred} = 15,10 \times 2,158 \times (1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00)$$

$$N_{pred} = \mathbf{32,60}$$

De igual forma, para el tramo 4, en las condiciones actuales de la vía, para el año 2017 (año 1) los accidentes serán:

TMDA estimado	8.807 veh/día		
Longitud	9 km (5,59 millas)		
Coefficientes	a=-9,025	b=1,049	
Características de la vía	Ancho de carril	3,65 m	($CMF_{1rd}= 1,00$)
	Ancho de berma	0,80 m	($CMF_{2rd}= 1,118$)
	Mediana	Rígida	($CMF_{3rd}= 1,00$)
	Iluminación	No	($CMF_{4rd}= 1,00$)
	Control A. Velocidad	No	($CMF_{5rd}= 1,00$)

$$N_{spfrd} = e^{(a+b \ln(TMDA) \ln(L))}$$

$$N_{spfrd} = e^{(-9,025+1,049 \ln(8.807) \ln(5.59))}$$

$$N_{spfrd} = 9,25$$

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd})$$

$$N_{pred} = 9,25 \times 2,158 \times (1,00 \times 1,118 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00)$$

$$N_{pred} = \mathbf{22,33}$$

Ahora, cambiando el valor del ancho de berma para el tramo 4, por el ancho propuesto en el manual de diseño (1,80 m) se tiene un CMF_{2rd} que pasaría de 1,118 a 1,06

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd})$$

$$N_{pred} = 9,25 \times 2,158 \times (1,00 \times 1,06 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00)$$

$$N_{pred} = \mathbf{21,17}$$

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Por último, cambiando el valor del ancho de berma para el tramo 4, por la condición base del Manual de Seguridad Vial (2,44 m -8 pies) se tiene un CMF_{2rd} que pasaría de 1,118 a 1,00

$$N_{pred} = N_{spird} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd})$$

$$N_{pred} = 9,25 \times 2,158 \times (1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00)$$

$$N_{pred} = \mathbf{19.97}$$

Asumiendo la misma distribución por gravedad de accidentes presentada en el año 2013, donde el 77% de los accidentes se presentaron con solo daños, el 19% con heridos y un 4% de los accidentes presentaron fallecidos (tabla 7.9) y aplicando los valores establecidos en la Tabla 7.8 Costo por gravedad de accidente en dólares se determinó el Valor de la reducción de accidentes esperada para el año 1

Tabla 8.13. Valor de la reducción de accidentes esperada para el año 1 (2017)

TRAMO 3 (de 1,60 a 2,50)		SIN PROYECTO		CON PROYECTO		DIFERENC
TIPO	VALOR UNIT	ACCID	VALOR	ACCID	VALOR	
DAÑOS	USD 3.684	26,71	USD 98.403	24,94	USD 91.880	
HERIDOS	USD 10.684	6,77	USD 72.301	6,32	USD 67.508	
MUERTES	USD 328.895	1,44	USD 472.109	1,34	USD 440.811	
		34,91	USD 642.813	32,60	USD 600.199	USD 42.614

TRAMO 4 (de 0,80 a 1,80)		SIN PROYECTO		CON PROYECTO		DIFERENC
TIPO	VALOR UNIT	ACCID	VALOR	ACCID	VALOR	
DAÑOS	USD 3.684	17,08	USD 62.933	16,20	USD 59.669	
HERIDOS	USD 10.684	4,33	USD 46.240	4,10	USD 43.841	
MUERTES	USD 328.895	0,92	USD 301.935	0,87	USD 286.271	
		22,33	USD 411.108	21,17	USD 389.781	USD 21.328

TRAMO 4 (de 0,80 a 2,44)		SIN PROYECTO		CON PROYECTO		DIFERENC
TIPO	VALOR UNIT	ACCID	VALOR	ACCID	VALOR	
DAÑOS	USD 3.684	17,08	USD 62.933	15,28	USD 56.291	
HERIDOS	USD 10.684	4,33	USD 46.240	3,87	USD 41.359	
MUERTES	USD 328.895	0,92	USD 301.935	0,82	USD 270.067	
		22,33	USD 411.108	19,97	USD 367.718	USD 43.391

Estas diferencias de costos indican el beneficio desde el punto de vista de la seguridad en realizar la implementación del proyecto.

8.1.7. Valor de la reducción de accidentes esperada para cada año de la vida útil del proyecto

De igual forma como se realizó para el año 1, se estimaron los costos de los accidentes para los años correspondientes a la vida útil del proyecto (25 años) estableciendo la diferencia entre mantener las condiciones como se encuentran actualmente e implementar el proyecto (incrementar el ancho de berma)

Tabla 8.14. Valor de la reducción de accidentes Tramo 3 y Tramo 4

AÑO	TRAMO 3		TRAMO 4	
	(1,60 a 2,50)	(0,80 a 1,80)	(0,80 a 2,44)	
2016				
2017	USD 42.614	USD 21.328	USD 43.391	
2018	USD 45.132	USD 22.584	USD 45.948	
2019	USD 47.798	USD 23.915	USD 48.655	
2020	USD 50.622	USD 25.324	USD 51.522	
2021	USD 53.613	USD 26.817	USD 54.558	
2022	USD 56.781	USD 28.397	USD 57.773	
2023	USD 60.135	USD 30.070	USD 61.177	
2024	USD 63.688	USD 31.842	USD 64.782	
2025	USD 67.451	USD 33.718	USD 68.599	
2026	USD 71.436	USD 35.705	USD 72.642	
2027	USD 75.656	USD 37.809	USD 76.922	
2028	USD 80.126	USD 40.037	USD 81.455	
2029	USD 84.860	USD 42.396	USD 86.255	
2030	USD 89.874	USD 44.895	USD 91.337	
2031	USD 95.184	USD 47.540	USD 96.719	
2032	USD 100.807	USD 50.341	USD 102.419	
2033	USD 106.763	USD 53.308	USD 108.454	
2034	USD 113.071	USD 56.449	USD 114.844	
2035	USD 119.751	USD 59.775	USD 121.612	
2036	USD 126.826	USD 63.298	USD 128.778	
2037	USD 134.319	USD 67.027	USD 136.366	
2038	USD 142.255	USD 70.977	USD 144.402	
2039	USD 150.660	USD 75.159	USD 152.911	
2040	USD 159.561	USD 79.588	USD 161.921	
2041	USD 168.988	USD 84.278	USD 171.462	

La estimación de estos valores se presenta en el anexo A-7 para el tramo 3 y anexo A-8 para el tramo 4

8.1.8. Valor Presente Neto (VPN) del proyecto

El valor presente neto o valor actual neto se define como *el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial* (BACA 2010)

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Donde

- F_t representa los flujos de caja en cada periodo t.
- I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión.
- n el número de períodos considerado.
- i es la tasa de interés.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Para estimar el valor presente de los beneficios y costos presentados a través del tiempo de vida del proyecto se requiere establecer una tasa de interés o tasa de Descuento, para este caso, acorde con lo establecido por Gold (1998) se asumirá una tasa del 12%

De esta manera para el tramo 3, ampliando la berma de 1,60 m a 2,50 m se tendría:

Tabla 8.15. Valor presente neto del proyecto Tramo 3

n	AÑO	COSTOS	BENEF	FLUJO DE CAJA PERIODO (Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^n}$
0	2016	389.084	0	-389.084	-389.084
1	2017	3.891	42.614	38.723	34.574
2	2018	3.891	45.132	41.241	32.877
3	2019	11.673	47.798	36.126	25.714
4	2020	3.891	50.622	46.731	29.699
5	2021	3.891	53.613	49.722	28.214
6	2022	11.673	56.781	45.108	22.853
7	2023	3.891	60.135	56.244	25.442
8	2024	3.891	63.688	59.797	24.151
9	2025	11.673	67.451	55.778	20.114
10	2026	3.891	71.436	67.545	21.748
11	2027	3.891	75.656	71.766	20.631
12	2028	11.673	80.126	68.454	17.570
13	2029	3.891	84.860	80.969	18.556
14	2030	3.891	89.874	85.983	17.594
15	2031	11.673	95.184	83.511	15.257
16	2032	3.891	100.807	96.916	15.809
17	2033	3.891	106.763	102.872	14.983
18	2034	11.673	113.071	101.398	13.186
19	2035	3.891	119.751	115.860	13.452
20	2036	3.891	126.826	122.935	12.744
21	2037	11.673	134.319	122.647	11.352
22	2038	3.891	142.255	138.364	11.435
23	2039	3.891	150.660	146.769	10.830
24	2040	11.673	159.561	147.888	9.743
25	2041	3.891	168.988	165.097	9.712
SUMA		548.608	2.307.971	1.759.363	89.156

Para el tramo 3 con una tasa de 12% se tiene un valor presente neto de 89.156 dólares, el valor positivo indica que el proyecto es viable frente a esa tasa.

De igual forma para el tramo 4, ampliando la berma de 0,80 m a 1,80 m se tendría:

Tabla 8.16. Valor presente neto del proyecto Tramo 4 (berma de 0,80 a 1,80)

n	AÑO	COSTOS	BENEF	FLUJO DE CAJA (Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^n}$
0	2016	555.834	0	-555.834	-555.834
1	2017	5.558	21.328	15.769	14.080

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

2	2018	5.558	22.584	17.026	13.573
3	2019	16.675	23.915	7.240	5.153
4	2020	5.558	25.324	19.766	12.562
5	2021	5.558	26.817	21.258	12.063
6	2022	16.675	28.397	11.722	5.939
7	2023	5.558	30.070	24.512	11.088
8	2024	5.558	31.842	26.284	10.616
9	2025	16.675	33.718	17.043	6.146
10	2026	5.558	35.705	30.147	9.706
11	2027	5.558	37.809	32.251	9.271
12	2028	16.675	40.037	23.362	5.996
13	2029	5.558	42.396	36.838	8.442
14	2030	5.558	44.895	39.336	8.049
15	2031	16.675	47.540	30.865	5.639
16	2032	5.558	50.341	44.783	7.305
17	2033	5.558	53.308	47.749	6.954
18	2034	16.675	56.449	39.774	5.172
19	2035	5.558	59.775	54.217	6.295
20	2036	5.558	63.298	57.739	5.986
21	2037	16.675	67.027	50.352	4.661
22	2038	5.558	70.977	65.419	5.406
23	2039	5.558	75.159	69.601	5.136
24	2040	16.675	79.588	62.913	4.145
25	2041	5.558	84.278	78.720	4.631
SUMA		783.726	1.152.579	368.853	-361.820

Para el tramo 4, incrementando la berma de 0,80 a 1,80, con una tasa de 12% se tiene un valor presente neto de -361.820 dólares, el valor negativo indica que el proyecto no es viable frente a esa tasa.

Por último, para este mismo tramo 4, ampliando la berma de 0,80 m a 2,44 m se tendría:

Tabla 8.17. Valor presente neto del proyecto Tramo 4 (berma de 0,80 a 2,44)

n	AÑO	COSTOS	BENEF	FLUJO DE CAJA (Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^n}$
0	2016	911.567	0	-911.567	-911.567
1	2017	9.116	43.391	34.275	30.603
2	2018	9.116	45.948	36.832	29.362
3	2019	27.347	48.655	21.308	15.167
4	2020	9.116	51.522	42.406	26.950
5	2021	9.116	54.558	45.442	25.785
6	2022	27.347	57.773	30.426	15.415
7	2023	9.116	61.177	52.062	23.550
8	2024	9.116	64.782	55.666	22.483
9	2025	27.347	68.599	41.252	14.876
10	2026	9.116	72.642	63.526	20.454
11	2027	9.116	76.922	67.806	19.493
12	2028	27.347	81.455	54.108	13.888

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

13	2029	9.116	86.255	77.139	17.678
14	2030	9.116	91.337	82.222	16.824
15	2031	27.347	96.719	69.372	12.674
16	2032	9.116	102.419	93.303	15.220
17	2033	9.116	108.454	99.338	14.468
18	2034	27.347	114.844	87.497	11.378
19	2035	9.116	121.612	112.496	13.062
20	2036	9.116	128.778	119.662	12.405
21	2037	27.347	136.366	109.019	10.091
22	2038	9.116	144.402	135.286	11.180
23	2039	9.116	152.911	143.795	10.610
24	2040	27.347	161.921	134.574	8.866
25	2041	9.116	171.462	162.346	9.550
SUMA		1.285.310	2.344.902	1.059.592	-489.537

Al incrementar la berma de 0,80 a 2,44, para el tramo 4, con una tasa de 12% se tiene un valor presente neto de -489.537 dólares, el valor negativo indica que el proyecto no es viable frente a esa tasa

8.1.9. Tasa Interna de Retorno

La tasa interna de retorno (TIR) se define como la tasa de descuento por la cual el VPN es igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial.

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} - I_0 = 0$$

La estimación de la Tasa interna de retorno de este proyecto se realizó mediante la función TIR() de Excel aplicada sobre el flujo en cada uno de los tramos obteniendo los siguientes valores

Tramo 3 (de 1,60 a 2,50): TIR 14,36%

Tramo 4 (de 0,80 a 1,80): TIR 3,27%

Tramo 4 (de 0,80 a 2,44): TIR 5,21%

En el primer caso (tramo 3) la tasa es superior al 12% sugerido por Gold (1998) lo que indicaría que la inversión es rentable, en cambio las tasas del 3,27% y 5,21% del tramo 4 indicarían que no es conveniente realizar la inversión correspondiente a efectuar la ampliación de berma

8.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA AMPLIACIÓN DE BERMA VÍA PUENTE DE PIEDRA – CRUCE EL ROSAL Y EL VINO USANDO EL MODELO AJUSTADO

En el capítulo 7.2. Se observó cómo al incluir los factores de modificación de accidentes (CMF) presentados en el capítulo 10 del manual, al modelo presentado en el capítulo 11 del mismo los resultados del modelo ajustaban más a los datos observados, sugiriéndose en el capítulo 7.3 del presente documento incorporar los CMF correspondientes a curvatura horizontal y costados del camino de tramo tal y como se presentan en el capítulo 10 del Manual de Seguridad Vial, quedando el modelo de la siguiente manera:

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd} \times CMF_{6rd} \times CMF_{7rd})$$

Siendo

CMF_{6rd} el factor de modificación de accidentes por curvas horizontales el cual está dado por la ecuación 7-11 así:

$$CMF_{6rd} = \frac{(1,55 \times Lc) + (80,2/R) - (0,012 \times S)}{(1,55 \times Lc)}$$

y CMF_{7rd} el factor de modificación de accidentes por costados de camino el cual está dado por la ecuación 7-12 así:

$$CMF_{7rd} = \frac{e^{(-0,6869 + 0,0668 \times RHR)}}{e^{(-0,4865)}}$$

Para la estimación del CMF_{6rd} y CMF_{7rd} se consideraron las características de la curvatura y costado de vía, presentadas en el capítulo 6.2 obteniendo los siguientes valores:

Tabla 8.18. CMF_{6rd} para tramo 3 y tramo 4

TRAMO	No CURVAS	CMF_{6rd}
3	3	1,011
4	21	1,537

Tabla 8.19. CMF_{7rd} para tramo 3 y tramo 4

TRAMO	RHR	CMF_{7rd}
3	3	1,00
4	5	1,143

8.2.1. Factor de calibración del modelo predictivo propuesto

Para aplicar el modelo propuesto en las vías de Colombia, de manera similar a lo realizado en el capítulo 6.5. se determinó el factor de calibración relacionando la información observada con la información obtenida a partir del modelo ajustado.

Tabla 8.20. Factor de calibración del modelo predictivo propuesto

				2010	2011	2012	2013	2014		
ABSCISA		\TMDs		9583,1	11170	11998	13805	13470		
DE	A	Milla	\TAMF							
15	16	0,62	1,07	1,20	1,41	1,52	1,76	1,72		
16	17	0,62	1,11	1,25	1,47	1,58	1,83	1,79		
17	18	0,62	1,07	1,20	1,41	1,52	1,76	1,72		
18	19	0,62	1,07	1,20	1,41	1,52	1,76	1,72		
19	20	0,62	1,11	1,25	1,47	1,58	1,83	1,79		
20	21	0,62	1,07	1,20	1,41	1,52	1,76	1,72		
21	22	0,62	1,12	1,25	1,47	1,59	1,84	1,79		
			Npred	8,6	10,1	10,8	12,6	12,2	54,3	
			Nobser	20,0	18,0	24,0	22,0	24,0	108,0	
				2010	2011	2012	2013	2014		
ABSCISA		\TMDs		5505,8	5661	6629	7686	7209		
DE	A	Milla	\TAMF							
22	23	0,62	1,19	0,75	0,77	0,91	1,06	1,00		
23	24	0,62	1,98	1,24	1,28	1,51	1,76	1,65		
24	25	0,62	1,58	0,99	1,02	1,21	1,41	1,32		
25	26	0,62	1,54	0,97	1,00	1,18	1,37	1,28		
26	27	0,62	1,60	1,01	1,04	1,22	1,43	1,33		
27	28	0,62	1,89	1,19	1,22	1,44	1,68	1,58		
28	29	0,62	2,35	1,47	1,52	1,79	2,09	1,96		
29	30	0,62	2,12	1,33	1,37	1,62	1,89	1,76		
30	31	0,62	3,32	2,08	2,15	2,53	2,96	2,77		
			Npred	11,0	11,4	13,4	15,7	14,6	66,1	
			Nobser	30,0	23,0	35,0	36,0	35,0	159,0	

$$Cr = \frac{\sum \text{observ}}{\sum \text{pred}} = \frac{108,0 + 159,0}{54,3 + 66,1} = \frac{267,0}{120,4} = 2,218$$

8.2.2. Estimación de accidentes con las condiciones iniciales

El modelo ajustado se aplicó inicialmente para estimar los accidentes en las condiciones actuales de la vía para el año cero (2016)

Tramo 3 PUENTE PIEDRA – CRUCE EL ROSAL (año 2016)

TMDs estimado	16.903 veh/dia	
Longitud	7 km (4,35 millas)	
Coefficientes	a=-9,025	b=1,049
Características de la vía	Ancho de carril	3,65 m (CMF _{1rd} = 1,00)
	Ancho de berma	1,60 m (CMF _{2rd} = 1,071)
	Mediana	Rígida (CMF _{3rd} = 1,00)
	Iluminación	No (CMF _{4rd} = 1,00)
	Control A. Velocidad	No (CMF _{5rd} = 1,00)
	Curvatura Horizontal	(CMF _{6rd} = 1,011)
	Costado del camino	RHR 3 (CMF _{7rd} = 1,00)

$$N_{spfrd} = e^{(a+b \ln(TMDA) \ln(L))}$$

$$N_{spfrd} = e^{(-9,025+1,049 \ln(16.903) \ln(4,35))}$$

$$N_{spfrd} = 14,26$$

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd} \times CMF_{6rd})$$

$$N_{pred} = 14,26 \times 2,211 \times (1,00 \times 1,071 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,011 \times 1,00)$$

$$N_{pred} = 34,24$$

Usando el modelo ajustado se estimaría que para el año 2016 en el tramo 3 - PUENTE PIEDRA – CRUCE EL ROSAL, se presentaran 34,24 accidentes de los cuales 26,20 serán con solo daños (77%) 6,64 con heridos (19%) y 1,41 accidentes presentarán fallecidos (4%).

Tramo 4 CRUCE EL ROSAL – EL VINO (año 2016)

TMDA estimado	8339 veh/dia	
Longitud	9 km (5,59 millas)	
Coefficientes	a=-9,025	b=1,049
Características de la vía	Ancho de carril	3,65 m (CMF _{1rd} = 1,00)
	Ancho de berma	0,80 m (CMF _{2rd} = 1,118)
	Mediana	Rígida (CMF _{3rd} = 1,00)
	Iluminación	No (CMF _{4rd} = 1,00)
	Control A. Velocidad	No (CMF _{5rd} = 1,00)
	Curvatura Horizontal	(CMF _{6rd} = 1,537)
	Costado del camino	RHR 5 (CMF _{7rd} = 1,143)

$$N_{spfrd} = e^{(a+b \ln(TMDA) \ln(L))}$$

$$N_{spfrd} = e^{(-9,025+1,049 \ln(8339) \ln(5,59))}$$

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

$$N_{spfrd} = 8,74$$

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd} \times CMF_{6rd} \times CMF_{7rd})$$

$$N_{pred} = 8,74 \times 2,211 \times (1,00 \times 1,118 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,537 \times 1,143)$$

$$N_{pred} = 38,06$$

Se estima que para el año 2016 en el Tramo 4 CRUCE EL ROSAL – EL VINO, se presentaran 38,06 accidentes de los cuales 29,12 serán con solo daños (77%) 7,38 con heridos (19%) y 1,56 accidentes presentarán fallecidos (4%)

8.2.3. Valor de la reducción de accidentes esperada para el primer año después de la implantación del proyecto

De igual forma con lo ocurrido en el modelo original, al incrementar el ancho de berma en los dos tramos analizados se espera que se presente una reducción en el número de accidentes. Considerando que la obra se realiza en el año 0 (2016) los beneficios se presentarán desde el año 1 (2017) donde se pondrá uso la nueva berma con en ancho recomendado en la Norma

Para el tramo 3, en el año 1 (2017), cambiando el valor del ancho de berma por el ancho propuesto en el manual de diseño (2,50 m) se tiene un CMF_{2rd} que pasaría de 1,071 a 1,00

TMDs estimado	17.853 veh/dia	
Longitud	7 km (4,35 millas)	
Coeficientes	a=-9,025	b=1,049
Características de la vía	Ancho de carril	3,65 m ($CMF_{1rd} = 1,00$)
	Ancho de berma	1,60 m ($CMF_{2rd} = 1,071$)
	Mediana	Rígida ($CMF_{3rd} = 1,00$)
	Iluminación	No ($CMF_{4rd} = 1,00$)
	Control A. Velocidad	No ($CMF_{5rd} = 1,00$)
	Curvatura horizontal	($CMF_{6rd} = 1,011$)
	Costado del camino	RHR 3 ($CMF_{7rd} = 1,00$)

$$N_{spfrd} = e^{(a+bln(TMDA) \ln(L))}$$

$$N_{spfrd} = e^{(-9,025+1,049 \ln(17.853) \ln(4,35))}$$

$$N_{spfrd} = 15,10$$

Berma 1,60 m

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd} \times CMF_{6rd} \times CMF_{7rd})$$

$$N_{pred} = 15,10 \times 2,211 \times (1,00 \times 1,071 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,011 \times 1,00)$$

$$N_{pred} = 36,27$$

Berma 2,50 m

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd} \times CMF_{6rd} \times CMF_{7rd})$$

$$N_{pred} = 15,10 \times 2,211 \times (1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,011 \times 1,00)$$

$$N_{pred} = 33,86$$

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Para el tramo 4 cambiando el valor del ancho de berma por el ancho propuesto en el manual de diseño (1,80 m) se tiene un CMF_{2rd} que pasaría de 1,118 a 1,06

TMDs estimado	8807 veh/día	
Longitud	9 km (5,59 millas)	
Coefficientes	a=-9,025	b=1,049
Características de la vía	Ancho de carril	3,65 m (CMF _{1rd} = 1,00)
	Ancho de berma	0,80 m (CMF _{2rd} = 1,118)
	Mediana	Rígida (CMF _{3rd} = 1,00)
	Iluminación	No (CMF _{4rd} = 1,00)
	Control A. Velocidad	No (CMF _{5rd} = 1,00)
	Curvatura Horizontal	(CMF _{6rd} = 1,537)
	Costado del camino	RHR 5 (CMF _{7rd} = 1,143)

$$N_{spfrd} = e^{(a+bln(TMDA) \ln(L))}$$

$$N_{spfrd} = e^{(-9,025+1,049 \ln(8807) \ln(5.59))}$$

$$N_{spfrd} = 9,25$$

Berma 0,80 m

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd} \times CMF_{6rd} \times CMF_{7rd})$$

$$N_{pred} = 9,25 \times 2,211 \times (1,00 \times 1,118 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,537 \times 1,143)$$

$$N_{pred} = \mathbf{40,30}$$

Berma 1,80 m

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd} \times CMF_{6rd} \times CMF_{7rd})$$

$$N_{pred} = 9,25 \times 2,211 \times (1,00 \times 1,06 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,537 \times 1,143)$$

$$N_{pred} = \mathbf{38,21}$$

Por último, cambiando el valor del ancho de berma para el tramo 4, por la condición base del Manual de Seguridad Vial (2,44 m -8 pies) se tiene un CMF_{2rd} que pasaría de 1,118 a 1,00

$$N_{pred} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd} \times CMF_{6rd} \times CMF_{7rd})$$

$$N_{pred} = 9,25 \times 2,211 \times (1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,537 \times 1,143)$$

$$N_{pred} = \mathbf{36,05}$$

Con estos valores accidentes estimados de se determinaron los costos de los accidentes para el primer año

Tabla 8.21. Valor de la reducción de accidentes esperada para el año 1 (2017) usando el modelo ajustado

TRAMO 3 (de 1,60 a 2,50)		SIN PROYECTO		CON PROYECTO		DIFERENC
TIPO	VALOR UNIT	ACCID	VALOR	ACCID	VALOR	
DAÑ	USD 3.684	27,74	USD 102.218	25,91	USD 95.442	

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

HER	USD 10.684	7,03	USD 75.104	6,56	USD 70.125
MUE	USD 328.895	1,49	USD 490.412	1,39	USD 457.901
		36,27	USD 667.734	33,86	USD 623.468
					USD 44.266

TRAMO 4 (de 0,80 a 1,80)		SIN PROYECTO		CON PROYECTO		DIFERENC
ACC	VALOR UNIT	ACCID	VALOR	ACCID	VALOR	
DAÑ	USD 3.684	30,83	USD 113.598	29,23	USD 107.704	
HER	USD 10.684	7,81	USD 83.465	7,41	USD 79.135	
MUE	USD 328.895	1,66	USD 545.007	1,57	USD 516.733	
		40,30	USD 742.070	38,21	USD 703.572	USD 38.497

TRAMO 4 (de 0,80 a 2,44)		SIN PROYECTO		CON PROYECTO		DIFERENC
ACC	VALOR UNIT	ACCID	VALOR	ACCID	VALOR	
DAÑ	USD 3.684	30,83	USD 113.598	27,58	USD 101.608	
HER	USD 10.684	7,81	USD 83.465	6,99	USD 74.655	
MUE	USD 328.895	1,66	USD 545.007	1,48	USD 487.484	
		40,30	USD 742.070	36,05	USD 663.747	USD 78.322

8.2.4. Valor de la reducción de accidentes esperada para cada año de la vida útil del proyecto

De igual forma como se realizó para el año 1, se estimaron los costos de los accidentes para los años correspondientes a la vida útil del proyecto (25 años) estableciendo la diferencia entre mantener las condiciones como se encuentran actualmente e implementar el proyecto (incrementar el ancho de berma)

Tabla 8.22. Valor de la reducción de accidentes Tramo 3 y tramo 4

AÑO	TRAMO 3		TRAMO 4	
	(1,60 a 2,50)	(0,80 a 1,80)	(0,80 a 1,80)	(0,80 a 2,44)
2016				
2017	USD 44.266	USD 38.497	USD 78.322	
2018	USD 46.882	USD 40.766	USD 82.937	
2019	USD 49.651	USD 43.168	USD 87.825	
2020	USD 52.585	USD 45.712	USD 93.000	
2021	USD 55.692	USD 48.405	USD 98.480	
2022	USD 58.982	USD 51.258	USD 104.283	
2023	USD 62.467	USD 54.278	USD 110.428	
2024	USD 66.157	USD 57.476	USD 116.935	
2025	USD 70.066	USD 60.863	USD 123.825	
2026	USD 74.205	USD 64.450	USD 131.122	
2027	USD 78.590	USD 68.247	USD 138.848	
2028	USD 83.233	USD 72.269	USD 147.030	
2029	USD 88.150	USD 76.527	USD 155.694	
2030	USD 93.358	USD 81.037	USD 164.868	
2031	USD 98.874	USD 85.812	USD 174.583	
2032	USD 104.716	USD 90.868	USD 184.870	
2033	USD 110.902	USD 96.223	USD 195.764	

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

2034	USD 117.454	USD 101.893	USD 207.299
2035	USD 124.394	USD 107.897	USD 219.515
2036	USD 131.743	USD 114.255	USD 232.450
2037	USD 139.527	USD 120.988	USD 246.147
2038	USD 147.770	USD 128.117	USD 260.651
2039	USD 156.501	USD 135.666	USD 276.010
2040	USD 165.747	USD 143.660	USD 292.275
2041	USD 175.539	USD 152.126	USD 309.497

8.2.5. Valor Presente Neto (VPN) del proyecto

De igual manera a lo realizado en el capítulo 7.1.8, para estimar el valor presente de los beneficios y costos presentados a través del tiempo de vida del proyecto se calculó el valor presente neto asumiendo una tasa del 12%.

Tabla 8.23. Valor presente neto del proyecto Tramo 3 (de 1,60 a 2,50)

AÑO	COSTOS	BENEF	FLUJO DE CAJA (Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^n}$
0 2016	389.084	0	-389.084	-389.084
1 2017	3.891	44.266	40.375	36.049
2 2018	3.891	46.882	42.991	34.272
3 2019	11.673	49.651	37.979	27.033
4 2020	3.891	52.585	48.694	30.946
5 2021	3.891	55.692	51.801	29.393
6 2022	11.673	58.982	47.309	23.968
7 2023	3.891	62.467	58.576	26.497
8 2024	3.891	66.157	62.266	25.148
9 2025	11.673	70.066	58.393	21.057
10 2026	3.891	74.205	70.315	22.639
11 2027	3.891	78.590	74.699	21.474
12 2028	11.673	83.233	71.560	18.368
13 2029	3.891	88.150	84.259	19.310
14 2030	3.891	93.358	89.467	18.307
15 2031	11.673	98.874	87.201	15.931
16 2032	3.891	104.716	100.825	16.447
17 2033	3.891	110.902	107.011	15.586
18 2034	11.673	117.454	105.782	13.756
19 2035	3.891	124.394	120.503	13.991
20 2036	3.891	131.743	127.852	13.254
21 2037	11.673	139.527	127.854	11.834
22 2038	3.891	147.770	143.879	11.891
23 2039	3.891	156.501	152.610	11.261
24 2040	11.673	165.747	154.074	10.151
25 2041	3.891	175.539	171.648	10.097
SUMA	548.608	2.397.450	1.848.842	109.576

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Para el tramo 3, incrementando el ancho de berma de 1,60m a 2,50m, con una tasa de 12% se tiene un valor presente neto de 109.576 dólares, el valor positivo indica que el proyecto si es viable frente a esa tasa.

Tabla 8.24. Valor presente neto del proyecto Tramo 4 (de 0,80 a 1,80)

AÑO	COSTOS	BENEF	FLUJO DE CAJA (Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^n}$
0 2016	555.834	0	-555.834	-555.834
1 2017	5.558	38.497	32.939	29.410
2 2018	5.558	40.766	35.207	28.067
3 2019	16.675	43.168	26.493	18.857
4 2020	5.558	45.712	40.153	25.518
5 2021	5.558	48.405	42.847	24.313
6 2022	16.675	51.258	34.583	17.521
7 2023	5.558	54.278	48.720	22.038
8 2024	5.558	57.476	51.918	20.969
9 2025	16.675	60.863	44.188	15.935
10 2026	5.558	64.450	58.891	18.961
11 2027	5.558	68.247	62.689	18.022
12 2028	16.675	72.269	55.594	14.270
13 2029	5.558	76.527	70.969	16.264
14 2030	5.558	81.037	75.478	15.444
15 2031	16.675	85.812	69.137	12.631
16 2032	5.558	90.868	85.310	13.916
17 2033	5.558	96.223	90.665	13.205
18 2034	16.675	101.893	85.218	11.082
19 2035	5.558	107.897	102.339	11.882
20 2036	5.558	114.255	108.697	11.268
21 2037	16.675	120.988	104.312	9.655
22 2038	5.558	128.117	122.558	10.129
23 2039	5.558	135.666	130.108	9.600
24 2040	16.675	143.660	126.985	8.366
25 2041	5.558	152.126	146.567	8.622
SUMA	783.726	2.080.458	1.296.732	-149.890

Para el tramo 4, incrementando el ancho de berma de 0,80m a 1,80m, con una tasa de 12% se tiene un valor presente neto de -149.890 dólares, el valor negativo indica que el proyecto no es viable frente a esa tasa.

Tabla 8.25. Valor presente neto del proyecto Tramo 4 (de 0,80 a 2,44)

AÑO	COSTOS	BENEF	FLUJO DE CAJA (Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^n}$
0 2016	911.567	0	-911.567	-911.567
1 2017	9.116	78.322	69.207	61.792
2 2018	9.116	82.937	73.822	58.850
3 2019	27.347	87.825	60.478	43.047
4 2020	9.116	93.000	83.884	53.310
5 2021	9.116	98.480	89.364	50.708

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

6	2022	27.347	104.283	76.936	38.978
7	2023	9.116	110.428	101.312	45.828
8	2024	9.116	116.935	107.819	43.546
9	2025	27.347	123.825	96.478	34.791
10	2026	9.116	131.122	122.006	39.283
11	2027	9.116	138.848	129.732	37.295
12	2028	27.347	147.030	119.683	30.720
13	2029	9.116	155.694	146.578	33.592
14	2030	9.116	164.868	155.752	31.870
15	2031	27.347	174.583	147.236	26.899
16	2032	9.116	184.870	175.755	28.669
17	2033	9.116	195.764	186.648	27.184
18	2034	27.347	207.299	179.952	23.401
19	2035	9.116	219.515	210.399	24.429
20	2036	9.116	232.450	223.334	23.152
21	2037	27.347	246.147	218.800	20.252
22	2038	9.116	260.651	251.536	20.788
23	2039	9.116	276.010	266.895	19.694
24	2040	27.347	292.275	264.928	17.454
25	2041	9.116	309.497	300.381	17.669
SUMA		1.285.310	4.232.656	2.947.346	-58.367

Para el tramo 4, utilizando el modelo ajustado e incrementando el ancho de berma de 0,80m a 2,44m, con una tasa retorno del 12% se tiene un valor presente neto de -58.367 dólares, el valor negativo indica que el proyecto no es viable frente a esa tasa.

8.2.6. Tasa Interna de Retorno

Finalmente se calculó la tasa interna de retorno mediante la función TIR() de Excel aplicada sobre el flujo de inversión en cada uno de los tramos obteniendo los siguientes valores.

Tramo 3 (de 1,60 a 2,50): TIR 14,87%

Tramo 4 (de 0,80 a 1,80): TIR 8,91%

Tramo 4 (de 0,80 a 2,44): TIR 11,30%

Para el caso de incrementar la berma del tramo 3 a 2,50 m se tiene una tasa interna de retorno superior al 12% sugerida por Gold (1998) lo que indicaría que la inversión es rentable, caso diferente a lo ocurrido en el caso del tramo 4 donde este valor fue inferior al 12% aunque con el modelo ajustado se aproxima al valor de referencia para el caso de incrementando el ancho de berma de 0,80m a 2,44m

Comparando los resultados del modelo ajustado frente a los resultados del modelo original se puede apreciar el aumento en la TIR en más de 5 puntos porcentuales para el caso de vía de montaña, incremento que podría marcar la diferencia entre tomar una u otra decisión, siendo económicamente viable la realización de obras para incrementar la berma en los tramos 3 y 4

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Tabla 8.26. Tasa Interna de retorno

Tramo	TIR (modelo manual)	TIR (modelo ajustado)
Tramo 3 (incremento de Berma de 1,60 a 2,50)	14,36%	14,87%
Tramo 4 (incremento de Berma de 0,80 a 1,80)	3,27%	8,91%
Tramo 4 (incremento de 0,80 a 2,44)	5,21%	11,30%

En los anexos A-8 A-9 y A-10 se presenta el proceso para la estimación de la tasa interna de retorno usando el modelo del manual, en los anexos A-11 A-12 y A-13 se presenta el proceso para la estimación de la tasa interna de retorno usando el modelo ajustado.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. CONCLUSIONES

En el desarrollo de la presente investigación se observó como el modelo presentado en el Capítulo 11 Manual de Seguridad Vial (HSM 2010), ajustándose a las condiciones locales mediante el factor de calibración propuesto en el mismo, representa de manera razonable el número de accidentes presentados en carreteras rurales multicarril, evidenciándose una correlación entre el modelo y lo observado.

Al realizar la calibración del modelo establecido en el manual a las condiciones locales, se obtuvo un coeficiente de calibración para el total de accidentes de 2,158, valor similar al 1,941 determinado para accidentes con muertos y lesiones, indicando de esa manera que los accidentes en las rutas estudiadas de Colombia serían aproximadamente el doble de los accidentes que se pudiesen presentar en rutas de los Estados Unidos, tanto para el total de accidentes como para accidentes con muertos y lesiones.

Dos de los tres tramos donde se evidenció que los datos observados superaban en mayor medida entre los datos obtenidos correspondían a zona de montaña, esto, acorde a lo presentado en este informe, se da debido a que el modelo trabaja en función de cinco características geométricas de diseño y control de tráfico como son: Ancho de carril, Ancho de Berma Lateral, Ancho de mediana, Iluminación y Presencia de controles automáticos de velocidad, dejando a un lado algunas características como pendiente, costados del camino o curvatura horizontal, factores que, como se pudo observar, afectan el número de accidentes.

Al incluir las características de diseño presentadas en el modelo del capítulo 10 del Manual de Seguridad Vial (el cual fue realizado pensando en vías de dos carriles) sobre las vías multicarril estudiadas en el presente proyecto, se observó cómo estos factores afectan el número de accidentes presentados acercando más al modelo a lo observado en campo, principalmente en caminos de montaña, razón por la cual se estableció un nuevo modelo incluyendo los dos factores que afectaron en mayor medida al modelo original, los cuales fueron los de Curvatura horizontal y Costados de camino.

Al evaluar económicamente un proyecto de mejora de infraestructura desde el campo de la seguridad vial, se observó como la viabilidad del mismo variaba al considerar el modelo original del Manual de Seguridad Vial, frente al modelo ajustado incluyendo los factores de curvatura horizontal y costados del camino, haciendo que los indicadores para evaluación de proyectos de inversión como lo son el VPN y la TIR mejoren con el modelo ajustado; esto muestra como un modelo más ajustado a las condiciones encontradas puede ser la diferencia entre tomar o no una decisión de inversión lo que establece la importancia de contar con un modelo que refleje de manera más acertada la situación que se puede presentar.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Comparando la condición base de las cinco características de diseño consideradas en el modelo del Manual de Seguridad Vial (HSM 2010) para vías multicarril, frente a lo establecido en el manual de diseño del INVIAS se observó lo siguiente:

- El Ancho de Berma Lateral, solicitado en el Manual de Diseño para caminos en terreno montañoso (1,80) aleja de condición base establecida en el manual (8 pies – 2,44 m). De igual forma en ancho de berma encontrado en las vías difiere de ambos valores, encontrándose anchos muy inferiores a esta medida así como variaciones repentinas del ancho de berma en las vías
- Las medianas establecidas como condición base en el Manual de Seguridad Vial son medianas atravesables que permiten al vehículo que salga de la vía volver a la misma sin mayor daño, en cambio las medianas establecidas en el Manual de Diseño del INVIAS son medianas rígidas las cuales evitan el choque con el vehículo que venga en sentido contrario pero no permiten al vehículo que se despiste volver con facilidad.

El manual de diseño del INVIAS también propone un ancho de berma interno de 50 cm que no siempre se cumple, lo cual es un factor de riesgo considerable para los vehículos que se despisten por el carril central.

Adicionalmente en la realización del presente trabajo investigativo se observaron los siguientes aspectos

- En la aplicación de los modelos se utilizó la información tanto de la Policía de carreteras como del Ministerio de Transporte. Revisando la información existente se observaron diferencias en los datos, lo que hace que las estadísticas reportadas sean poco confiables y limiten su uso en la toma de medidas o para establecer políticas de seguridad vial.
- En los tramos estudiados son pocas las zonas iluminadas y no existe la presencia de sectores con sistemas automatizados de control de velocidad lo que no permite la evaluación del efecto de estos dos factores sobre la seguridad vial.

9.2. RECOMEDACIONES

- De las cinco características consideradas por el modelo la característica más alejada de la línea base es el ancho de berma, encontrándose en el terreno anchos de diferentes medidas, situación crítica si se considera que estas bermas, además de ser espacio de maniobra en caso de despiste, son usadas para el tráfico de peatones y ciclistas

Se recomienda realizar un mayor seguimiento al cumplimiento de los parámetros establecidos en el Manual de diseño del INVIAS, tanto para los proyectos nuevos, como para las obras de mejoramiento de proyectos existentes, ya que se observó falta de continuidad en características las geométricas los tramos observados, principalmente en el ancho de bermas

- La mayoría de medianas identificadas corresponden a medianas rígidas, tal y como lo establece el Manual de Diseño del INVIAS; estas medianas generan un riesgo significativo de accidente por despiste y más cuando el ancho de la berma interna sugerida en este mismo manual tampoco se cumple de una manera continua, se recomienda dejar berma interna que permita realizar la maniobra correspondiente.

Es de resaltar que como establece Gouvea (2007) la implementación de las medianas rígidas *“produce un aumento del número total de accidentes, pero reduce de forma notable la gravedad de estos, en la medida en que elimina prácticamente las colisiones frontales.”*

- Es importante contar con una base de datos completa y confiable que presente un número real de accidentes así como las características de los mismos, por los cual es importante aunar esfuerzos entre las diferentes entidades que directa o indirectamente intervienen en la seguridad vial.
- Como futuro tema de investigación se propone aplicar para la República Argentina y demás países de Latino América el modelo predictivo para estimar la frecuencia de accidentes para una vía multicarril, para vías en tramos de montaña tal y como se muestra en el Manual de Seguridad Vial (HSM 2010), y también incluyendo los factores de modificación de accidentes para vías de dos carriles como se presenta en el capítulo 10 del Manual.
- El considerable número de bicicletas en las vías observadas, principalmente en los tramos cercanos a Bogotá, hace necesario pensar en un espacio propio para la circulación de bicicletas, alejadas del tránsito vehicular donde se encuentran en gran riesgo de accidentes de tránsito. Como alternativa de solución a este inconveniente en el ANEXO 1. se propone la construcción de un carril o vía específica para bicicletas donde los ciclistas puedan transitar con seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO (2010). *Highway Safety Manual*. Washington D.C: AASHTO

American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO (s.f.). *An Introduction to the Highway Safety Manual*. Recuperado de: <http://www.highwaysafetymanual.org/Documents/HSMP-1.pdf>

Bañón, L; Bevia, J. (2000) *Manual de carreteras. Vol. 1* Alicante: Ortiz e Hijos, Contrastista de Obras, S.A.

Baca Urbina G; (2010) *Evaluación de Proyectos Sexta Edición*. Mexico. McGraw-Hill.

Ferrer, A. Smith, R. Espinosa, O. Cuellar, M. Raffo, V (2013). *Análisis de la Capacidad de Gestión de la Seguridad Vial*. Colombia. Global Road Safety Facility.

Gold Philip, A; (1998) *seguridad de tránsito Aplicaciones de Ingeniería para reducir accidentes*. Washington D.C: Banco interamericano de desarrollo

Gouvea Campos, V; Sampedro Tamayo, A (2007) *Efecto de los elementos de la infraestructura viaria sobre la seguridad de la circulación*. Brasil Programa de Pos Graduación en Ingeniería de Transportes, Instituto Militar de Engenharia,

Hundley T. (2013) *Project Roads Kill* Pulitzer Center Recuperado de: <http://pulitzercenter.org/projects/roads-kill-traffic-safety-world-health-organization-united-nations-fatalities-pulitzer-center-reporting-interactive-map-data-visualization>

Instituto de Desarrollo Urbano – IDU (1999), *Plan maestro de ciclorutas, manual de diseño*. Bogotá, Alcaldía mayor de Santa Fe de Bogotá D.C. consorcio projekta ltda. – interdiseños ltda,

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Grupo Centro de Referencia Nacional sobre Violencia (2017). *Forensis 2016. Datos para la vida*. Bogotá, D. C. Imprenta Nacional

Instituto Nacional de Vías – INVIAS (2008) *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Bogotá. Subdirección apoyo técnico INVIAS

Instituto Nacional de Vías – INVIAS (2017) *Serie histórica de tránsito promedio diario actualizada TPD 2016* Publicación Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/6609-serie-historica-de-transito-promedio-diario-actualizada-tpd-2016-publicacion>

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Instituto Nacional de Vías – INVIAS (s.f.) *Volúmenes De Tránsito 2016*
<https://hermes.invias.gov.co/volumenes/>

Ley 769 de 2002 República de Colombia - Gobierno Nacional. (2002) *Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones.* Bogotá

Ley 1811 de 2016 República de Colombia - Gobierno Nacional. (2016) por la cual se otorgan incentivos para promover el uso de la bicicleta en el territorio nacional y se modifica el código nacional de tránsito.

Márquez Díaz L; (2013) *Desarrollo de metodología de valoración del costo económico de la accidentalidad vial en Colombia y cálculo para el periodo 2008-2010, Informe Consolidado – Desarrollo y Aplicación de la Metodología.* Bogotá. Universidad de los Andes, Corporación Fondo de Prevención Vial

Mendoza Diaz, A; Quintero Pereda, F; Mayoral Grajeda E; (2002) *Algunas Consideraciones De Seguridad Para El Proyecto Geométrico De Carreteras.* Sanfandila, Querétaro, Instituto mexicano del transporte

Organización Mundial de la Salud - OMS. (2013). *resumen informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2013 apoyo al decenio de acción.* Recuperado de: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/report/summary_es.pdf

ANEXOS

ANEXO A-1 CARRILES PARA CIRCULACIÓN DE BICICLETAS, UNA PROPUESTA PARA MEJORAR LA SEGURIDAD

ANEXO A-2 GLOSARIO

ANEXO A-3. ESTIMACIÓN DE ACCIDENTES TOTALES Y FACTOR DE CALIBRACIÓN, MODELO CAPITULO 10 MANUAL DE SEGURIDAD HSM

ANEXO A-4. ESTIMACIÓN DE ACCIDENTES TOTALES CON MUERTOS Y HERIDOS Y FACTOR DE CALIBRACIÓN

ANEXO A-5 CÁLCULO FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACCIDENTES - MODELO CAPÍTULO 10 MANUAL HSM

ANEXO A-6. ACCIDENTES TRAMOS 3-4, MODELO CAPITULO 11 MANUAL DE SEGURIDAD HSM

ANEXO A-7. ACCIDENTES TRAMOS 3-4, MODELO CAPITULO 11 + CAPÍTULO 10 MANUAL DE SEGURIDAD HSM

ANEXO A-8 VALOR DE LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES TRAMO 3 MODELO HSM

ANEXO A-9 VALOR DE LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES TRAMO 4 MODELO HSM

ANEXO A-10 VALOR PRESENTE NETO MODELO HSM

ANEXO A-11 VALOR DE LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES TRAMO 3 MODELO AJUSTADO

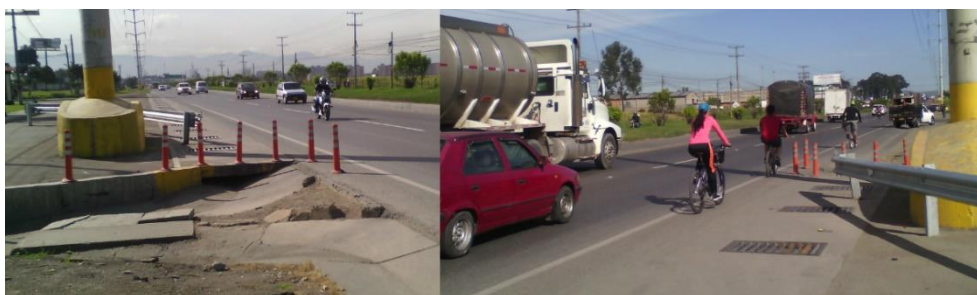
ANEXO A-12 VALOR DE LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES TRAMO 4 MODELO AJUSTADO

ANEXO A-13 VALOR PRESENTE NETO MODELO AJUSTADO

ANEXO 1. CARRILES PARA CIRCULACIÓN DE BICICLETAS, UNA PROPUESTA PARA MEJORAR LA SEGURIDAD

Al realizar el recorrido a los diferentes tramos estudiados se evidenció el uso de la bicicleta como alternativa de movilidad principalmente en las zonas cercanas a Bogotá y a los centros poblados, en estos sectores se pudo apreciar como la circulación de los ciclistas se da principalmente por la berma de calzada, la cual, como se mostró en el capítulo 6.3 presenta puntos con dificultad de tránsito.

Figura. A1.1. Variación de berma en Tramo Bogotá Siberia. La reducción de la berma lateral por presencia de obstáculos obliga a ciclistas y peatones a invadir el carril vehicular



Otro problema evidenciado en campo es que algunos ciclistas, aunque contaran con espacio de circulación en la berma, invadían espacio de la calzada destinada al tránsito vehicular generando peligro en la vía, esta invasión de calzada observada principalmente en quienes usan la bicicleta como parte de una actividad deportiva o recreativa.

Figura A1.2. Circulación de ciclistas por actividad deportiva o recreativa sobre carril vehicular.



Adicionalmente a ellos se encuentran quienes usan la bicicleta como medio de transporte para movilizarse al trabajo o estudio, los pertenecientes a este grupo suelen hacer trayectos más cortos principalmente en los tramos cercanos a Bogotá, siendo

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

estos recorridos realizados en las horas pico laborales de manera conjunta con el tránsito vehicular evidenciándose situaciones de conflicto.

Figura A1.3. *Circulación de ciclistas por trabajo sobre carril vehicular.*



En las figuras A1.2. y A1.3. se muestran casos en los que la circulación de las bicicletas se da por el carril vehicular, ya sea por la costumbre de andar sobre el carril vehicular o por insuficiencia en el ancho de la Berma insuficiente

A1.1. CIRCULACIÓN DE LA BICICLETA

El uso de la bicicleta como alternativa de transporte, se ve incentivado principalmente por el ahorro frente a otros medios de transporte, ya sea el ahorro en pasaje para usuarios del transporte público, o el ahorro en combustibles, peajes, parqueaderos, entre otros para usuarios de vehículo propio o motocicleta, también existen razones como cultura de cuidado del medio ambiente, o de manera recreativa haciendo de esta alternativa una opción llamativa al momento de realizar trayectos en distancias cortas.

De igual forma el gobierno nacional ha buscado incentivar el uso de la bicicleta, es así como la ley 1811 de 2016 Establece medidas como que los funcionarios públicos recibirán medio día laboral libre remunerado por cada 30 veces que certifiquen haber llegado a trabajar en bicicleta y la obligatoriedad de contar con parqueaderos para bicicletas en edificios públicos.

Otra medida que ha venido desarrollándose es la de construcción de espacios para la circulación de bicicletas como las redes de ciclorutas de en las diferentes ciudades, pero en las áreas rurales esta circulación se da por la Berma de la vía, la cual, según lo que se muestra en la tabla A1.1, es principalmente un espacio pensado en la seguridad vehicular, más no como espacio para circulación de bicicleta

Tabla A1.1. *Concepto de berma en normatividad para diferentes países*

PAIS	NORMATIVIDAD	TEXTO
COLOMBIA	Manual de diseño geométrico	La berma es la faja comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta. Cumple cuatro funciones básicas:

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

	INVIAS	proporciona protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permite detenciones ocasionales de los vehículos; asegura una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores aumentando de este modo la capacidad de la vía y ofrece espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad.
COLOMBIA	Ley 769 de 2002	Parte de la estructura de la vía, destinada al soporte lateral de la calzada para el tránsito de peatones, semovientes y ocasionalmente al estacionamiento de vehículos y tránsito de vehículos de emergencia
ARGENTINA	Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial - DNV 2010	Las banquetas son áreas utilizables inmediatamente adyacentes a la calzada; constituyen elementos críticos de la sección transversal del camino. Ellas proveen: <ul style="list-style-type: none"> • Zona despejada (ZD) para los vehículos errantes y soporte de franjas sonoras; • Menores tasas de accidentes por salida del camino y choques frontales, evitando la caída del borde del pavimento • Zona para vehículos de emergencia • Soporte lateral de la estructura de la calzada • Capacidad • Visibilidad en las secciones de corte • Carril de ciclistas • Carril de emergencia natural, en especial en perfil tipo autovía o autopista • Tránsito más seguro de maquinarias agrícolas y equipos especiales -previo permiso especial de la DVN-, evitando la invasión del carril de sentido contramano.
PERU	Manual De carreteras, diseño geométrico, DG-2013	Franja longitudinal, paralela y adyacente a la calzada o superficie de rodadura de la carretera, que sirve de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para estacionamiento de vehículos en caso de emergencias
CHILE	Manual de Carreteras , Dirección de Vialidad – Chile, 2015	Las bermas son las franjas que flanquean el pavimento de la (s) calzadas(s). Ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados. Las bermas cumplen cuatro funciones básicas: proporcionan protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permiten detenciones ocasionales; aseguran una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores, aumentando de este modo la capacidad de la vía, y ofrecen espacio adicional para maniobras de emergencia, aumentando la seguridad. Para que estas funciones se cumplan en la práctica, las bermas deben ser de un ancho constante, estar libres de obstáculos y deben estar compactadas homogéneamente en toda su sección. Para lograr dichos objetivos se consultan los sobrecanchos de la plataforma “SAP”, que confinan la estructura de las bermas y en los que se instalarán las barreras de

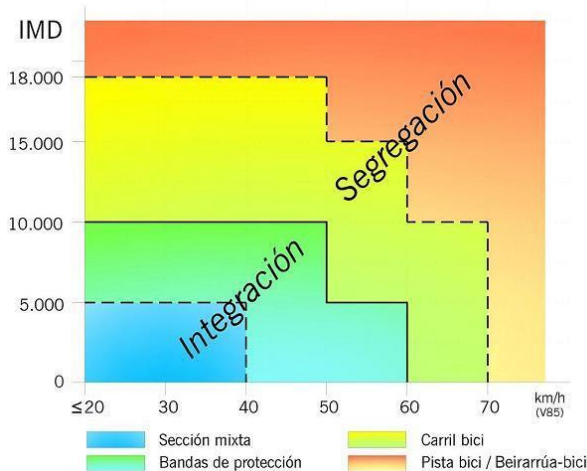
VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

		contención y la señalización vertical.
España	Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras	ARCÉN: Franja longitudinal pavimentada, contigua a la calzada, no destinada al uso de vehículos más que en circunstancias excepcionales. (En España la Berma es la franja de terreno sin pavimentar junto a los exteriores de los arcenes)
USA	HSM 2010 (Pg 13-68)	Las bermas están destinados a desempeñar varias funciones, entre ellas: Área de recuperación para vehículos fuera de control, proporcionar un área de parada de emergencia, y Mejorar la integridad estructural de la superficie del pavimento

Considerando que el uso principal de estas bermas no es el del tránsito de bicicletas, se podría pensar en generar un ancho de berma suficiente para los usos anteriormente descritos así como la circulación de bicicletas, pero el mismo manual establece que un incremento excesivo en el ancho de la berma puede generar problemas como el dar lugar a velocidades de funcionamiento más altas que, a su vez, pueden afectar la gravedad del accidente o que los conductores puedan optar por utilizar la berma más amplia como un carril de viaje.

Por otro lado la plataforma nacional holandesa de conocimientos para el espacio de infraestructura, tráfico y transporte público- Crow define las características de densidad de tráfico y velocidad para determinar el nivel de segregación entre vehículos y bicicletas para un tramo vial.

Figura A1.4. Segregación entre vehículos y bicicletas en función de la velocidad y en tránsito.



Fuente www.crow.nl

Tomando en cuenta lo anterior y considerando el volumen de tránsito tanto vehicular y de bicicletas, así como las diferencias de velocidades entre estos dos medios de tránsito, se hace necesario pensar en la construcción de carriles exclusivos para la circulación de bicicletas de manera similar a lo encontrado en el tramo 18, o la vía Bogotá, Mosquera, Facatativá como se muestran en las figuras A1.5. y A1.6.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Figura A1.5. Ciclovía en Tramo 18, Ricaurte – Girardot



Figura A1.6. Ciclovía paralela a vía Bogotá Mosquera Facativá



Estos carriles de circulación de bicicletas deben ser cómodos con características técnicas acordes a la demanda existente realizándose un diseño geométrico seguro, adecuado para el uso de la bicicleta

Considerando que el mayor número de ciclistas se encontró en los tramos aledaños a la ciudad de Bogotá, se realizó un muestreo en la vía Bogotá la Vega Honda, entre las 7:30 a 8:30 AM del día sábado (día seleccionando buscando que se encontraran tanto ciclistas de trabajo, como ciclistas por recreación o deporte) en el cual se encontró que para el primero de los tramos un número de ciclistas observados fue muy similar al número de vehículos particulares.

Tabla A1.2. Aforo en vía Bogotá la Vega Honda

	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
PEATON	45	1	2
CICLISTA	196	118	85
AUTO	199	107	79
BUS	26	11	8
CAMION	27	33	30
A+B+C	252	151	117
TMDs (2011)	47.941	14.359	12.150

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Es de resaltar que el flujo vehicular encontrado al realizar el muestreo varía en el comportamiento frente al TMDs por cuanto al ser día Sábado es mayor la proporción de vehículos que realizan tramos largos comparado con el comportamiento en día hábil cuando se presentan recorridos a los sitios de trabajo más cercanos a la capital

El manual de diseño del instituto de desarrollo Urbano-IDU (s.f.) define los anchos de fajas de bicicletas en zonas rurales, en función del tráfico automotor y la velocidad de operación límite.

Tabla A1.3. Anchos de fajas de bicicletas en zonas rurales

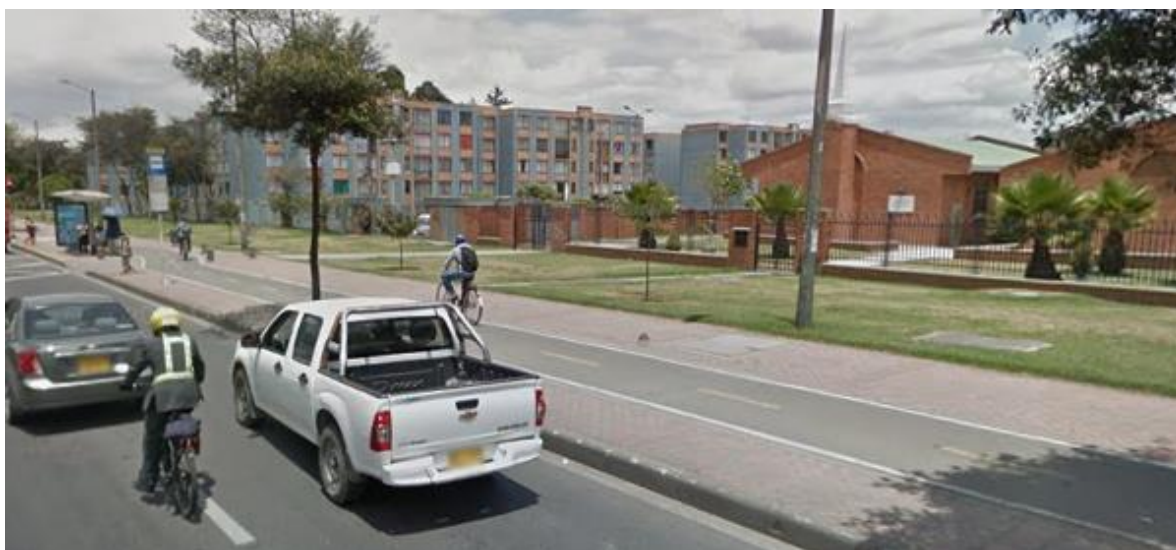
VELOCIDAD LÍMITE	ANCHO MÍNIMO (m)
TPD > 2.000 Vehículos / día	
70 Km/h o menos	1,50 (2,50*)
70Km/h o más	1,75 (2,50*)
TPD < 2.000 Vehículos / día	
70 Km/h o menos	1,00 (2,25*)
70Km/h o más	1,50 (2,50*)

*Ancho de circulación ideal

Para el tramo uno, en el cual se evidenció el mayor número de ciclistas, teniendo un TMDs de 47.941 vehículos y una velocidad promedio de 50 kilómetros se tendría un ancho mínimo de 1,50 metros y un ancho de circulación ideal de 2,50 metros

Este tramo inicia en la salida de Bogotá cruzando el puente vehicular de la calle 80, en el interior de la ciudad esta calle tiene una cicloruta (Figura A1.7) con aproximadamente una longitud de 10 km desde el sector de los Héroes hasta el río Bogotá.

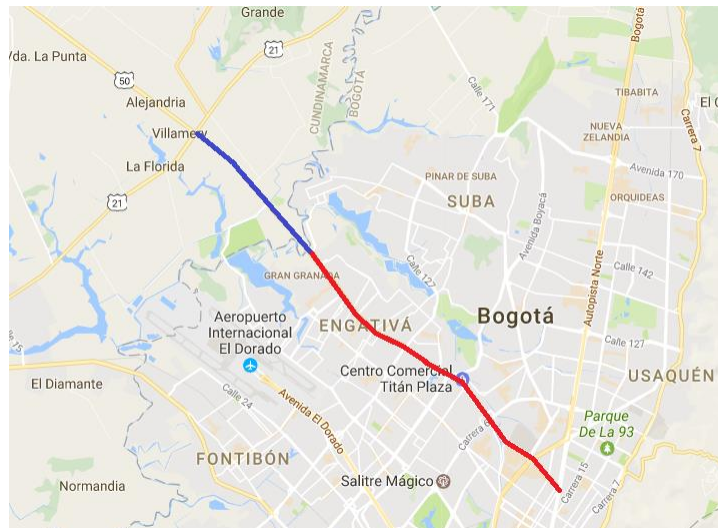
Figura. A1.7. Cicloruta por la calle 80



VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

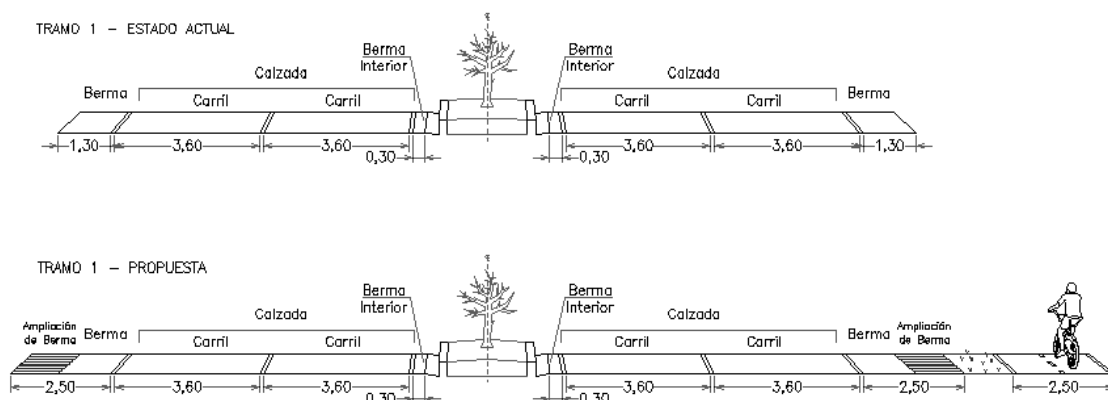
La propuesta de este capítulo consiste en la construcción de un carril de circulación de bicicletas que continúe con la ciclorruta que viene de la calle 80, hasta el puente de Siberia recorriendo los cinco kilómetros del Tramo 1 como se muestra en la Figura A1.8.

Figura A1.8. Recorrido carril de circulación propuesto (azul) ciclorruta calle 80 (rojo)



Esta propuesta iría de la mano con el cumplimiento del ancho de berma establecido en el manual de diseño del INVIAS, quedando la sección del tramo 1 como se muestra en la figura A1.9.

Figura A1.9. Sección propuesta tramo 1



Esto pretende aislar los dos tipos de flujo buscando evitar situaciones como las que se muestran en las figura A1.10. y A1.11. Donde se presenta un accidente que ocurrió en el tiempo de desarrollo de la presente investigación, en el cual, el ciclista que se

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

encuentra sentado en la zona verde, no percató el ingreso del vehículo a la berma generándose un choque con la parte posterior del mismo

Figura A1.10. Accidente Tramo 1



Aunque la berma fuese mayor, al detenerse el vehículo en ella para dejar el pasajero hubiese invadido la totalidad de la berma, lo que seguiría generando riesgo de accidente a diferencia de una condición con flujos separados.

Figura A1.11. Detalle accidente



Para este caso el accidente no tuvo mayor consecuencia, que heridas leves en el rostro del ciclista, aunque no se ve en la foto el ciclista tenía casco en el momento del choque.

ANEXO 2. GLOSARIO

Tomando en cuenta que este trabajo fue realizado desde Colombia para presentación en Argentina, para la aplicación e interpretación de este documento, se tendrán en cuenta las siguientes definiciones, ya sean del Manual de Seguridad Vial (HSM 2010) o según lo establecido en la Ley 769 de 2002.

Acera o andén: Franja longitudinal de la vía urbana, destinada exclusivamente a la circulación de peatones, ubicada a los costados de ésta.

Accidente de tránsito: Evento generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en él e igualmente afecta la normal circulación de los vehículos que se movilizan por la vía o vías comprendidas en el lugar o dentro de la zona de influencia del hecho.

Autopista: Vía de calzadas separadas, cada una con dos (2) o más carriles, control total de acceso y salida, con intersecciones en desnivel o mediante entradas y salidas directas a otras carreteras y con control de velocidades mínimas y máximas por carril.

Berma: Parte de la estructura de la vía, destinada al soporte lateral de la calzada para el tránsito de peatones, semovientes y ocasionalmente al estacionamiento de vehículos y tránsito de vehículos de emergencia.

Bicicleta: Vehículo no motorizado de dos (2) o más ruedas en línea, el cual se desplaza por el esfuerzo de su conductor accionando por medio de pedales.

Bus: Vehículo automotor destinado al transporte colectivo de personas y sus equipajes, debidamente registrado conforme a las normas y características especiales vigentes.

Buseta: Vehículo destinado al transporte de personas con capacidad de 20 a 30 pasajeros y distancia entre ejes inferiores a 4 metros.

Calzada: Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos.

Camión: Vehículo automotor que por su tamaño y destinación se usa para transportar carga.

Carretera: vía cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos, con niveles adecuados de seguridad y comodidad.

Carril: Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.

Casco: Pieza que cubre la cabeza, especialmente diseñada para proteger contra golpes, sin impedir la visión periférica adecuada que cumpla con las

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

especificaciones de las normas Icontec 4533 "Cascos Protectores para Usuarios de Vehículos", o la norma que la modifique o sustituya.

Chasis: Conjunto de elementos que proporcionan soporte a todas las partes del vehículo mediante un bastidor.

Choque o colisión: Encuentro violento entre dos (2) o más vehículos, o entre un vehículo y un objeto fijo.

Ciclista: Conductor de bicicleta o triciclo.

Ciclo vía: Vía o sección de calzada destinada ocasionalmente para el tránsito de bicicletas, triciclos y peatones.

Ciclorruta: Vía o sección de la calzada destinada al tránsito de bicicletas en forma exclusiva.

Cinturón de seguridad: Conjunto de tiras, provisto de hebilla de cierre, dispositivos de ajuste y de unión, cuyo fin es sujetar a los ocupantes al asiento del vehículo, para prevenir que se golpeen cuando suceda una aceleración, desaceleración súbita o volcamiento.

Clase de vehículo: Denominación dada a un automotor de conformidad con su destinación, configuración y especificaciones técnicas.

Conductor: Es la persona habilitada y capacitada técnica y teóricamente para operar un vehículo.

Croquis: Plano descriptivo de los pormenores de un accidente de tránsito donde resulten daños a personas, vehículos, inmuebles, muebles o animales, levantado en el sitio de los hechos por el agente, la policía de tránsito o por la autoridad competente.

Cruce e intersección: Punto en el cual dos (2) o más vías se encuentran.

Cuneta: Zanja o conducto construido al borde de una vía para recoger y evacuar las aguas superficiales.

Discapacitado: Persona que tiene disminuida alguna de sus capacidades físicas o mentales.

Glorieta: Intersección donde no hay cruces directos sino maniobras de entrecruzamientos y movimientos alrededor de una isleta o plazoleta central.

Marcas viales: Señales escritas adheridas o grabadas en la vía o con elementos adyacentes a ella, para indicar, advertir o guiar el tránsito.

Motocicleta: Vehículo automotor de dos ruedas en línea, con capacidad para el conductor y un acompañante.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

Pasajero: Persona distinta del conductor que se transporta en un vehículo público.

Peatón: Persona que transita a pie o por una vía.

Rebasamiento: Maniobra mediante la cual un vehículo sobrepasa a otro que lo precedía en el mismo carril de una calzada.

Sardinela: Elemento de concreto, asfalto u otros materiales para delimitar la calzada de una vía.

Señal de tránsito: Dispositivo físico o marca especial. Preventiva y reglamentaria e informativa, que indica la forma correcta como deben transitar los usuarios de las vías.

Separador: Espacio estrecho y saliente que independiza dos calzadas de una vía.

Tráfico: Volumen de vehículos, peatones, o productos que pasan por un punto específico durante un periodo determinado.

Tránsito: Es la movilización de personas, animales o vehículos por una vía pública o privada abierta al público.

Transporte: Es el traslado de personas, animales o cosas de un punto a otro a través de un medio físico.

Vehículo: Todo aparato montado sobre ruedas que permite el transporte de personas, animales o cosas de un punto a otro por vía terrestre pública o privada abierta al público.

Vía: Zona de uso público o privado, abierta al público, destinada al tránsito de vehículos, personas y animales.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

ANEXO A-3 ESTIMACIÓN DE ACCIDENTES TOTALES Y FACTOR DE CALIBRACIÓN, MODELO CAPITULO 10 MANUAL DE SEGURIDAD HSM

$$N_{\text{spfrd}} = e^{(a + b \times \ln(TMDA) + \ln(L))}$$

a = -9,025
b = 1,049

Id	ZONA	SECTOR	L(km)	L(mi)	TMDA	N_{spfrd}	CMF	$N_{\text{predicted}}$	N_{observ}	DIFER ²	N x Cr	DIFER ²	
1	2010	OCC	BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	47.912	30,4	1,086	33,0	86	2808,9	71,4	212,5
2			SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	12.261	14,5	1,071	15,6	48	1050,8	33,7	203,7
3			P PIEDRA - CR ROSAL	7	4,35	9.583	7,9	1,071	8,4	20	134,0	18,2	3,1
4			CR ROSAL - EL VINO	9	5,59	5.506	5,7	1,118	6,3	30	560,9	13,7	266,6
5			LA VEGA - VILLETA	25	15,54	3.722	10,4	1,081	11,3	33	472,7	24,4	74,5
6		NOR	GACH - SESQUILE	12	7,46	11.580	16,4	1,082	17,8	35	296,3	38,5	12,2
7			SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	8.199	9,5	1,082	10,3	18	59,0	22,3	18,8
8		SUR	T SALTO-SILVANIA	35	21,75	15.537	65,3	1,076	70,2	93	517,7	152,0	3485,1
9			SILVANIA-FUSAG	8	4,97	15.537	14,9	1,076	16,1	37	438,6	34,8	5,1
10			FUSAG-CHINAUTA	25	15,54	12.775	38,0	1,076	40,9	98	3264,6	88,4	91,4
11			DESC BOQUERON	5	3,11	12.775	7,6	1,091	8,3	34	661,1	17,9	258,1
12			MELGAR-RICAURTE	14	8,70	11.121	18,4	1,158	21,3	37	246,8	46,1	82,3
13	2011	OCC	BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	44.073	27,8	1,086	30,2	81	2577,2	65,4	242,3
14			SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	12.276	14,6	1,071	15,6	34	338,4	33,8	0,1
15			P PIEDRA - CR ROSAL	7	4,35	11.170	9,2	1,071	9,9	18	65,7	21,4	11,6
16			CR ROSAL - EL VINO	9	5,59	5.661	5,8	1,118	6,5	23	272,1	14,1	79,6
17			LA VEGA - VILLETA	25	15,54	3.093	8,6	1,081	9,3	36	714,4	20,1	253,9
18		NOR	GACH - SESQUILE	12	7,46	12.795	18,3	1,082	19,8	26	39,1	42,7	280,4
19			SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	12.550	14,9	1,082	16,1	15	1,3	34,9	396,3
20		SUR	T SALTO-SILVANIA	35	21,75	17.653	74,6	1,076	80,3	110	881,1	173,8	4073,6
21			SILVANIA-FUSAG	8	4,97	17.653	17,1	1,076	18,4	40	468,4	39,7	0,1
22			FUSAG-CHINAUTA	25	15,54	15.014	45,0	1,076	48,4	107	3433,2	104,8	5,0
23			DESC BOQUERON	5	3,11	15.014	9,0	1,091	9,8	32	492,1	21,2	115,6
24			MELGAR-RICAURTE	14	8,70	14.519	24,3	1,158	28,2	28	0,0	60,9	1085,3
25	2012	OCC	BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	42.746	27,0	1,086	29,3	126	9355,0	63,4	3922,9
26			SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	13.914	16,6	1,071	17,8	50	1037,1	38,5	131,9
27			P PIEDRA - CR ROSAL	7	4,35	11.998	10,0	1,071	10,7	24	177,8	23,1	0,8
28			CR ROSAL - EL VINO	9	5,59	6.629	6,9	1,118	7,7	35	746,6	16,6	338,1
29			LA VEGA - VILLETA	25	15,54	4.536	12,8	1,081	13,9	36	490,4	30,0	36,2
30		NOR	GACH - SESQUILE	12	7,46	14.191	20,4	1,082	22,0	23	1,0	47,7	607,7
31			SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	11.861	14,1	1,082	15,2	13	4,8	32,9	396,0
32		SUR	T SALTO-SILVANIA	35	21,75	18.808	79,8	1,076	85,8	152	4377,5	185,8	1140,7
33			SILVANIA-FUSAG	8	4,97	18.808	18,2	1,076	19,6	39	375,6	42,5	12,0
34			FUSAG-CHINAUTA	25	15,54	15.700	47,1	1,076	50,7	88	1389,1	109,8	474,9
35			DESC BOQUERON	5	3,11	15.700	9,4	1,091	10,3	33	515,8	22,3	115,2
36			MELGAR-RICAURTE	14	8,70	11.293	18,7	1,158	21,6	25	11,3	46,8	476,2
37	2013	OCC	BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	51.445	32,7	1,086	35,6	123	7645,9	77,0	2119,8
38			SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	14.310	17,1	1,071	18,3	51	1067,5	39,7	128,5
39			P PIEDRA - CR ROSAL	7	4,35	13.805	11,5	1,071	12,4	22	93,0	26,7	22,4
40			CR ROSAL - EL VINO	9	5,59	7.686	8,0	1,118	9,0	36	730,9	19,4	275,5
41			LA VEGA - VILLETA	25	15,54	5.012	14,2	1,081	15,4	47	999,6	33,3	187,9
42		NOR	GACH - SESQUILE	12	7,46	15.593	22,5	1,082	24,3	30	32,4	52,6	510,8
43			SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	11.543	13,7	1,082	14,8	18	10,4	32,0	195,3
44		SUR	T SALTO-SILVANIA	35	21,75	19.273	81,8	1,076	88,1	184	9203,6	190,6	43,5
45			SILVANIA-FUSAG	8	4,97	19.273	18,7	1,076	20,1	41	435,6	43,6	6,6
46			FUSAG-CHINAUTA	25	15,54	15.993	48,1	1,076	51,7	98	2141,6	111,9	194,4
47			DESC BOQUERON	5	3,11	15.993	9,6	1,091	10,5	35	600,8	22,7	151,2
48			MELGAR-RICAURTE	14	8,70	15.924	26,8	1,158	31,0	39	63,6	67,1	792,1
49	2014	OCC	BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	37.554	23,5	1,086	25,6	148	14991,6	55,3	8590,0
50			SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	14.796	17,7	1,071	19,0	55	1297,4	41,1	193,8
51			P PIEDRA - CR ROSAL	7	4,35	13.470	11,2	1,071	12,0	24	143,0	26,1	4,2
52			CR ROSAL - EL VINO	9	5,59	7.209	7,5	1,118	8,4	35	708,5	18,1	284,2
53			LA VEGA - VILLETA	25	15,54	5.184	14,7	1,081	15,9	46	903,7	34,5	132,4
54		NOR	GACH - SESQUILE	12	7,46	14.407	20,7	1,082	22,4	18	19,1	48,4	924,9
55			SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	11.984	14,2	1,082	15,4	28	159,6	33,3	27,6
56		SUR	T SALTO-SILVANIA	35	21,75	20.932	89,2	1,076	96,0	206	12092,8	207,8	3,4
57			SILVANIA-FUSAG	8	4,97	20.932	20,4	1,076	22,0	47	627,5	47,5	0,3
58			FUSAG-CHINAUTA	25	15,54	17.256	52,1	1,076	56,0	104	2302,5	121,2	297,0
59			DESC BOQUERON	5	3,11	17.256	10,4	1,091	11,4	36	607,1	24,6	130,3
60			MELGAR-RICAURTE	14	8,70	14.727	24,7	1,158	28,6	56	751,7	61,9	34,4

Σ	1520	Σ 3290	Σ 95906,0	Σ 34160,2
E			1598,4	E 569,3
v E			40,0	v E 23,9
				R ² 0,735

$$Cr = \frac{\Sigma_{\text{observ}}}{\Sigma_{\text{pred}}} = 2,164$$

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

ANEXO A-4. ESTIMACIÓN DE ACCIDENTES CON MUEROS Y HERIDOS, Y FACTOR DE CALIBRACIÓN

$$N_{\text{spf rd}} = e^{(a + b \times \ln(\text{TMDA}) + \ln(L))}$$

a= -8,505
b= 0,874

Id	ZONA	SECTOR	L(km)	L(mi)	TMDA	$N_{\text{spf rd}}$	\square CMF	$N_{\text{predicted}}$	N_{observ}	ERROR ²	N x Cr	ERROR ²	
1	2013	OCC	BOGOTA - SIBERIA	5	3,11	47.912	7,8	1,086	8,4	12	12,8	16,4	19,3
2			SIBERIA - P PIEDRA	10	6,22	12.261	4,7	1,071	5,0	16	120,0	9,8	38,1
3			P PIEDRA - CR ROSAL	7	4,35	9.583	2,7	1,071	2,8	9	37,8	5,5	11,9
4			CR ROSAL - EL VINO	9	5,59	5.506	2,1	1,118	2,4	7	21,6	4,6	5,8
6			LA VEGA - VILLETA	25	15,54	3.722	4,2	1,081	4,5	10	30,3	8,7	1,6
10		NOR	GACHANCIPA-SESQUILE	12	7,46	11.580	5,4	1,082	5,8	11	26,8	11,3	0,1
11			SESQUILE-EL SISGA	10	6,22	8.199	3,3	1,082	3,6	12	70,8	7,0	25,2
12		SUR	TE DEL SALTO-SILVANIA	35	21,75	15.537	20,3	1,076	21,8	36	200,9	42,5	42,1
13			SILVANIA-FUSAGASUGA	8	4,97	15.537	4,6	1,076	5,0	5	0,0	9,7	22,2
14			FUSAGASUGA-CHINAUTA	25	15,54	12.775	12,2	1,076	13,1	19	34,4	25,6	43,2
15			DESCENSO BOQUERON	5	3,11	12.775	2,4	1,091	2,7	8	28,5	5,2	7,9
17			MELGAR-RICAURTE	14	8,70	11.121	6,1	1,158	7,0	15	63,8	13,7	1,8
								<u>82</u>	<u>160</u>	Σ	<u>647,7</u>	Σ	<u>219,3</u>
										E	<u>10,8</u>	E	<u>3,7</u>
										E	<u>3,3</u>	E	<u>1,9</u>
						Cr =	$\frac{\Sigma \text{observ}}{\Sigma \text{pred}}$	=			1,947	R ²	<u>0,864</u>

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

ANEXO A-6. ACCIDENTES TRAMOS 3-4, MODELO CAPITULO 11 MANUAL DE SEGURIDAD HSM

$$N_{spfrd} = e^{(a + b \times \ln(TMDA) + \ln(L))} \quad a = -9,025 \quad b = 1,049 \quad C = 1,000$$

ABSCISA				\TMDs	2010	2011	2012	2013	2014	PROM
DE	A	Milla	Γ CMFRD		9.583	11.170	11.998	13.805	13.470	
15	16	0,622	1,07		1,20	1,41	1,52	1,76	1,72	1,53
16	17	0,622	1,07		1,20	1,41	1,52	1,76	1,72	1,53
17	18	0,622	1,07		1,20	1,41	1,52	1,76	1,72	1,53
18	19	0,622	1,07		1,20	1,41	1,52	1,76	1,72	1,53
19	20	0,622	1,07		1,20	1,41	1,52	1,76	1,72	1,53
20	21	0,622	1,07		1,20	1,41	1,52	1,76	1,72	1,53
21	22	0,622	1,07		1,20	1,41	1,52	1,76	1,72	1,53

Npred	8,4	9,9	10,7	12,4	12,0
Nobser	20,0	18,0	24,0	22,0	24,0

ABSCISA				\TMDs	2010	2011	2012	2013	2014	PROM
DE	A	Milla	Γ CMFRD		5.506	5.661	6.629	7.686	7.209	
22	23	0,622	1,12		0,70	0,72	0,85	1,00	0,93	0,84
23	24	0,622	1,12		0,70	0,72	0,85	1,00	0,93	0,84
24	25	0,622	1,12		0,70	0,72	0,85	1,00	0,93	0,84
25	26	0,622	1,12		0,70	0,72	0,85	1,00	0,93	0,84
26	27	0,622	1,12		0,70	0,72	0,85	1,00	0,93	0,84
27	28	0,622	1,12		0,70	0,72	0,85	1,00	0,93	0,84
28	29	0,622	1,12		0,70	0,72	0,85	1,00	0,93	0,84
29	30	0,622	1,12		0,70	0,72	0,85	1,00	0,93	0,84
30	31	0,622	1,12		0,70	0,72	0,85	1,00	0,93	0,84

Npred	6,3	6,5	7,7	9,0	8,4
Nobser	30,0	23,0	35,0	36,0	35,0

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

ANEXO A-7. ACCIDENTES TRAMOS 3-4, MODELO CAPITULO 11 + CAPITULO 10 MANUAL DE SEGURIDAD HSM

$$N_{\text{spf rd}} = e^{(a + b \times \ln(\text{TMDA}) + \ln(L))} \quad a = -9,025 \quad b = 1,049 \quad C = 2,158$$

				2010	2011	2012	2013	2014	
ABSCISA		\TMDA		9.583	11.170	11.998	13.805	13.470	PROM
DE	A	Milla	\PCMF						
15	16	0,622	1,12	1,26	1,48	1,59	1,84	1,80	1,59
16	17	0,622	1,14	1,28	1,50	1,61	1,87	1,82	1,62
17	18	0,622	1,08	1,21	1,42	1,53	1,78	1,73	1,54
18	19	0,622	1,10	1,23	1,45	1,56	1,81	1,76	1,56
19	20	0,622	1,18	1,32	1,56	1,68	1,94	1,89	1,68
20	21	0,622	1,08	1,21	1,42	1,53	1,78	1,73	1,54
21	22	0,622	1,13	1,27	1,49	1,60	1,86	1,81	1,60

Npred	8,8	10,3	11,1	12,9	12,6
Nobser	20,0	18,0	24,0	22,0	24,0

				2010	2011	2012	2013	2014	
ABSCISA		\TMDA		5.506	5.661	6.629	7.686	7.209	PROM
DE	A	Milla	\PCMF						
22	23	0,622	1,42	0,89	0,92	1,09	1,27	1,19	1,07
23	24	0,622	2,27	1,43	1,47	1,73	2,02	1,89	1,71
24	25	0,622	1,70	1,07	1,10	1,30	1,52	1,42	1,28
25	26	0,622	1,75	1,10	1,13	1,34	1,56	1,46	1,32
26	27	0,622	1,71	1,08	1,11	1,31	1,53	1,43	1,29
27	28	0,622	2,09	1,31	1,35	1,60	1,86	1,74	1,57
28	29	0,622	2,49	1,56	1,61	1,90	2,22	2,08	1,87
29	30	0,622	2,29	1,44	1,48	1,75	2,04	1,91	1,72
30	31	0,622	3,41	2,14	2,21	2,60	3,04	2,84	2,57

Npred	12,0	12,4	14,6	17,1	16,0
Nobser	30,0	23,0	35,0	36,0	35,0

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

ANEXO A-8 VALOR DE LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES TRAMO 3 MODELO HSM

TRAMO 3 SIN PROYECTO							
TR	LONG	C	AMF				
3	7	2,158	1,071				
	4,351						
AÑO	TRANSITO	N spf	N pred	DANOS	HERIDO	MUERTO	VALOR
2016	16903	14,26	32,96	25,22	6,39	1,36	\$ 606.953
2017	17853	15,10	34,91	26,71	6,77	1,44	\$ 642.813
2018	18857	16,00	36,97	28,29	7,17	1,52	\$ 680.791
2019	19918	16,94	39,16	29,96	7,59	1,61	\$ 721.013
2020	21038	17,94	41,47	31,73	8,04	1,71	\$ 763.611
2021	22222	19,00	43,92	33,60	8,51	1,81	\$ 808.726
2022	23471	20,12	46,52	35,59	9,02	1,91	\$ 856.506
2023	24792	21,31	49,27	37,69	9,55	2,03	\$ 907.110
2024	26186	22,57	52,18	39,92	10,11	2,15	\$ 960.703
2025	27659	23,91	55,26	42,28	10,71	2,27	\$ 1.017.462
2026	29215	25,32	58,52	44,77	11,34	2,41	\$ 1.077.575
2027	30858	26,81	61,98	47,42	12,01	2,55	\$ 1.141.240
2028	32593	28,40	65,64	50,22	12,72	2,70	\$ 1.208.665
2029	34427	30,08	69,52	53,19	13,48	2,86	\$ 1.280.075
2030	36363	31,85	73,63	56,33	14,27	3,03	\$ 1.355.703
2031	38408	33,74	77,98	59,66	15,12	3,21	\$ 1.435.799
2032	40568	35,73	82,59	63,18	16,01	3,40	\$ 1.520.628
2033	42850	37,84	87,47	66,92	16,95	3,60	\$ 1.610.469
2034	45260	40,08	92,63	70,87	17,96	3,81	\$ 1.705.617
2035	47806	42,44	98,11	75,06	19,02	4,03	\$ 1.806.387
2036	50495	44,95	103,90	79,49	20,14	4,27	\$ 1.913.110
2037	53335	47,61	110,04	84,19	21,33	4,52	\$ 2.026.139
2038	56335	50,42	116,54	89,16	22,59	4,79	\$ 2.145.845
2039	59503	53,40	123,43	94,43	23,92	5,07	\$ 2.272.624
2040	62850	56,55	130,72	100,01	25,34	5,37	\$ 2.406.894
2041	66385	59,89	138,44	105,92	26,84	5,69	\$ 2.549.096

TRAMO 3 CON PROYECTO (de 1,60 a 2,50)							
TR	LONG	C	AMF				
3	7	2,16	1,000				
	4,351						
AÑO	TRANSITO	N spf	N pred	DANOS	HERIDO	MUERTO	VALOR
2016	16903						
2017	17853	15,10	32,60	24,94	6,32	1,34	\$ 600.199
2018	18857	16,00	34,52	26,41	6,69	1,42	\$ 635.659
2019	19918	16,94	36,56	27,97	7,09	1,50	\$ 673.214
2020	21038	17,94	38,72	29,63	7,51	1,59	\$ 712.989
2021	22222	19,00	41,01	31,38	7,95	1,69	\$ 755.113
2022	23471	20,12	43,43	33,23	8,42	1,79	\$ 799.726
2023	24792	21,31	46,00	35,19	8,92	1,89	\$ 846.975
2024	26186	22,57	48,72	37,27	9,44	2,00	\$ 897.015
2025	27659	23,91	51,60	39,47	10,00	2,12	\$ 950.012
2026	29215	25,32	54,64	41,81	10,59	2,25	\$ 1.006.139
2027	30858	26,81	57,87	44,28	11,22	2,38	\$ 1.065.583
2028	32593	28,40	61,29	46,89	11,88	2,52	\$ 1.128.539
2029	34427	30,08	64,91	49,66	12,58	2,67	\$ 1.195.214
2030	36363	31,85	68,75	52,60	13,33	2,83	\$ 1.265.829
2031	38408	33,74	72,81	55,70	14,11	2,99	\$ 1.340.616
2032	40568	35,73	77,11	58,99	14,95	3,17	\$ 1.419.821
2033	42850	37,84	81,67	62,48	15,83	3,36	\$ 1.503.705
2034	45260	40,08	86,49	66,17	16,77	3,56	\$ 1.592.546
2035	47806	42,44	91,60	70,08	17,76	3,77	\$ 1.686.636
2036	50495	44,95	97,02	74,22	18,80	3,99	\$ 1.786.284
2037	53335	47,61	102,75	78,61	19,92	4,22	\$ 1.891.820
2038	56335	50,42	108,82	83,25	21,09	4,47	\$ 2.003.591
2039	59503	53,40	115,25	88,17	22,34	4,74	\$ 2.121.965
2040	62850	56,55	122,06	93,38	23,66	5,02	\$ 2.247.333
2041	66385	59,89	129,27	98,90	25,06	5,31	\$ 2.380.108

TRAMO 3 MODELO HSM					
AÑO	SIN PROYECTO		CON PROYECTO (de 1,60 a 2,50)		DIFERENCIA
	ACCID	COSTO	ACCID	COSTO	
2016	32,96	USD 606.953			
2017	34,91	USD 642.813	32,60	USD 600.199	USD 42.614
2018	36,97	USD 680.791	34,52	USD 635.659	USD 45.132
2019	39,16	USD 721.013	36,56	USD 673.214	USD 47.798
2020	41,47	USD 763.611	38,72	USD 712.989	USD 50.622
2021	43,92	USD 808.726	41,01	USD 755.113	USD 53.613
2022	46,52	USD 856.506	43,43	USD 799.726	USD 56.781
2023	49,27	USD 907.110	46,00	USD 846.975	USD 60.135
2024	52,18	USD 960.703	48,72	USD 897.015	USD 63.688
2025	55,26	USD 1.017.462	51,60	USD 950.012	USD 67.451
2026	58,52	USD 1.077.575	54,64	USD 1.006.139	USD 71.436
2027	61,98	USD 1.141.240	57,87	USD 1.065.583	USD 75.656
2028	65,64	USD 1.208.665	61,29	USD 1.128.539	USD 80.126
2029	69,52	USD 1.280.075	64,91	USD 1.195.214	USD 84.860
2030	73,63	USD 1.355.703	68,75	USD 1.265.829	USD 89.874
2031	77,98	USD 1.435.799	72,81	USD 1.340.616	USD 95.184
2032	82,59	USD 1.520.628	77,11	USD 1.419.821	USD 100.807
2033	87,47	USD 1.610.469	81,67	USD 1.503.705	USD 106.763
2034	92,63	USD 1.705.617	86,49	USD 1.592.546	USD 113.071
2035	98,11	USD 1.806.387	91,60	USD 1.686.636	USD 119.751
2036	103,90	USD 1.913.110	97,02	USD 1.786.284	USD 126.826
2037	110,04	USD 2.026.139	102,75	USD 1.891.820	USD 134.319
2038	116,54	USD 2.145.845	108,82	USD 2.003.591	USD 142.255
2039	123,43	USD 2.272.624	115,25	USD 2.121.965	USD 150.660
2040	130,72	USD 2.406.894	122,06	USD 2.247.333	USD 159.561
2041	138,44	USD 2.549.096	129,27	USD 2.380.108	USD 168.988

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

ANEXO A-9 VALOR DE LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES TRAMO 4 MODELO HSM

INCREMENTANDO EL ANCHO DE BERMA DE 0,80 A 1,80

TRAMO 4 SIN PROYECTO							
TR	LONG	C	AMF				
4	9	2,158	1,118				
	5,594						
AÑO	TRANSITO	N spf	N pred	DAÑOS	HERIDO	MUERTO	VALOR
2016	8339	8,74	21,09	16,13	4,09	0,87	\$ 388.232
2017	8807	9,25	22,33	17,08	4,33	0,92	\$ 411.108
2018	9301	9,80	23,64	18,09	4,58	0,97	\$ 435.333
2019	9823	10,38	25,04	19,15	4,85	1,03	\$ 460.986
2020	10374	10,99	26,51	20,28	5,14	1,09	\$ 488.150
2021	10956	11,64	28,07	21,48	5,44	1,15	\$ 516.914
2022	11570	12,32	29,73	22,74	5,76	1,22	\$ 547.374
2023	12219	13,05	31,48	24,08	6,10	1,29	\$ 579.628
2024	12905	13,82	33,34	25,50	6,46	1,37	\$ 613.783
2025	13629	14,63	35,30	27,01	6,84	1,45	\$ 649.951
2026	14393	15,49	37,38	28,60	7,25	1,54	\$ 688.249
2027	15201	16,40	39,58	30,28	7,67	1,63	\$ 728.805
2028	16054	17,37	41,91	32,07	8,12	1,72	\$ 771.750
2029	16954	18,39	44,38	33,96	8,60	1,82	\$ 817.226
2030	17905	19,48	47,00	35,96	9,11	1,93	\$ 865.382
2031	18910	20,63	49,77	38,08	9,65	2,05	\$ 916.375
2032	19971	21,84	52,70	40,32	10,22	2,17	\$ 970.373
2033	21091	23,13	55,81	42,70	10,82	2,29	\$ 1.027.553
2034	22274	24,49	59,10	45,21	11,45	2,43	\$ 1.088.102
2035	23523	25,93	62,58	47,88	12,13	2,57	\$ 1.152.219
2036	24843	27,46	66,27	50,70	12,84	2,72	\$ 1.220.115
2037	26237	29,08	70,17	53,68	13,60	2,89	\$ 1.292.011
2038	27709	30,79	74,31	56,85	14,40	3,06	\$ 1.368.143
2039	29263	32,61	78,68	60,20	15,25	3,24	\$ 1.448.762
2040	30904	34,53	83,32	63,74	16,15	3,43	\$ 1.534.132
2041	32638	36,57	88,23	67,50	17,10	3,63	\$ 1.624.531

TRAMO 4 CON PROYECTO (de 0,80 a 1,80)

TR	LONG	C	AMF				
4	9	2,158	1,06				
	5,594						
AÑO	TRANSITO	N spf	N pred	DAÑOS	HERIDO	MUERTO	VALOR
2016	8339						
2017	8807	9,25	21,17	16,20	4,10	0,87	\$ 389.781
2018	9301	9,80	22,42	17,15	4,35	0,92	\$ 412.749
2019	9823	10,38	23,74	18,16	4,60	0,98	\$ 437.070
2020	10374	10,99	25,14	19,23	4,87	1,03	\$ 462.825
2021	10956	11,64	26,62	20,36	5,16	1,09	\$ 490.097
2022	11570	12,32	28,19	21,56	5,46	1,16	\$ 518.977
2023	12219	13,05	29,85	22,83	5,79	1,23	\$ 549.558
2024	12905	13,82	31,61	24,18	6,13	1,30	\$ 581.941
2025	13629	14,63	33,47	25,60	6,49	1,38	\$ 616.232
2026	14393	15,49	35,44	27,11	6,87	1,46	\$ 652.544
2027	15201	16,40	37,53	28,71	7,27	1,54	\$ 690.996
2028	16054	17,37	39,74	30,40	7,70	1,63	\$ 731.713
2029	16954	18,39	42,08	32,19	8,16	1,73	\$ 774.830
2030	17905	19,48	44,56	34,09	8,64	1,83	\$ 820.487
2031	18910	20,63	47,19	36,10	9,15	1,94	\$ 868.835
2032	19971	21,84	49,97	38,23	9,69	2,05	\$ 920.032
2033	21091	23,13	52,91	40,48	10,26	2,18	\$ 974.245
2034	22274	24,49	56,03	42,87	10,86	2,30	\$ 1.031.653
2035	23523	25,93	59,33	45,39	11,50	2,44	\$ 1.092.444
2036	24843	27,46	62,83	48,07	12,18	2,58	\$ 1.156.817
2037	26237	29,08	66,53	50,90	12,90	2,74	\$ 1.224.983
2038	27709	30,79	70,45	53,90	13,66	2,90	\$ 1.297.166
2039	29263	32,61	74,60	57,07	14,46	3,07	\$ 1.373.603
2040	30904	34,53	79,00	60,44	15,31	3,25	\$ 1.454.543
2041	32638	36,57	83,65	64,00	16,21	3,44	\$ 1.540.253

TRAMO 4 MODELO HSM

SIN PROYECTO			CON PROYECTO (de 0,80 a 1,80)		
AÑO	ACCID	COSTO	ACCID	COSTO	DIFERENCIA
2016	21,09	USD 388.232			
2017	22,33	USD 411.108	21,17	USD 389.781	USD 21.328
2018	23,64	USD 435.333	22,42	USD 412.749	USD 22.584
2019	25,04	USD 460.986	23,74	USD 437.070	USD 23.915
2020	26,51	USD 488.150	25,14	USD 462.825	USD 25.324
2021	28,07	USD 516.914	26,62	USD 490.097	USD 26.817
2022	29,73	USD 547.374	28,19	USD 518.977	USD 28.397
2023	31,48	USD 579.628	29,85	USD 549.558	USD 30.070
2024	33,34	USD 613.783	31,61	USD 581.941	USD 31.842
2025	35,30	USD 649.951	33,47	USD 616.232	USD 33.718
2026	37,38	USD 688.249	35,44	USD 652.544	USD 35.705
2027	39,58	USD 728.805	37,53	USD 690.996	USD 37.809
2028	41,91	USD 771.750	39,74	USD 731.713	USD 40.037
2029	44,38	USD 817.226	42,08	USD 774.830	USD 42.396
2030	47,00	USD 865.382	44,56	USD 820.487	USD 44.895
2031	49,77	USD 916.375	47,19	USD 868.835	USD 47.540
2032	52,70	USD 970.373	49,97	USD 920.032	USD 50.341
2033	55,81	USD 1.027.553	52,91	USD 974.245	USD 53.308
2034	59,10	USD 1.088.102	56,03	USD 1.031.653	USD 56.449
2035	62,58	USD 1.152.219	59,33	USD 1.092.444	USD 59.775
2036	66,27	USD 1.220.115	62,83	USD 1.156.817	USD 63.298
2037	70,17	USD 1.292.011	66,53	USD 1.224.983	USD 67.027
2038	74,31	USD 1.368.143	70,45	USD 1.297.166	USD 70.977
2039	78,68	USD 1.448.762	74,60	USD 1.373.603	USD 75.159
2040	83,32	USD 1.534.132	79,00	USD 1.454.543	USD 79.588
2041	88,23	USD 1.624.531	83,65	USD 1.540.253	USD 84.278

INCREMENTANDO EL ANCHO DE BERMA DE 0,80 A 2,44

TRAMO 4 CON PROYECTO (de 0,80 a 2,44)							
TR	LONG	C	AMF				
4	9	2,158	1				
	5,594						
AÑO	TRANSITO	N spf	N pred	DAÑOS	HERIDO	MUERTO	VALOR
2016	8339						
2017	8807	9,25	19,97	15,28	3,87	0,82	\$ 367.718
2018	9301	9,80	21,15	16,18	4,10	0,87	\$ 389.386
2019	9823	10,38	22,39	17,13	4,34	0,92	\$ 412.331
2020	10374	10,99	23,71	18,14	4,60	0,98	\$ 436.628
2021	10956	11,64	25,11	19,21	4,87	1,03	\$ 462.356
2022	11570	12,32	26,59	20,34	5,15	1,09	\$ 489.601
2023	12219	13,05	28,16	21,54	5,46	1,16	\$ 518.451
2024	12905	13,82	29,82	22,81	5,78	1,23	\$ 549.001
2025	13629	14,63	31,57	24,16	6,12	1,30	\$ 581.351
2026	14393	15,49	33,43	25,58	6,48	1,37	\$ 615.608
2027	15201	16,40	35,40	27,09	6,86	1,46	\$ 651.883
2028	16054	17,37	37,49	28,68	7,27	1,54	\$ 690.295
2029	16954	18,39	39,70	30,37	7,70	1,63	\$ 730.972
2030	17905	19,48	42,04	32,16	8,15	1,73	\$ 774.045
2031	18910	20,63	44,52	34,06	8,63	1,83	\$ 819.656
2032	19971	21,84	47,14	36,06	9,14	1,94	\$ 867.954
2033	21091	23,13	49,92	38,19	9,68	2,05	\$ 919.099
2034	22274	24,49	52,86	40,44	10,25	2,17	\$ 973.258
2035	23523	25,93	55,97	42,82	10,85	2,30	\$ 1.030.608
2036	24843	27,46	59,27	45,35	11,49	2,44	\$ 1.091.337
2037	26237	29,08	62,76	48,02	12,17	2,58	\$ 1.155.645
2038	27709	30,79	66,46	50,85	12,88	2,73	\$ 1.223.742
2039	29263	32,61	70,38	53,84	13,64	2,89	\$ 1.295.852
2040	30904	34,53	74,53	57,02	14,45	3,06	\$ 1.372.211
2041	32638	36,57	78,92	60,38	15,30	3,24	\$ 1.453.069

TRAMO 4 MODELO HSM

SIN PROYECTO			CON PROYECTO (de 0,80 a 2,44)		
AÑO	ACCID	COSTO	ACCID	COSTO	DIFERENCIA
2016	21,09	USD 388.232			
2017	22,33	USD 411.108	19,97	USD 367.718	USD 43.391
2018	23,64	USD 435.333	21,15	USD 389.386	USD 45.948
2019	25,04	USD 460.986	22,39	USD 412.331	USD 48.655
2020	26,51	USD 488.150	23,71	USD 436.628	USD 51.522
2021	28,07	USD 516.914	25,11	USD 462.356	USD 54.558
2022	29,73	USD 547.374	26,59	USD 489.601	USD 57.773
2023	31,48	USD 579.628	28,16	USD 518.451	USD 61.177
2024	33,34	USD 613.783	29,82	USD 549.001	USD 64.782
2025	35,30	USD 649.951	31,57	USD 581.351	USD 68.599
2026	37,38	USD 688.249	33,43	USD 615.608	USD 72.642
2027	39,58	USD 728.805	35,40	USD 651.883	USD 76.922
2028	41,91	USD 771.750	37,49	USD 690.295	USD 81.455
2029	44,38	USD 817.226	39,70	USD 730.972	USD 86.255
2030	47,00	USD 865.382	42,04	USD 774.045	USD 91.337
2031	49,77	USD 916.375	44,52	USD 819.656	USD 96.719
2032	52,70	USD 970.373	47,14	USD 867.954	USD 102.419
2033	55,81	USD 1.027.553	49,92	USD 919.099	USD 108.454
2034	59,10	USD 1.088.102	52,86	USD 973.258	USD 114.844
2035	62,58	USD 1.152.219	55,97	USD 1.030.608	USD 121.612
2036	66,27	USD 1.220.115	59,27	USD 1.091.337	USD 128.778
2037	70,17	USD 1.292.011	62,76	USD 1.155.645	USD 136.366
2038	74,31	USD 1.368.143	66,46	USD 1.223.742	USD 144.402
2039	78,68	USD 1.448.762	70,38	USD 1.295.852	USD 152.911
2040	83,32	USD 1.534.132	74,53	USD 1.372.211	USD 161.921
2041	88,23	USD 1.624.531	78,92	USD 1.453.069	USD 171.462

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

ANEXO A-10 VALOR PRESENTE NETO (VPN) DEL PROYECTO - MODELO HSM

TRAMO 3 (BERMA DE 1,60 A 2,50)					TRAMO 4 (BERMA DE 0,80 A 1,80)					TRA				
n	AÑO	COSTOS	BENEF	FLUJO DE CAJA (Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^n}$	n	AÑO	COSTOS	BENEF	FLUJO DE CAJA (Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^n}$	n	AÑO	COSTOS
0	2016	389.084	0	-389.084	-389.084	0	2016	555.834	0	-555.834	-555.834	0	2016	911.56
1	2017	3.891	42.614	38.723	34.574	1	2017	5.558	21.328	15.769	14.080	1	2017	9.11
2	2018	3.891	45.132	41.241	32.877	2	2018	5.558	22.584	17.026	13.573	2	2018	9.11
3	2019	11.673	47.798	36.126	25.714	3	2019	16.675	23.915	7.240	5.153	3	2019	27.34
4	2020	3.891	50.622	46.731	29.699	4	2020	5.558	25.324	19.766	12.562	4	2020	9.11
5	2021	3.891	53.613	49.722	28.214	5	2021	5.558	26.817	21.258	12.063	5	2021	9.11
6	2022	11.673	56.781	45.108	22.853	6	2022	16.675	28.397	11.722	5.939	6	2022	27.34
7	2023	3.891	60.135	56.244	25.442	7	2023	5.558	30.070	24.512	11.088	7	2023	9.11
8	2024	3.891	63.688	59.797	24.151	8	2024	5.558	31.842	26.284	10.616	8	2024	9.11
9	2025	11.673	67.451	55.778	20.114	9	2025	16.675	33.718	17.043	6.146	9	2025	27.34
10	2026	3.891	71.436	67.545	21.748	10	2026	5.558	35.705	30.147	9.706	10	2026	9.11
11	2027	3.891	75.656	71.766	20.631	11	2027	5.558	37.809	32.251	9.271	11	2027	9.11
12	2028	11.673	80.126	68.454	17.570	12	2028	16.675	40.037	23.362	5.996	12	2028	27.34
13	2029	3.891	84.860	80.969	18.556	13	2029	5.558	42.396	36.838	8.442	13	2029	9.11
14	2030	3.891	89.874	85.983	17.594	14	2030	5.558	44.895	39.336	8.049	14	2030	9.11
15	2031	11.673	95.184	83.511	15.257	15	2031	16.675	47.540	30.865	5.639	15	2031	27.34
16	2032	3.891	100.807	96.916	15.809	16	2032	5.558	50.341	44.783	7.305	16	2032	9.11
17	2033	3.891	106.763	102.872	14.983	17	2033	5.558	53.308	47.749	6.954	17	2033	9.11
18	2034	11.673	113.071	101.398	13.186	18	2034	16.675	56.449	39.774	5.172	18	2034	27.34
19	2035	3.891	119.751	115.860	13.452	19	2035	5.558	59.775	54.217	6.295	19	2035	9.11
20	2036	3.891	126.826	122.935	12.744	20	2036	5.558	63.298	57.739	5.986	20	2036	9.11
21	2037	11.673	134.319	122.647	11.352	21	2037	16.675	67.027	50.352	4.661	21	2037	27.34
22	2038	3.891	142.255	138.364	11.435	22	2038	5.558	70.977	65.419	5.406	22	2038	9.11
23	2039	3.891	150.660	146.769	10.830	23	2039	5.558	75.159	69.601	5.136	23	2039	9.11
24	2040	11.673	159.561	147.888	9.743	24	2040	16.675	79.588	62.913	4.145	24	2040	27.34
25	2041	3.891	168.988	165.097	9.712	25	2041	5.558	84.278	78.720	4.631	25	2041	9.11
SUMA		548.608	2.307.971	1.759.363	89.156	SUMA		783.726	1.152.579	368.853	-361.820	SUMA		1.285.31
TIR					14,36%	TIR					3,27%	TIR		

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

ANEXO A-11 VALOR DE LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES TRAMO 3 MODELO AJUSTADO

TRAMO 3 SIN PROYECTO									
TR	LONG	C	AMF						
3	7	2,218	1,083						
	4,351								
AÑO	TRANSITO	N spf	N pred	DANOS	HERIDO	MUERTO	VALOR		
2016	16903	14,26	34,24	26,20	6,64	1,41	\$ 630.485		
2017	17853	15,10	36,27	27,74	7,03	1,49	\$ 667.734		
2018	18857	16,00	38,41	29,38	7,44	1,58	\$ 707.185		
2019	19918	16,94	40,68	31,12	7,88	1,67	\$ 748.966		
2020	21038	17,94	43,08	32,96	8,35	1,77	\$ 793.216		
2021	22222	19,00	45,63	34,91	8,84	1,88	\$ 840.080		
2022	23471	20,12	48,32	36,97	9,37	1,99	\$ 889.713		
2023	24792	21,31	51,18	39,15	9,92	2,10	\$ 942.278		
2024	26186	22,57	54,20	41,47	10,51	2,23	\$ 997.949		
2025	27659	23,91	57,40	43,92	11,13	2,36	\$ 1.056.909		
2026	29215	25,32	60,79	46,51	11,78	2,50	\$ 1.119.352		
2027	30858	26,81	64,39	49,26	12,48	2,65	\$ 1.185.485		
2028	32593	28,40	68,19	52,17	13,22	2,80	\$ 1.255.525		
2029	34427	30,08	72,22	55,25	14,00	2,97	\$ 1.329.703		
2030	36363	31,85	76,48	58,51	14,83	3,14	\$ 1.408.263		
2031	38408	33,74	81,00	61,97	15,70	3,33	\$ 1.491.465		
2032	40568	35,73	85,79	65,63	16,63	3,53	\$ 1.579.582		
2033	42850	37,84	90,86	69,51	17,61	3,74	\$ 1.672.906		
2034	45260	40,08	96,23	73,62	18,65	3,96	\$ 1.771.743		
2035	47806	42,44	101,91	77,97	19,75	4,19	\$ 1.876.420		
2036	50495	44,95	107,93	82,57	20,92	4,44	\$ 1.987.281		
2037	53335	47,61	114,31	87,45	22,16	4,70	\$ 2.104.692		
2038	56335	50,42	121,06	92,62	23,47	4,98	\$ 2.229.039		
2039	59503	53,40	128,21	98,09	24,85	5,27	\$ 2.360.733		
2040	62850	56,55	135,79	103,89	26,32	5,58	\$ 2.500.208		
2041	66385	59,89	143,81	110,02	27,88	5,91	\$ 2.647.923		

TRAMO 3 CON PROYECTO (de 1,60 a 2,50)									
TR	LONG	C	AMF						
3	7	2,22	1,011						
	4,351								
AÑO	TRANSITO	N spf	N pred	DANOS	HERIDO	MUERTO	VALOR		
2016	16903								
2017	17853	15,10	33,86	25,91	6,56	1,39	\$ 623.468		
2018	18857	16,00	35,86	27,44	6,95	1,47	\$ 660.303		
2019	19918	16,94	37,98	29,06	7,36	1,56	\$ 699.315		
2020	21038	17,94	40,22	30,77	7,80	1,65	\$ 740.631		
2021	22222	19,00	42,60	32,59	8,26	1,75	\$ 784.388		
2022	23471	20,12	45,12	34,52	8,75	1,86	\$ 830.731		
2023	24792	21,31	47,78	36,56	9,26	1,96	\$ 879.812		
2024	26186	22,57	50,61	38,72	9,81	2,08	\$ 931.792		
2025	27659	23,91	53,60	41,00	10,39	2,20	\$ 986.843		
2026	29215	25,32	56,76	43,43	11,00	2,33	\$ 1.045.147		
2027	30858	26,81	60,12	45,99	11,65	2,47	\$ 1.106.895		
2028	32593	28,40	63,67	48,71	12,34	2,62	\$ 1.172.292		
2029	34427	30,08	67,43	51,59	13,07	2,77	\$ 1.241.552		
2030	36363	31,85	71,41	54,64	13,84	2,94	\$ 1.314.905		
2031	38408	33,74	75,63	57,86	14,66	3,11	\$ 1.392.591		
2032	40568	35,73	80,10	61,28	15,53	3,29	\$ 1.474.867		
2033	42850	37,84	84,83	64,90	16,44	3,49	\$ 1.562.004		
2034	45260	40,08	89,85	68,74	17,42	3,69	\$ 1.654.289		
2035	47806	42,44	95,15	72,80	18,44	3,91	\$ 1.752.026		
2036	50495	44,95	100,78	77,10	19,53	4,14	\$ 1.855.538		
2037	53335	47,61	106,73	81,65	20,69	4,39	\$ 1.965.165		
2038	56335	50,42	113,04	86,48	21,91	4,65	\$ 2.081.269		
2039	59503	53,40	119,71	91,59	23,20	4,92	\$ 2.204.233		
2040	62850	56,55	126,79	97,00	24,58	5,21	\$ 2.334.461		
2041	66385	59,89	134,28	102,73	26,03	5,52	\$ 2.472.384		

TRAMO 3 MODELO AJUSTADO					
SIN PROYECTO			CON PROYECTO (de 1,60 a 2,50)		
AÑO	ACCID	COSTO	ACCID	COSTO	DIFERENCIA
2016	34,24	USD 630.485			
2017	36,27	USD 667.734	33,86	USD 623.468	USD 44.266
2018	38,41	USD 707.185	35,86	USD 660.303	USD 46.882
2019	40,68	USD 748.966	37,98	USD 699.315	USD 49.651
2020	43,08	USD 793.216	40,22	USD 740.631	USD 52.585
2021	45,63	USD 840.080	42,60	USD 784.388	USD 55.692
2022	48,32	USD 889.713	45,12	USD 830.731	USD 58.982
2023	51,18	USD 942.278	47,78	USD 879.812	USD 62.467
2024	54,20	USD 997.949	50,61	USD 931.792	USD 66.157
2025	57,40	USD 1.056.909	53,60	USD 986.843	USD 70.066
2026	60,79	USD 1.119.352	56,76	USD 1.045.147	USD 74.205
2027	64,39	USD 1.185.485	60,12	USD 1.106.895	USD 78.590
2028	68,19	USD 1.255.525	63,67	USD 1.172.292	USD 83.233
2029	72,22	USD 1.329.703	67,43	USD 1.241.552	USD 88.150
2030	76,48	USD 1.408.263	71,41	USD 1.314.905	USD 93.358
2031	81,00	USD 1.491.465	75,63	USD 1.392.591	USD 98.874
2032	85,79	USD 1.579.582	80,10	USD 1.474.867	USD 104.716
2033	90,86	USD 1.672.906	84,83	USD 1.562.004	USD 110.902
2034	96,23	USD 1.771.743	89,85	USD 1.654.289	USD 117.454
2035	101,91	USD 1.876.420	95,15	USD 1.752.026	USD 124.394
2036	107,93	USD 1.987.281	100,78	USD 1.855.538	USD 131.743
2037	114,31	USD 2.104.692	106,73	USD 1.965.165	USD 139.527
2038	121,06	USD 2.229.039	113,04	USD 2.081.269	USD 147.770
2039	128,21	USD 2.360.733	119,71	USD 2.204.233	USD 156.501
2040	135,79	USD 2.500.208	126,79	USD 2.334.461	USD 165.747
2041	143,81	USD 2.647.923	134,28	USD 2.472.384	USD 175.539

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

ANEXO A-12 VALOR DE LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES TRAMO 4 MODELO AJUSTADO

INCREMENTANDO EL ANCHO DE BERMA DE 0.80 A 1.80

TRAMO 4 SIN PROYECTO											
TR	LONG	C	AMF								
4	9 5,594	2,218	1,9641	AÑO	TRANSITO	N spf	N pred	DAÑOS	HERIDO	MUERTO	VALOR
2016	8339	8,74	38,06	29,12	7,38	1,56	\$ 700.776				
2017	8807	9,25	40,30	30,83	7,81	1,66	\$ 742.070				
2018	9301	9,80	42,68	32,65	8,27	1,75	\$ 785.797				
2019	9823	10,38	45,19	34,57	8,76	1,86	\$ 832.100				
2020	10374	10,99	47,86	36,61	9,28	1,97	\$ 881.132				
2021	10956	11,64	50,68	38,77	9,82	2,08	\$ 933.054				
2022	11570	12,32	53,66	41,05	10,40	2,21	\$ 988.034				
2023	12219	13,05	56,82	43,47	11,01	2,34	\$ 1.046.255				
2024	12905	13,82	60,17	46,03	11,66	2,47	\$ 1.107.906				
2025	13629	14,63	63,72	48,75	12,35	2,62	\$ 1.173.190				
2026	14393	15,49	67,47	51,62	13,08	2,77	\$ 1.242.322				
2027	15201	16,40	71,45	54,66	13,85	2,94	\$ 1.315.526				
2028	16054	17,37	75,66	57,88	14,66	3,11	\$ 1.393.044				
2029	16954	18,39	80,12	61,29	15,53	3,29	\$ 1.475.131				
2030	17905	19,48	84,84	64,90	16,44	3,49	\$ 1.562.054				
2031	18910	20,63	89,84	68,73	17,41	3,69	\$ 1.654.099				
2032	19971	21,84	95,13	72,78	18,44	3,91	\$ 1.751.568				
2033	21091	23,13	100,74	77,07	19,53	4,14	\$ 1.854.780				
2034	22274	24,49	106,67	81,61	20,68	4,39	\$ 1.964.074				
2035	23523	25,93	112,96	86,42	21,89	4,64	\$ 2.079.809				
2036	24843	27,46	119,61	91,51	23,18	4,92	\$ 2.202.363				
2037	26237	29,08	126,66	96,90	24,55	5,21	\$ 2.332.138				
2038	27709	30,79	134,12	102,61	26,00	5,51	\$ 2.469.561				
2039	29263	32,61	142,03	108,66	27,53	5,84	\$ 2.615.082				
2040	30904	34,53	150,40	115,06	29,15	6,18	\$ 2.769.177				
2041	32638	36,57	159,26	121,84	30,87	6,55	\$ 2.932.353				

TRAMO 4 CON PROYECTO (de 0,80 a 1,80)

TR	LONG	C	AMF								
4	9 5,594	2,218	1,8622	AÑO	TRANSITO	N spf	N pred	DAÑOS	HERIDO	MUERTO	VALOR
2016	8339			29,12	7,38	1,57	\$ 703.572				
2017	8807	9,25	38,21	29,23	7,41	1,57	\$ 703.572				
2018	9301	9,80	40,46	30,96	7,84	1,66	\$ 745.031				
2019	9823	10,38	42,85	32,78	8,31	1,76	\$ 788.932				
2020	10374	10,99	45,37	34,71	8,79	1,87	\$ 835.421				
2021	10956	11,64	48,05	36,76	9,31	1,98	\$ 884.648				
2022	11570	12,32	50,88	38,92	9,86	2,09	\$ 936.777				
2023	12219	13,05	53,88	41,22	10,44	2,22	\$ 991.977				
2024	12905	13,82	57,05	43,65	11,06	2,35	\$ 1.050.430				
2025	13629	14,63	60,41	46,22	11,71	2,48	\$ 1.112.327				
2026	14393	15,49	63,97	48,94	12,40	2,63	\$ 1.177.872				
2027	15201	16,40	67,74	51,83	13,13	2,79	\$ 1.247.279				
2028	16054	17,37	71,73	54,88	13,90	2,95	\$ 1.320.776				
2029	16954	18,39	75,96	58,11	14,72	3,12	\$ 1.398.603				
2030	17905	19,48	80,44	61,54	15,59	3,31	\$ 1.481.017				
2031	18910	20,63	85,18	65,16	16,51	3,50	\$ 1.568.287				
2032	19971	21,84	90,19	69,00	17,48	3,71	\$ 1.660.699				
2033	21091	23,13	95,51	73,07	18,51	3,93	\$ 1.758.557				
2034	22274	24,49	101,14	77,38	19,60	4,16	\$ 1.862.181				
2035	23523	25,93	107,10	81,93	20,76	4,40	\$ 1.971.912				
2036	24843	27,46	113,41	86,76	21,98	4,66	\$ 2.088.108				
2037	26237	29,08	120,09	91,88	23,28	4,94	\$ 2.211.151				
2038	27709	30,79	127,17	97,29	24,65	5,23	\$ 2.341.445				
2039	29263	32,61	134,66	103,02	26,10	5,54	\$ 2.479.416				
2040	30904	34,53	142,60	109,09	27,64	5,86	\$ 2.625.517				
2041	32638	36,57	151,00	115,52	29,27	6,21	\$ 2.780.228				

TRAMO 4 MODELO AJUSTADO

SIN PROYECTO			CON PROYECTO (de 0,80 a 1,80)			
AÑO	ACCID	COSTO	ACCID	COSTO	DIFERENCIA	
2016	38,06	USD 700.776				
2017	40,30	USD 742.070	38,21	USD 703.572	USD 38.497	
2018	42,68	USD 785.797	40,46	USD 745.031	USD 40.766	
2019	45,19	USD 832.100	42,85	USD 788.932	USD 43.168	
2020	47,86	USD 881.132	45,37	USD 835.421	USD 45.712	
2021	50,68	USD 933.054	48,05	USD 884.648	USD 48.405	
2022	53,66	USD 988.034	50,88	USD 936.777	USD 51.258	
2023	56,82	USD 1.046.255	53,88	USD 991.977	USD 54.278	
2024	60,17	USD 1.107.906	57,05	USD 1.050.430	USD 57.476	
2025	63,72	USD 1.173.190	60,41	USD 1.112.327	USD 60.863	
2026	67,47	USD 1.242.322	63,97	USD 1.177.872	USD 64.450	
2027	71,45	USD 1.315.526	67,74	USD 1.247.279	USD 68.247	
2028	75,66	USD 1.393.044	71,73	USD 1.320.776	USD 72.269	
2029	80,12	USD 1.475.131	75,96	USD 1.398.603	USD 76.527	
2030	84,84	USD 1.562.054	80,44	USD 1.481.017	USD 81.037	
2031	89,84	USD 1.654.099	85,18	USD 1.568.287	USD 85.812	
2032	95,13	USD 1.751.568	90,19	USD 1.660.699	USD 90.868	
2033	100,74	USD 1.854.780	95,51	USD 1.758.557	USD 96.223	
2034	106,67	USD 1.964.074	101,14	USD 1.862.181	USD 101.893	
2035	112,96	USD 2.079.809	107,10	USD 1.971.912	USD 107.897	
2036	119,61	USD 2.202.363	113,41	USD 2.088.108	USD 114.255	
2037	126,66	USD 2.332.138	120,09	USD 2.211.151	USD 120.988	
2038	134,12	USD 2.469.561	127,17	USD 2.341.445	USD 128.117	
2039	142,03	USD 2.615.082	134,66	USD 2.479.416	USD 135.666	
2040	150,40	USD 2.769.177	142,60	USD 2.625.517	USD 143.660	
2041	159,26	USD 2.932.353	151,00	USD 2.780.228	USD 152.126	

INCREMENTANDO EL ANCHO DE BERMA DE 0.80 A 2.44

TRAMO 4 SIN PROYECTO											
TR	LONG	C	AMF								
4	9 5,594	2,218	1,7568	AÑO	TRANSITO	N spf	N pred	DAÑOS	HERIDO	MUERTO	VALOR
2016	8339	8,74		27,58	6,99	1,48	\$ 663.747				
2017	8807	9,25	36,05	27,58	7,40	1,57	\$ 702.859				
2018	9301	9,80	38,17	29,20	7,40	1,57	\$ 702.859				
2019	9823	10,38	40,42	30,93	7,84	1,66	\$ 744.276				
2020	10374	10,99	42,80	32,75	8,30	1,76	\$ 788.133				
2021	10956	11,64	45,33	34,68	8,79	1,86	\$ 834.574				
2022	11570	12,32	48,00	36,72	9,30	1,97	\$ 883.752				
2023	12219	13,05	50,83	38,88	9,85	2,09	\$ 935.827				
2024	12905	13,82	53,82	41,18	10,43	2,21	\$ 990.972				
2025	13629	14,63	56,99	43,60	11,05	2,34	\$ 1.049.365				
2026	14393	15,49	60,35	46,17	11,70	2,48	\$ 1.111.200				
2027	15201	16,40	63,91	48,89	12,39	2,63	\$ 1.176.678				
2028	16054	17,37	67,67	51,77	13,12	2,78	\$ 1.246.015				
2029	16954	18,39	71,66	54,82	13,89	2,95	\$ 1.319.437				
2030	17905	19,48	75,88	58,05	14,71	3,12	\$ 1.397.186				
2031	18910	20,63	80,35	61,48	15,58	3,30	\$ 1.479.516				
2032	19971	21,84	85,09	65,10	16,49	3,50	\$ 1.566.697				
2033	21091	23,13	90,10	68,93	17,46	3,70	\$ 1.659.016				
2034	22274	24,49	95,41	73,00	18,49	3,92	\$ 1.756.775				
2035	23523	25,93	101,03	77,30	19,58	4,15	\$ 1.860.294				
2036	24843	27,46	106,99	81,85	20,74	4,40	\$ 1.969.913				
2037	26237	29,08	113,29	86,67	21,96	4,66	\$ 2.085.991				
2038	27709	30,79	119,97	91,78	23,25	4,93	\$ 2.208.910				
2039	29263	32,61	127,04	97,19	24,62	5,22	\$ 2.339.072				
2040	30904	34,53	134,52	102,92	26,08	5,53	\$ 2.476.903				
2041	32638	36,57	142,45	108,98	27,61	5,86	\$ 2.622.856				

TRAMO 4 CON PROYECTO (de 0,80 a 2,44)

TR	LONG	C	AMF								
4	9 5,594	2,218	1,7568	AÑO	TRANSITO	N spf	N pred	DAÑOS	HERIDO	MUERTO	VALOR
2016	8339			27,58	6,99	1,48	\$ 663.747				
2017	8807	9,25	36,05	27,58	7,40	1,57	\$ 702.859				
2018	9301	9,80	38,17	29,20	7,40	1,57	\$ 702.859				
2019	9823	10,38	40,42	30,93	7,84	1,66	\$ 744.276				
2020	10374	10,99	42,80	32,75	8,30	1,76	\$ 788.133				
2021	10956	11,64	45,33	34,68	8,79	1,86	\$ 834.574				
2022	11570	12,32	48,00	36,72	9,30	1,97	\$ 883.752				
2023	12219	13,05	50,83	38,88	9,85	2,09	\$ 935.827				
2024	12905	13,82	53,82								

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
RURALES MULTICARRIL MEDIANTE LA APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL MANUAL DE SEGURIDAD VIAL (HSM 2010)

ANEXO A-13 VALOR PRESENTE NETO (VPN) DEL PROYECTO - MODELO AJUSTADO

TRAMO 3 (BERMA DE 1,60 A 2,50)					TRAMO 4 (BERMA DE 0,80 A 1,80)					TRAMO 4 (BERMA DE 0,80 A 2,44)				
AÑO	COSTOS	BENEF	FLUJO DE CAJA (Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^n}$	AÑO	COSTOS	BENEF	FLUJO DE CAJA (Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^n}$	AÑO	COSTOS	BENEF	FLUJO DE CAJA (Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^n}$
0 2016	389.084	0	-389.084	-389.084	0 2016	555.834	0	-555.834	-555.834	0 2016	911.567	0	-911.567	-911.567
1 2017	3.891	44.266	40.375	36.049	1 2017	5.558	38.497	32.939	29.410	1 2017	9.116	78.322	69.207	61.792
2 2018	3.891	46.882	42.991	34.272	2 2018	5.558	40.766	35.207	28.067	2 2018	9.116	82.937	73.822	58.850
3 2019	11.673	49.651	37.979	27.033	3 2019	16.675	43.168	26.493	18.857	3 2019	27.347	87.825	60.478	43.047
4 2020	3.891	52.585	48.694	30.946	4 2020	5.558	45.712	40.153	25.518	4 2020	9.116	93.000	83.884	53.310
5 2021	3.891	55.692	51.801	29.393	5 2021	5.558	48.405	42.847	24.313	5 2021	9.116	98.480	89.364	50.708
6 2022	11.673	58.982	47.309	23.968	6 2022	16.675	51.258	34.583	17.521	6 2022	27.347	104.283	76.936	38.978
7 2023	3.891	62.467	58.576	26.497	7 2023	5.558	54.278	48.720	22.038	7 2023	9.116	110.428	101.312	45.828
8 2024	3.891	66.157	62.266	25.148	8 2024	5.558	57.476	51.918	20.969	8 2024	9.116	116.935	107.819	43.546
9 2025	11.673	70.066	58.393	21.057	9 2025	16.675	60.863	44.188	15.935	9 2025	27.347	123.825	96.478	34.791
10 2026	3.891	74.205	70.315	22.639	10 2026	5.558	64.450	58.891	18.961	10 2026	9.116	131.122	122.006	39.283
11 2027	3.891	78.590	74.699	21.474	11 2027	5.558	68.247	62.689	18.022	11 2027	9.116	138.848	129.732	37.295
12 2028	11.673	83.233	71.560	18.368	12 2028	16.675	72.269	55.594	14.270	12 2028	27.347	147.030	119.683	30.720
13 2029	3.891	88.150	84.259	19.310	13 2029	5.558	76.527	70.969	16.264	13 2029	9.116	155.694	146.578	33.592
14 2030	3.891	93.358	89.467	18.307	14 2030	5.558	81.037	75.478	15.444	14 2030	9.116	164.868	155.752	31.870
15 2031	11.673	98.874	87.201	15.931	15 2031	16.675	85.812	69.137	12.631	15 2031	27.347	174.583	147.236	26.899
16 2032	3.891	104.716	100.825	16.447	16 2032	5.558	90.868	85.310	13.916	16 2032	9.116	184.870	175.755	28.669
17 2033	3.891	110.902	107.011	15.586	17 2033	5.558	96.223	90.665	13.205	17 2033	9.116	195.764	186.648	27.184
18 2034	11.673	117.454	105.782	13.756	18 2034	16.675	101.893	85.218	11.082	18 2034	27.347	207.299	179.952	23.401
19 2035	3.891	124.394	120.503	13.991	19 2035	5.558	107.897	102.339	11.882	19 2035	9.116	219.515	210.399	24.429
20 2036	3.891	131.743	127.852	13.254	20 2036	5.558	114.255	108.697	11.268	20 2036	9.116	232.450	223.334	23.152
21 2037	11.673	139.527	127.854	11.834	21 2037	16.675	120.988	104.312	9.655	21 2037	27.347	246.147	218.800	20.252
22 2038	3.891	147.770	143.879	11.891	22 2038	5.558	128.117	122.558	10.129	22 2038	9.116	260.651	251.536	20.788
23 2039	3.891	156.501	152.610	11.261	23 2039	5.558	135.666	130.108	9.600	23 2039	9.116	276.010	266.895	19.694
24 2040	11.673	165.747	154.074	10.151	24 2040	16.675	143.660	126.985	8.366	24 2040	27.347	292.275	264.928	17.454
25 2041	3.891	175.539	171.648	10.097	25 2041	5.558	152.126	146.567	8.622	25 2041	9.116	309.497	300.381	17.669
SUMA	548.608	2.397.450	1.848.842	109.576	SUMA	783.726	2.080.458	1.296.732	-149.890	SUMA	1.285.310	4.232.656	2.947.346	-58.367
TIR			14,87%		TIR			8,91%		TIR			11,30%	