

**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**

**LARIETH AMPARO PÉREZ EUGENIO
ANGELA PATRICIA ESTEBAN MENDOZA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA
2012**

**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**

**LARIETH AMPARO PÉREZ EUGENIO
ANGELA PATRICIA ESTEBAN MENDOZA**

TESIS DE GRADO

**DIRECTOR
ING. MILLER HUMBERTO SALAS RONDON**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA
2012**

Nota de aceptación:

Firma director

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

A Dios por acompañarme y guiarme, por darme fortaleza e iluminar mi mente en este proceso de estudio.

A mis padres José Ramiro Pérez y Marlene Amparo Eugenio por todos los valores inculcados, por el amor, la motivación y el apoyo constante, por enseñarme a ser una mujer perseverante y constante en todos los aspectos de mi vida.

A mi hijo Juan Diego, el motor de mi vida, quién con solo una sonrisa me llena de alegría y fortaleza para alcanzar todas mis metas.

Larieth A. Pérez Eugenio

A Dios porque me dio fortaleza y paciencia para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres, Ana Victoria Mendoza y Pablo Enrique Esteban, por sus ejemplos de superación y entrega, que hoy se ven reflejados y porque su orgullo hacia mí es lo que me impulsa a salir adelante.

Ángela P. Esteban M.

AGRADECIMIENTO

Es importante agradecer a Dios por darnos la oportunidad de realizar este proyecto de grado y la sabiduría necesaria durante todo este proceso de investigación y aprendizaje.

Este proyecto de investigación no hubiera sido posible sin nuestro director Miller Salas Rondón PhD. en Gestión del Territorio e Infraestructuras del Transporte, a él le damos gracias por la paciencia, el compromiso, el ánimo y el apoyo incondicional.

De igual forma agradecemos a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil que estuvieron presentes durante estos cinco años de Pregrado que nos formaron como profesionales íntegros. A nuestros amigos con los que compartimos todo este tiempo dentro y fuera del Campus Universitario, gracias por darnos un espacio especial en sus vidas.

Y finalmente pero no menos importante gracias a nuestras familias, en especial a nuestros padres por que estuvieron presentes apoyándonos moralmente durante todo este proceso educativo.

Gracias a todos.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES	2
2. FORMULACION DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACION	4
4. OBJETIVOS	10
5. ESTADO DEL ARTE	11
5.1 Historia.....	11
5.2 Importancia del HSM.....	11
5.3 Futuras ediciones.....	12
5.4 Manual de Seguridad Vial (HSM).....	12
5.5 Partes del Manual de Seguridad Vial.....	13
5.5.1 Parte A - Introducción, Factores Humanos y Fundamentos	13
5.5.2 Parte B – Administración de la Seguridad en las Carreteras.....	13
5.5.3 Parte C - Métodos de Predicción	13
5.5.3.1 Pasos del método para la predicción de accidentes.....	14
5.5.4 Parte D - Factores de Modificación de Accidentes	25
5.6 Énfasis de Estudio	25
6. DISEÑO METODOLÓGICO	26
6.1 Recolección y análisis de información primaria y secundaria	26
6.1.1 Ubicación y descripción de la zona.....	26
6.1.2 Seguridad en la intersección.....	28
6.1.3 Accidentes	30
6.2 Aplicación de la Metodología del HSM.....	33
6.2.1 Escenario base	33
6.2.1.1 Periodo Actual año 2013.....	33
6.2.1.1.1 Paso 9 – Determinar las funciones SPF	33
6.2.1.1.2 Paso 10 – Aplicar CMFs.....	34

6.2.1.1.3 Paso 11- Aplicar Factor Calibrador.....	36
6.2.2 Escenario futuro.....	42
6.2.2.1 Paso 9 – Determinar las funciones SPF	42
6.2.2.2 Paso 10- Aplicar los CMFs	42
6.2.2.3 Paso 11 – aplicar factor calibrador	44
7. RESULTADOS	50
7.1 Escenario base	50
7.1.1 Periodo actual año 2013.....	50
7.1.2 Proyección a cinco años (2017).....	50
7.1.3 Proyección a diez años (2022)	51
7.2 Escenario futuro	52
7.2.1 Periodo actual año 2013.....	52
7.2.2 Proyección a cinco años (2017).....	52
7.2.3 Proyección a diez años (2022)	53
8. CONCLUSIONES.....	54
9. RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFIA.....	57
ANEXOS.....	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las intersecciones según el número de entradas	17
Tabla 2. CMF y SPF para intersecciones.	22
Tabla 3 Hoja de Cálculo 2A.	33
Tabla 4. Hoja de cálculo 2A	37
Tabla 5. Hoja de Cálculo 2B	38
Tabla 6. Hoja de Cálculo 2C	38
Tabla 7. Hoja de Cálculo 2D	39
Tabla 8. Hoja de Cálculo 2E	39
Tabla 9. Hoja de Cálculo 2F.....	40
Tabla 10. Hoja de Cálculo 2G	40
Tabla 11. Hoja de Cálculo 2H	40
Tabla 12. Hoja de Cálculo 2K	41
Tabla 13. Hoja de Cálculo 2L.....	41
Tabla 14. Hoja de Cálculo 2A	45
Tabla 15. Hoja de Cálculo 2B	45
Tabla 16. Hoja de Cálculo 2C	46
Tabla 17. Hoja de Cálculo 2D	46
Tabla 18. Hoja de Cálculo 2E	47
Tabla 19. Hoja de Cálculo 2F.....	47
Tabla 20. Hoja de Cálculo 2I.....	48
Tabla 21. Hoja de Cálculo 2H	48
Tabla 22. Hoja de Cálculo 2J	48
Tabla 23. Hoja de Cálculo 2K	49
Tabla 24. Hoja de Cálculo 2L.....	49
Tabla 25. Resultados año 2013	50
Tabla 26. Resultados año 2017	50
Tabla 27. Resultados año 2022	51
Tabla 28. Resumen de resultados	51
Tabla 29. Resultados año 2013	52
Tabla 30. Resultados 2017	52
Tabla 31. Resultados 2022	53
Tabla 32. Resumen de resultados 4SG	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de accidentes año 2009 en Bucaramanga.....	4
Figura 2. Corredores de mayor accidentalidad 2009.	5
Figura 3. Número de accidentes por año Carrera 21 – Calle 11.....	6
Figura 4. Gravedad de los accidentes por año Carrera 21 – Calle 11.	6
Figura 5. Gravedad y actor involucrado de los accidentes por año en este cruce...7	
Figura 6. Número de accidentes por año Carrera 21 – Calle 10.....	8
Figura 7. Número de accidentes por año Carrera 22 – Calle 11.....	8
Figura 8. Registro de accidente en el cruce Carrera 20 con Calle 11.....	9
Figura 9. Área funcional y física de la intersección	15
Figura 10. Elementos del área funcional de una intersección.....	16
Figura 11. Puntos Críticos	18
Figura 12. Localización de la intersección a estudio.....	27
Figura 13. Movimientos vehiculares permitidos en la intersección	27
Figura 14. Semáforos artesanales en las carreras 21 y 22.....	28
Figura 15. Carrera 21 con calle 1.....	29
Figura 16. Visibilidad en la intersección.....	30
Figura 17. Accidente sobre la Carrera 21 con Calle 11	31
Figura 18. Accidente en intersección adyacente.....	31
Figura 19. Choque vehículo-motocicleta.....	32
Figura 20. Vista lateral	32

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas parte C del HSM.....	59
Anexo 2. Tablas parte C del HSM.....	60
Anexo 3. Tablas parte C del HSM.....	61
Anexo 4. Tablas parte C del HSM.....	62
Anexo 5. Ecuaciones de la parte C del HSM	63
Anexo 6. Ecuaciones parte C del HSM.....	64
Anexo 7. Proyecciones de tránsito y volumen de peatones.....	65

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: 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.

AUTOR(ES): Larieth Amparo Pérez Eugenio
Ángela Patricia Esteban Mendoza

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Miller Humberto Salas Rondón

RESUMEN

El manual de seguridad vial HSM (Highway Safety Manual) expone un método de predicción de accidentes para cualquier tipo de carretera, condiciones geométricas y manejo del flujo vehicular; con el fin de determinar la accidentalidad en un corredor vial. Este estudio ostenta una frecuencia predicha de accidentes en la intersección de la carrera 21 con calle 11 de la ciudad de Bucaramanga, la cual presenta índices de accidentalidad elevados y carece de control de tráfico semaforizado; Ocasionando que los vehículos alcancen altas velocidades y no efectúen el pare obligatorio sobre la calle 11, extendiendo el problema sobre los cruces adyacentes como el de la carrera 22 con calle 11. Teniendo en cuenta estas condiciones base, la metodología del HSM se adaptó para condiciones actuales y futuras soluciones en un periodo vigente y proyecciones de cinco y diez años; determinando los factores de modificación CMFs y las funciones de predicción SPFs correspondientes, organizados dentro de unas tablas de cálculo (Worksheets) para hacer la estimación de accidentes y preciar un aumento o disminución en la frecuencia de colisiones en el sitio de estudio; y así tener certeza de la solución más apropiada.

PALABRAS CLAVES:

Factores de Modificación de Accidentes, funciones de predicción.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: PROCUREMENT OF ACCIDENT FACTORS USING THE HIGHWAY SAFETY MANUAL TO THE IMPROVEMENT OF ROAD SAFETY IN THE INTERSECTION OF THE STREET 21 WITH 11 IN THE CITY OF BUCARAMANGA.

AUTHOR(S): Larieth Amparo Pérez Eugenio
Ángela Patricia Esteban Mendoza

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Miller Humberto Salas Rondón

ABSTRACT

The HSM (Highway Safety Manual) discloses a method of predicting accidents for any type of road, geometric conditions and traffic flow management, in order to determine accident rate in a highway corridor. This study holds a predicted frequency of accidents at the intersection of Street 21 with 11 in the city of Bucaramanga, which presents high accident rates and no traffic lights control, causing the vehicle to reach high speeds and do not carry out mandatory stop on 11th Street, extending the problem to the adjacent crossings like 22 Street with 11. Given these base conditions, HSM methodology was adapted to current and future solutions in the current period and projections of five and ten years; determining CMFS modification factors and SPFs corresponding prediction functions, organized into worksheets to estimate accidents and value an increase or decrease in the frequency of collisions in the study site, and so be certain the most appropriate solution.

KEYWORDS:

Crash Modification Factors, Safety Performance Functions

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas las vías colombianas han demostrado altos índices de accidentalidad debido a múltiples factores como deficiencia en la infraestructura, comportamiento humano en la conducción o el estado del vehículo. Sin embargo; se han desarrollado diferentes estudios y proyectos que buscan contribuir en la disminución de las cifras de accidentalidad en todo el país.

Este trabajo se basará en la metodología del paso a paso del *Highway Safety Manual*– HSM donde se desarrolla la estimación de los SPFs (*Safety Performance Functions*) y CMFs(*Crash Modification Factors*) para intersecciones en vías urbanas. A partir de este enfoque, se realizará el análisis para la predicción del número de accidentes tanto en las condiciones actuales como para las futuras soluciones.

La aplicación del Manual de Seguridad Vial en el escenario de estudio brinda ciertas ventajas en términos de seguridad vial, al determinar las frecuencias de accidentes y así tener certeza de la solución más apropiada.

1. ANTECEDENTES

La metodología para la predicción de accidentes que presenta el *Highway Safety Manual*– HSM, es una herramienta efectiva para la estimación de la frecuencia media esperada de accidentes al año y hasta ahora se va aplicar en Colombia. En la Universidad Pontificia Bolivariana se están dando los primeros pasos y se ha implementado en un trabajo para la realización del artículo “Obtención de factores de modificación de accidentes en el Retorno de La Turena sobre la vía que de Floridablanca conduce a Piedecuesta” desarrollado por el Ingeniero Civil Pablo Enrique Esteban en el año 2011, dirigido por el PHD Miller Salas para la obtención del título de especialista en Vías terrestres de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga.

Con la participación del Ingeniero Miller Salas en la presentación del HSM por parte del personal del Fondo de Prevención Vial, se abre toda una línea de trabajo en el Grupo de Investigación en Transportes, infraestructura y Territorio de la Facultad de Ingeniería Civil de la UPB.

2. FORMULACION DEL PROBLEMA

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud anualmente los accidentes de tránsito producen 1,3 millones de personas muertas (el 50% de estas muertes se produce en usuarios vulnerables – motociclistas, ciclistas y peatones) y entre 20 y 50 millones de traumatismos no mortales. Además, son la principal causa de mortalidad de jóvenes de entre 15 y 29 años de edad. Las proyecciones indican que, en ausencia de un nuevo compromiso mundial y duradero para prevenir esos traumatismos, la situación no hará sino empeorar. Se piensa que para 2030 los traumatismos causados por el tránsito constituirán la quinta causa de mortalidad en el mundo.

Los hechos anteriores, llevó a la Asamblea General de las Naciones Unidas a proclamar el periodo 2011 – 2020 como el Decenio de Acción para la Seguridad Vial, cuyo objetivo es reducir las cifras previstas de víctimas mortales en accidentes de tránsito en todo el mundo. Esta proclamación implica realizar actividades a nivel local, regional, nacional y mundial. Bucaramanga no es ajena a este flagelo de la accidentalidad, y durante el 2010 se presentaron 87 víctimas mortales lo cual se constituye en un drama para familiares y sociedad en general. Dentro de las causas principales de estos accidentes se tienen la imprudencia, el exceso de velocidad, el irrespeto a las señales de tránsito y el conducir en estado de embriaguez.

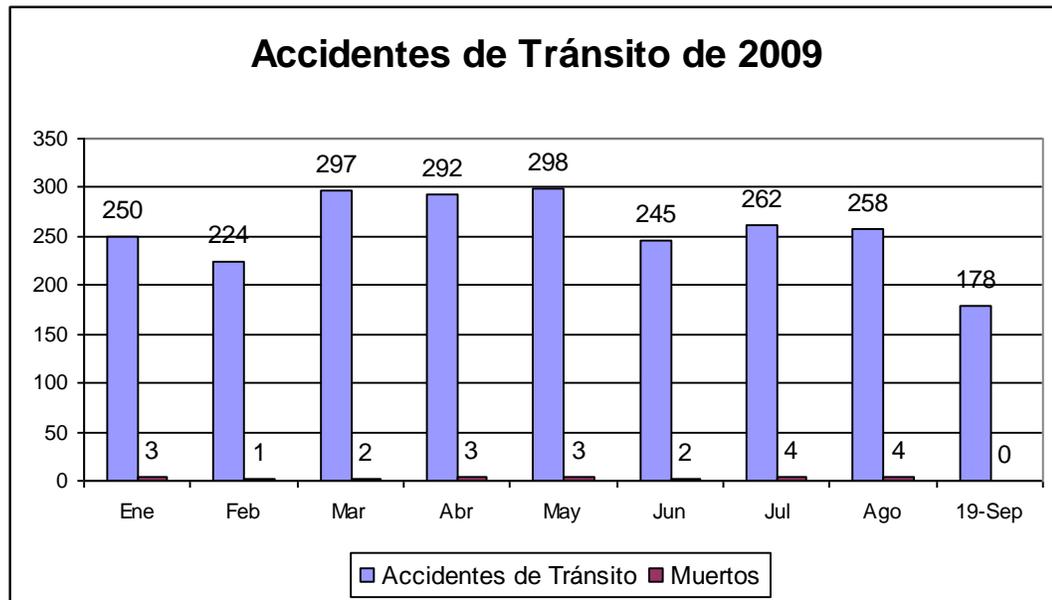
Al detallar los sitios de mayor accidentalidad en Bucaramanga se encuentra que la intersección Carrera 21 con Calle 11 es una de las que sobresale en el listado, gracias a lo cual se le conoce popularmente como el “Cruce de la Muerte”, dada la cantidad de accidentes que se presentan de forma regular. La comunidad agobiada con esta problemática construyó sobre la Calle 11 un resalto sin especificaciones técnicas, lo cual disminuyó la accidentalidad en este cruce pero trasladó el problema a las intersecciones adyacentes al sitio de estudio.

Con este trabajo se pretende analizar las condiciones actuales de la intersección, las posibles causas de los accidentes y las alternativas posibles que busquen mejorar la Seguridad Vial en este punto y sus adyacentes. Para ello se analizará y se determinará desde el punto de vista del Manual de Seguridad Vial de la AASHTO (2010) los factores de modificación de accidentes en sus escenarios base y futuro.

3. JUSTIFICACION

Los accidentes de tránsito se han constituido en la segunda causa de mortalidad en Colombia durante los últimos diez años. Bucaramanga no es ajena a este problema y en los primeros 8,5 meses del año 2009 se tenían más de 2200 accidentes y 22 víctimas mortales.

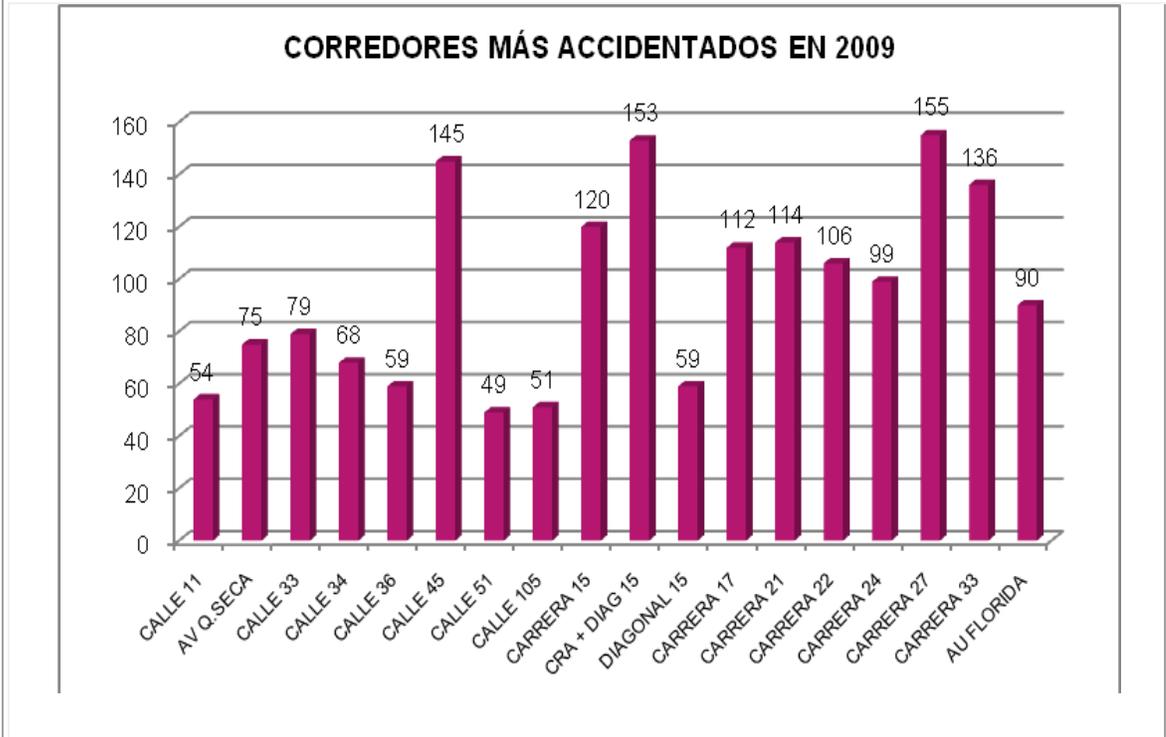
Figura 1. Distribución de accidentes año 2009 en Bucaramanga.



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010

Revisando los datos de accidentes presentados en el año 2009 y organizándolos en la figura 2, se identifican los corredores con mayores índices de accidentalidad en la ciudad de Bucaramanga. En esta figura se aprecia que entre los corredores con mayor accidentalidad se encuentra la calle 11 y la carrera 21, aunque dichos registros no corresponden solamente a la intersección en estudio, sí nos dan una idea del problema de accidentalidad permanente en estos corredores. De hecho, la intersección objeto de este estudio se le conoce popularmente como el “cruce de la muerte”, dadas las altas tasas de accidentalidad que presenta regularmente.

Figura 2. Corredores de mayor accidentalidad 2009.

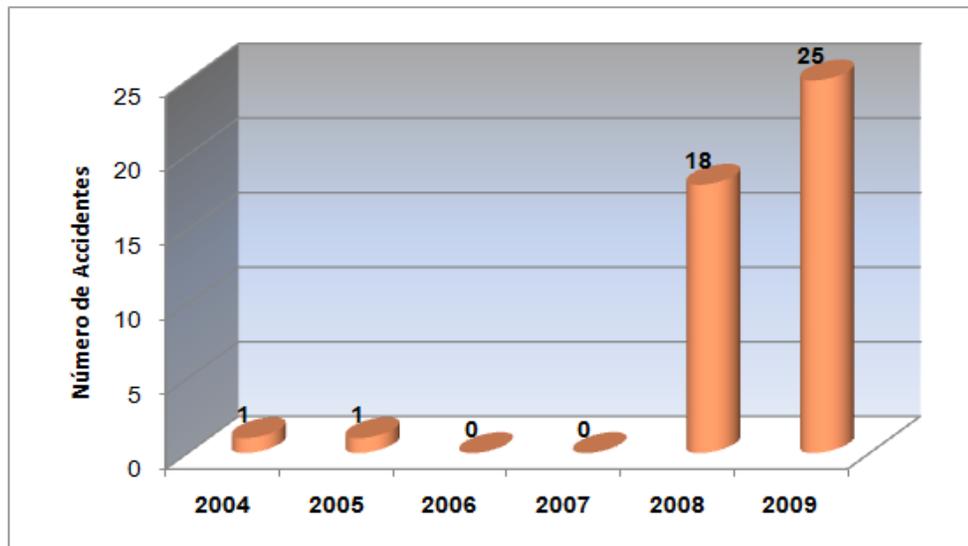


Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010

Basados en información suministrada por la Secretaría de Tránsito de Bucaramanga, a continuación se muestra el registro de los accidentes presentados en esta intersección y en otras intersecciones cercanas y de influencia sobre el sector en estudio en los últimos 6 años.

La figura 3 muestra que el número de accidentes en la intersección en análisis se aumentó de una forma excesiva para los años 2008 y 2009, situación coincidente con el inicio de la implementación del Sistema de Transporte Masivo en la ciudad el cual circularía por el corredor de la calle 11.

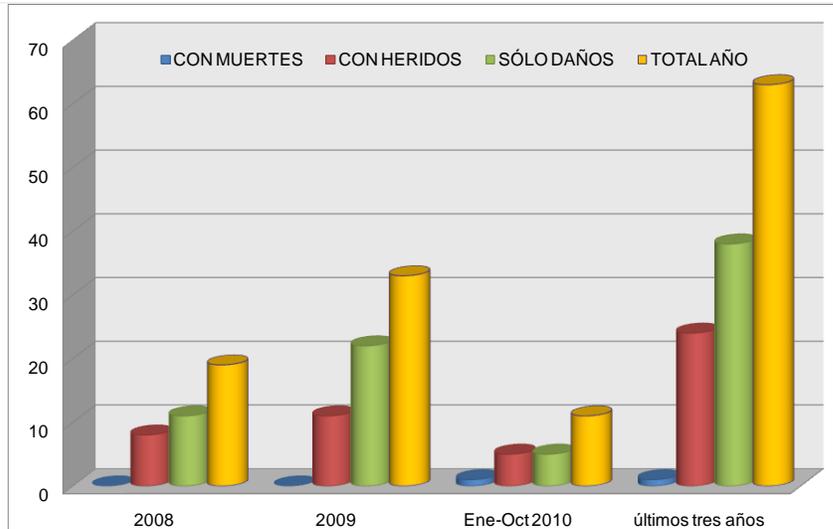
Figura 3. Número de accidentes por año Carrera 21 – Calle 11.



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010

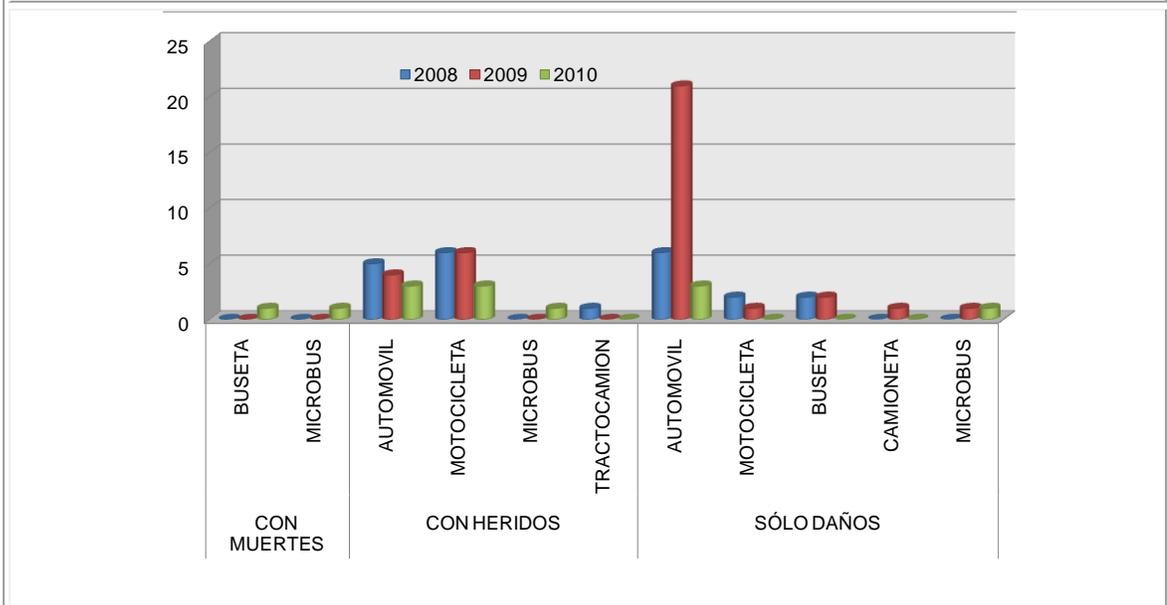
Con respecto a este cruce específico, la Corporación para el Fondo de Prevención Vial proporciona datos relevantes sobre la gravedad del accidente y el tipo de actor vial involucrado. A partir de esta información se obtienen las figuras 4 y 5.

Figura 4. Gravedad de los accidentes por año Carrera 21 – Calle 11.



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010

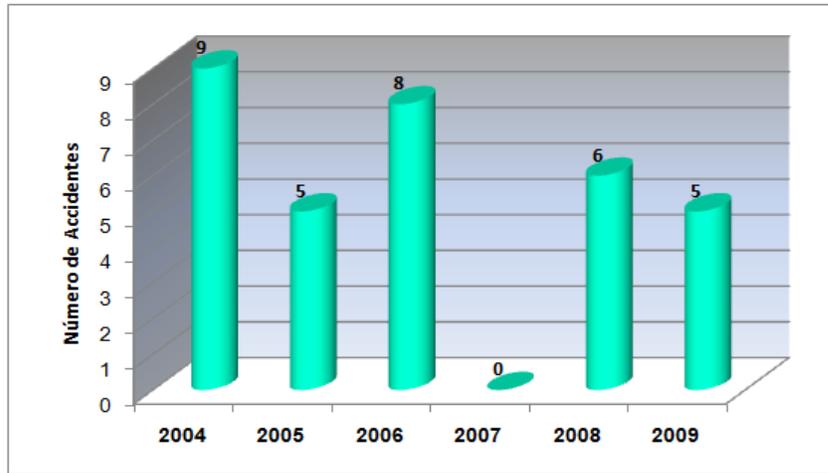
Figura 5. Gravedad y actor involucrado de los accidentes por año en este cruce.



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010

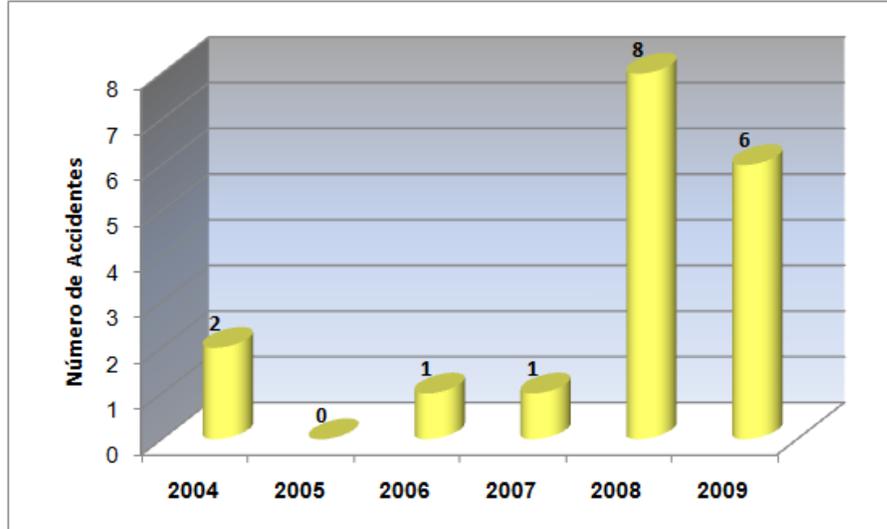
Sobre este mismo sector la Dirección de Tránsito de la ciudad de Bucaramanga proporciona los datos sobre la accidentalidad, encontrándose un incremento notable en las intersecciones adyacentes al cruce de la carrera 21 con calle 11, lo cual se ilustra con las figuras 6 y 7.

Figura 6. Número de accidentes por año Carrera 21 – Calle 10.



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010

Figura 7. Número de accidentes por año Carrera 22 – Calle 11.



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010

Todo lo anterior, ilustra las necesidades que se están presentando en dicha intersección y las adyacentes a la misma, ya que al parecer la imprudencia, el exceso de velocidad (sobre todo de los motociclistas) y el desconocimiento de las normas de tránsito son las que están generando la mayoría de accidentes.

Figura 8. Registro de accidente en el cruce Carrera 20 con Calle 11.



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010.

Precisamente, durante una de las visitas al sitio en estudio se pudo apreciar un accidente que afortunadamente además del susto para los implicados causó solamente leves daños materiales, tal como se ilustra en el registro fotográfico de la Figura 8.

Por lo anteriormente expuesto se plantea la necesidad de estudiar el problema de la accidentalidad de la intersección carrera 21 con calle 11 y sus alrededores, haciendo énfasis en que las posibles soluciones se evalúen con la metodología del *Highway Safety Manual*– HSM.

4. OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar los factores de accidentalidad y el pronóstico del número de accidentes tanto para la situación actual como de las diferentes alternativas propuestas para el mejoramiento de la Seguridad Vial en la intersección Carrera 21 con calle 11 y sus adyacentes empleando la metodología del *Highway Safety Manual*.

Objetivos específicos

- Recolectar información sobre la operación y datos de accidentalidad, que permitan caracterizar la movilidad de los usuarios (conductores, peatones y ciclistas), en la intersección Carrera 21 con calle 11 y sus adyacentes.
- Realizar trabajos de campo, mediante aforos vehiculares e inspección visual (registro fotográfico y de video) en la zona de influencia del estudio para establecer la demanda actual, describir las condiciones de la infraestructura vial y de su operación.
- Identificar los problemas potenciales de seguridad en la intersección para conductores, peatones, ciclistas y motociclistas.
- Analizar la información recopilada durante los trabajos de campo y pronosticar la demanda futura para un periodo de diseño de 20 años.
- Establecer alternativas de solución que permitan mejorar las condiciones de seguridad en este punto.
- Aplicar la metodología del *Highway Safety Manual* para determinar la función de desempeño de la seguridad (SPFs – *Safety Performance Functions*) y los factores de modificación de accidentes y CMFs (*Crash Modification Factors*).
- Identificar y recomendar que alternativa de solución es la que produce una menor estimación en el número de accidentes.

5. ESTADO DEL ARTE

5.1 Historia

El *Highway Safety Manual* (HSM) es un proyecto de desarrollo e investigación que surgió en los Estados Unidos desde hace 10 años por la necesidad de un documento que reglamente la estimación de los efectos de la Seguridad Vial. Este trabajo se llevó a cabo en una reunión especial de la junta TRB (*Transportation Research Board*) en Enero de 1999; en la cual se abarcó el tema de predicción de impactos de la seguridad en el diseño geométrico y operación de las carreteras, justificando la ausencia de un documento autorizado para la toma de decisiones que beneficien la seguridad en las vías.

Posteriormente, en diciembre del mismo año un comité de la TRB financiado por la FHWA (*Federal Highway Administration*) estudió la factibilidad de elaborar un manual de seguridad de carreteras; dando lugar a un primer esquema del *Highway safety Manual* (HSM).

En Mayo del 2000, un subcomité de la TRB supervisaba y evaluaba los resultados de la investigación para proceder con la preparación del documento final; mientras que la *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) financiaba dichos estudios. En el 2006, se tomó la decisión de publicar el manual de seguridad vial como un documento de la AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Un conjunto de representantes de las subcomisiones de diseño de ingeniería de tráfico y gestión de la seguridad fueron los encargados de velar por el cumplimiento del HSM en los departamentos estatales de transporte. Así, en el 2009 el manual fue aprobado y surgió la edición 2010 del *Highway Safety Manual*¹.

5.2 Importancia del HSM

El manual de seguridad vial HSM como herramienta que facilita la consideración explícita de la seguridad en el proceso de planificación; está dirigido a Ingenieros de Tráfico, Especialistas en Seguridad Vial e Ingenieros de Diseño de vías terrestres.

¹ASSHTO. (2010). Highway safety Manual. Vol.1 (pág. xxii). Washington.

Este documento promueve la seguridad como requisito para la toma de decisiones en la fase de planificación, diseño, operación y mantenimiento de las vías; ya que, evalúa las prioridades de la infraestructura vial, la seguridad de diseños alternativos, monitorea el balance de las operaciones, seguridad, movilidad y acceso y evalúa la eficacia de la mejora.

La metodología utilizada en este manual se deriva de funciones de desempeño de la seguridad, factores de modificación de accidentes y de calibración, que fueron especificados bajo estudios técnicos de la AASHTO en condiciones físicas de los Estados Unidos. Por esta razón, aplicar el *Highway Safety Manual* en la infraestructura vial de nuestro país, permite conocer nuestra condición base, los factores que la perturban y las posibles soluciones, en base a nuestros propios factores de modificación y de calibración ajustados a nuestras condiciones físicas.

5.3 Futuras ediciones

El TRB y AASHTO reconocen que el conocimiento y los métodos de análisis que favorecen la seguridad de las carreteras están evolucionando y mejorando; dando prioridad a una movilidad y accesibilidad fácil y segura para los usuarios.

La primera edición del manual de seguridad, está abierto a nuevas mejoras en las técnicas para recoger y mantener los datos de los accidentes, mejorar la geometría vial, desarrollar una planificación, diseño, operación y mantenimiento de las vías con base a especificaciones de seguridad, entre otros métodos de análisis en la predicción de accidentes. Estas futuras mejoras serán el reflejo de futuras ediciones del Manual de seguridad vial.²

5.4 Manual de Seguridad Vial (HSM)

El manual de seguridad vial ofrece herramientas y conocimiento útil que facilita y mejora las decisiones en términos de Seguridad Vial, por medio de información cuantitativa reunida en metodologías de medición, estimación y evaluación de frecuencia de accidentes.

²ASSHTO. (2010). Highway safety Manual. Vol.1 (pág. xxv). Washington.

Los métodos estadísticos de predicción de accidentes en el HSM, reducen la vulnerabilidad de las variaciones aleatorias de los datos de accidentes y proporciona un medio para estimar los accidentes basados en la geometría características de operación y volúmenes de tráfico. Estas técnicas ofrecen la posibilidad de incluir la evaluación de una nueva alternativa de características geométricas y operacionales, con el fin de reducir accidentes.

5.5 Partes del Manual de Seguridad Vial

5.5.1 Parte A - Introducción, Factores Humanos y Fundamentos

Esta sección detalla las herramientas analíticas y técnicas para cuantificar el efecto potencial sobre los accidentes como consecuencia de las decisiones hechas en planeación, diseño, operación y mantenimiento, además, presenta una visión general de los factores humanos que intervienen en la seguridad de las carreteras.

5.5.2 Parte B –Administración de la Seguridad en las Carreteras

La parte B sugiere los pasos para controlar y reducir la frecuencia de accidente. También incluye los métodos para identificar la mejora de sitios, contramedidas seleccionadas, valoración económica y eficacia de la evaluación.

5.5.3 Parte C - Métodos de Predicción

Esta unidad plantea un método predictivo para estimar la frecuencia media esperada de accidente en una red vial, localidad o sitio en particular. El método predictivo es aplicado a un período de tiempo dado, tráfico, volumen, y características del diseño geométrico de la calzada.

El método de predicción consta de 18 pasos que en algunos escenarios, ciertos pasos no son necesarios, ya que; los datos no están disponibles o el paso no aplica para esa situación. Sin embargo, los pasos pueden ser repetidos, cuando se requiera una estimación deseada para varios sitios, un periodo de tiempo de varios años. Además, este método puede ser usado para determinar la estimación de accidentes para una alternativa de diseño o para un volumen de tráfico.

5.5.3.1 Pasos del método para la predicción de accidentes

❖ Paso 1- Definir el tipo de carretera.

El primer paso consiste en clasificar el tramo en estudio dentro de las categorías establecidas en el manual como: carreteras rurales de dos o tres carriles, autopistas o carreteras multicarril y arterias urbanas y suburbanas. Posteriormente, especifica si es una intersección o un segmento homogéneo de carretera.

El HSM cataloga los diferentes tipos de intersección y de segmentos homogéneos de carretera, con el fin de obtener una frecuencia de accidentes precisa. Dentro de su clasificación se encuentra:

❖ Segmentos de carretera.

❖ Arterias de dos carriles indivisos (2U)

Una calzada que consta de dos carriles con una sección transversal continua proporcionando dos direcciones de desplazamiento en el que los carriles no están físicamente separados por la distancia o una barrera.

❖ Arterias viales de tres carriles (3T)

Una calzada que consta de tres carriles con una sección transversal continua proporcionando dos direcciones de desplazamiento en el que el centro es un carril bidireccional para giro a la izquierda.

❖ Arterias de cuatro carriles indivisos (4U)

Una calzada que consta de cuatro carriles con una sección transversal continua proporcionando dos direcciones de desplazamiento en el que los carriles no están físicamente separados por la distancia o una barrera.

❖ **Arterias de cuatro carriles divididos (4D)**

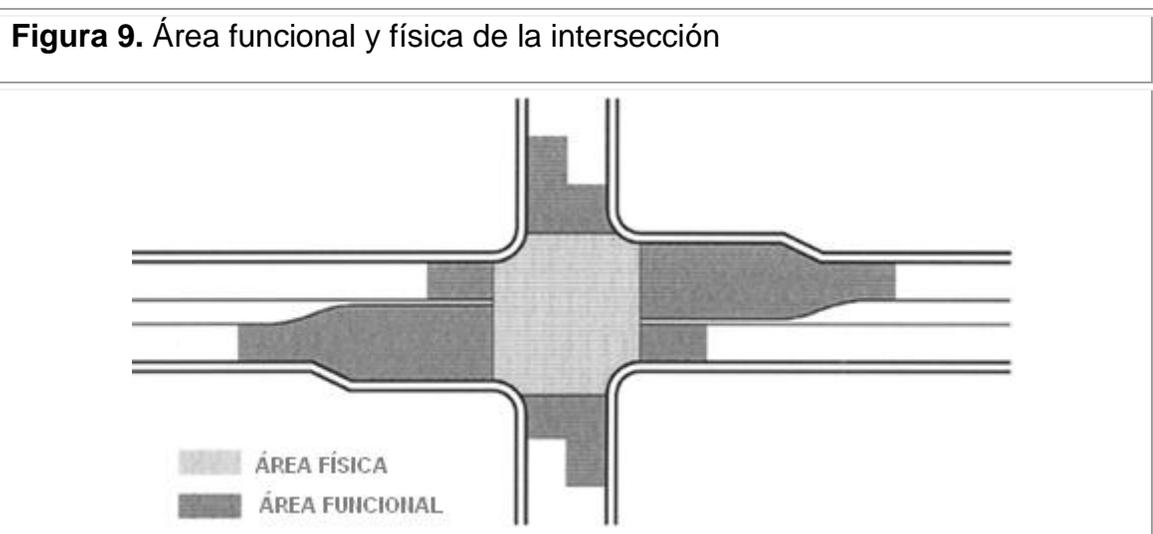
Una calzada que consta de cuatro carriles con una sección transversal continua proporcionando dos direcciones de desplazamiento en el que los carriles están físicamente separados por la distancia o una barrera.

❖ **Arterias de cinco carriles con centro para el giro a la izquierda (5T)**

Una calzada que consta de cinco carriles con una sección transversal continua proporcionando dos direcciones de desplazamiento en el que el centro es un carril bidireccional para giro a la izquierda.

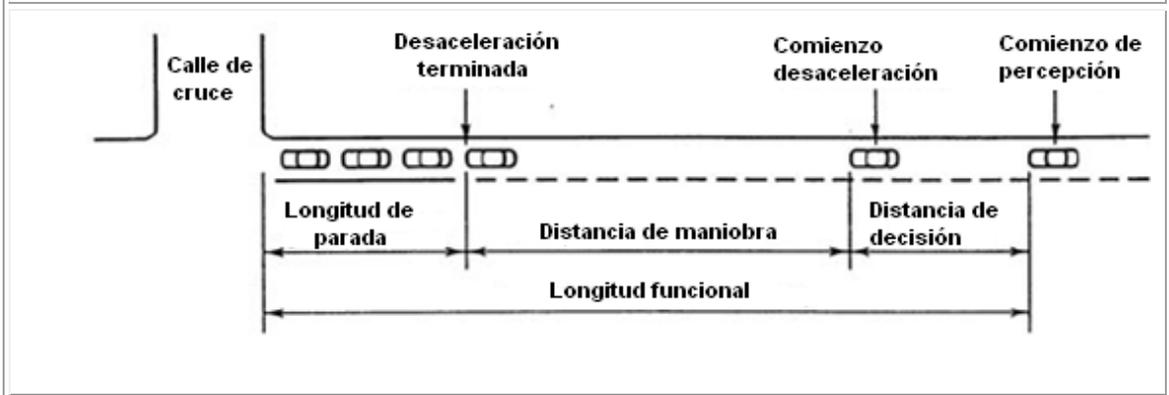
❖ **Intersecciones**

Se define como el área general donde se unen dos o más carreteras de cualquier tipo. Estas constan de dos tipos de área, el área física y el área funcional. El área funcional se extiende sobre la zona física y sus aproximaciones en todos los sentidos de las carreteras que componen la intersección; ver figura 9. Esta zona se compone de tres elementos básicos: Distancia de decisión, distancia de maniobra y distancia de frenado y/o almacenamiento, ilustrado en la figura 10.



Fuente: Signalizedintersection, FHWA

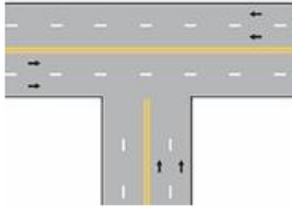
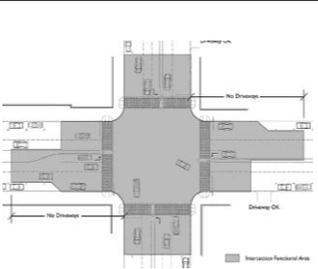
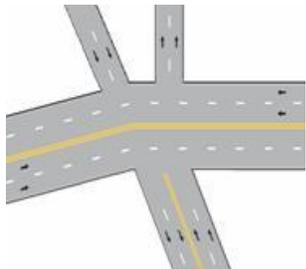
Figura 10. Elementos del área funcional de una intersección.



Fuente: Signalizedintersections, FHWA

Las intersecciones se clasifican comúnmente por el número de ramas o brazos y por su geometría. La siguiente tabla especifica cada una de ellas.

Tabla 1. Clasificación de las intersecciones según el número de entradas

TIPO DE INTERSECCIÓN		DEFINICIÓN
<p>TRES RAMAS</p>  <p style="text-align: right;">1</p>	<p>Parada controlada (3ST)</p>	Una intersección de una arteria urbana o suburbana y una carretera secundaria. Una señal de parada se proporciona en el enfoque de la carretera secundaria a la intersección solamente.
	<p>semaforizada (3SG)</p>	Una intersección de una arteria urbana o suburbana y una carretera secundaria. El control señalizado se proporciona en la intersección por semáforos.
<p>CUATRO RAMAS</p>  <p style="text-align: right;">2</p>	<p>Parada controlada (4ST)</p>	Una intersección de una arteria urbana o suburbana y dos carreteras secundarias. Una señal de parada se proporciona en ambos sentidos de las carreteras de la intersección.
	<p>semaforizada (4SG)</p>	Una intersección de una arteria urbana o suburbana y dos carreteras secundarias. Una señal de parada se proporciona a través de semáforos.
<p>MULTI RAMAS</p>  <p style="text-align: right;">1</p>		una intersección de una o más arterias urbanas o suburbanas que como resultado se obtienen cinco o más entradas.

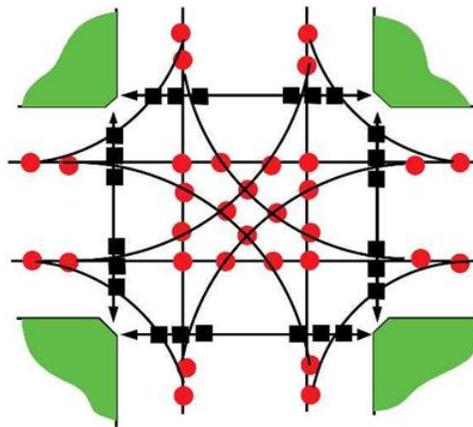
Fuente tabla: Elaboración propia.

Fuente imágenes: *Intersection Type*¹, *Intersection Design Guidelines*²

❖ Puntos de conflicto

Se presentan puntos de conflicto cuando los flujos vehiculares que se mueven en diferentes direcciones interfieren entre sí. Los tres tipos de conflictos son incorporación, salida y cruce. El número de posibles puntos de conflicto en una intersección depende del número de accesos, de los movimientos para dar vuelta y del tipo de control de tránsito de la misma. Para el caso de una intersección sin señalización y de cuatro accesos se presentan 32 puntos de conflicto.³

Figura 11. Puntos Críticos



Fuente: Infraestructura del transporte terrestre diseño geométrico, Intersecciones, 2008

● **32 PUNTOS DE CONFLICTO ENTRE VEHICULOS**

■ **24 PUNTOS DE CONFLICTO ENTRE VEHICULO PEATON**

El diseño geométrico tiene una profunda influencia en la Seguridad Vial y en el rendimiento operativo de la vía en cuestión. Por tal motivo, existen técnicas que permiten satisfacer la necesidad del usuario sin interponer su seguridad.

³ INGENIERIA DE TRANSITO Y CARRETERAS TERCERA EDICION NICHOLAS J. GARBER LESTER A. HOEL THOMSON

❖ **Canalización**

Su objetivo es reducir los puntos de conflicto en las intersecciones, por medio de diseños de medianas que eviten los giros no deseados, marcar el pavimento con las rutas de acceso para los vehículos, fomentar las velocidades seguras mediante los carriles de acceso, separar los puntos de conflicto implementando carriles de giro, facilitar la circulación de los flujos de tráfico de alta prioridad, proporcionar refugio seguro y letreros de orientación para los peatones y maximizar la seguridad del tráfico por medio de los semáforos.

❖ **Ángulo de la intersección**

El ángulo de intersección entre dos carreteras puede influir tanto en la seguridad como en el funcionamiento de ésta; puesto que, puede ser difícil para los conductores maniobrar en intersecciones más sesgadas.

❖ **Distancia de visibilidad**

Distancia de visibilidad es la distancia requerida para que un conductor perciba lo que sucede delante de su recorrido y pueda reaccionar ante la presencia de vehículos y peatones en el camino.

❖ **Control del tráfico**

En las intersecciones el tráfico se puede manejar por medio de semáforos o por señales de parada. Cuando son controladas por medio de semáforos, el tiempo para cada movimiento depende de las características de la intersección y de la demanda en la intersección.

❖ **Paso 2 – Definir el periodo de estudio.**

El método de predicción de accidentes puede llevarse a cabo para un periodo anterior o un periodo futuro. Todos los periodos son medidos en años. Los años son determinados por la disponibilidad de los datos de tráfico diario anual, datos de accidentes y datos del diseño geométrico.

❖ **Paso 3 - Determinar los datos de accidentes del período en estudio. (Si es aplicable el método EB)**

Determinar los volúmenes anuales de tráfico diarios, volúmenes peatonales de cruce, y, para una red de carreteras existente, la disponibilidad de los datos de accidentes observados.

❖ **Paso 4 - Determinar las condiciones geométricas.**

Estipular las características del diseño geométrico, características del control de tráfico y las características del sitio en estudio.

Para evitar la recolección de datos innecesarios, es necesario entender las condiciones de base de los factores de modificación de accidentes CFMs definidas dentro del HSM, en la sección 12.6.1 y 12.6.2 del volumen 2.

❖ **Paso 5 - Dividir la carretera en segmentos de carretera o intersecciones.**

Usando la información recolectada en el paso 1 y 4, la carretera en estudio se divide en intersecciones o segmentos homogéneos de vías. Las definiciones y metodología para clasificar objeto de estudio se encuentra en el capítulo 12, sección 12.5 del manual de seguridad vial HSM.

❖ **Paso 6 - Asignar la observación de accidentes en un sitio (si es aplicable).**

Este paso solo es aplicable si está determinado el paso 3. Si no es aplicable proceder al paso 7.

El criterio específico para asignar accidentes a segmentos de carretera o intersecciones son presentados en la sección A.2.3 del apéndice A de la parte C, volumen 2 del HSM.

❖ **Paso 7 - Seleccionar un segmento de carretera o intersección.**

Si no hay más sitios para ser evaluados proceder al paso 15.

❖ **Paso 8 - Seleccionar el periodo de tiempo a trabajar.**

Los pasos del 8 al 14 son repetidos para cada sitio en estudio y para cada año en el periodo de estudio. Si no hay más años para ser evaluados en el sitio pasar al paso 14.

La evaluación de un periodo puede ser analizado en un año para cualquier segmento de carretera o intersección.

❖ **Paso 9 - Aplicar SPF (*Safety Performance Function*)**

Dependiendo de las características de la carretera y los controles de tráfico se determina y aplica la apropiada función de rendimiento de (SPF). Los SPFs se encuentran estipulados en el manual de seguridad vial según la clasificación de la vía.

❖ **Paso 10 - Aplicar CMF (*Crash Modification Factor*)**

Los factores de modificación de accidentes se utilizan para ajustar la estimación de los SPFs (*Safety Performance Function*). Se realiza por medio de la multiplicación de éste y el valor obtenido en el paso 9. Los factores de modificación de accidentes (CMF) para cada característica de vía son presentados en el capítulo 12, volumen 2 del HSM.

Para este caso en particular, se tendrá en cuenta como tipo de carretera involucrada en la intersección de estudio arterias urbanas o suburbanas.

❖ **CMF (*Crash Modification Factor*) para intersecciones**

Los efectos del diseño geométrico y las características del control de tráfico en las intersecciones están representados en los modelos de predicción de los factores de modificación de accidentes (CMF). Para este el caso en estudio los factores de modificación son los siguientes:

Tabla 2.CMF y SPF para intersecciones.

Correspondiente SPF	CMF	DEFINICION
Colisión de múltiple vehículos y choques de un vehículo en intersecciones	CMF 1i. Intersección carril giro a la izquierda	La condición base de este factor de modificación es la ausencia del carril de giro a la izquierda en las entradas de la intersección.
	CMF 2i. Intersección giro a la izquierda con señal progresiva	Este factor es específico para intersecciones señalizadas y se clasifica en permisivo cuando se permiten mas movimientos, permisivo/protegido y protegido cuando solo se permite el movimiento del giro.
	CMF 3i. Intersección giro a la derecha	La condición base de este factor de modificación es la ausencia del carril de giro a la derecha en las entradas de la intersección.
	CMF 4i. Cruce a la derecha con luz en rojo	La condición base de este factor es permitir un giro a la derecha con luz en rojo para todas las entradas de la intersección. Este coeficiente solo aplica para intersecciones semaforizadas.
	CMF 5i. Iluminación	Para el cálculo de este factor se tiene en cuenta la proporción de los accidentes que ocurren en las intersecciones que se producen sin luz en la noche. No incluye choques con vehículo-peatón ni vehículo-bicicleta .
	CMF 6i. Cámara de luz roja	Este tipo de cámaras es utilizado en las intersecciones para detectar posibles infracciones cometidas por los conductores, como realizar movimientos no permitidos o violar la señal de pare en el semáforo.
choques vehículo peatón en intersecciones con semáforos.	CMF 1p. Para de bus	Este factor se determina dependiendo del número de paradas de autobús que se encuentren dentro de 1000 ft al centro de la intersección. La condición base es la ausencia de estación de bus cerca a la intersección.
	CMF 2p. Centro educativos	Este factor se determina dependiendo del número de centros educativos que se encuentren dentro de 1000 ft al centro de la intersección. La condición base es la ausencia de instituciones educativas cerca a la intersección. Una escuela puede ser contada, si cualquier porción de los terrenos de ésta se encuentra dentro de la distancia anteriormente dicha.
	CMF 3p. Establecimientos de expendios de alcohol.	Este factor se determina dependiendo del número de establecimientos de venta de alcohol que se encuentren dentro de 1000 ft al centro de la intersección. La condición base es la ausencia de éste tipo de sitio cerca a la intersección. Cualquier establecimiento que se encuentre parcial o totalmente dentro de la distancia establecida puede ser contado.

Fuente: Elaboración Propia

❖ **Paso 11 – Aplicar el factor calibrador.**

El factor de calibración es aplicable para cada SPF en el método de predicción y se encuentran en apéndice A.1.1 de la parte C del manual de seguridad vial. Estos

se incluyen en la metodología para permitir a los organismos viales ajustar los SPF para que coincidan con las condiciones reales del sitio en estudio.

El factor de calibración se calcula dependiendo del tipo de segmento de carretera o del tipo de intersección.

❖ **Paso 12 - Cambiar el periodo de estudio.**

Si se requiere cambiar el periodo de estudio regresar al paso 8; si no, proceder al paso 14.

Este paso crea un circuito entre los pasos 8 y 12 que son repetidos por cada año del periodo de evaluación para el sitio seleccionado.

❖ **Paso 13 - Aplicar el método Empirical Bayes EB (si es aplicable).**

Este paso es aplicable si determinó el paso 3.

El método EB realiza una estimación del modelo de predicción de la frecuencia de accidentes, N prevista con la frecuencia de accidentes observados en el sitio específico, N observado. Lo que proporciona una estimación estadísticamente más confiable de la frecuencia esperada caída promedio de la zona seleccionada.

❖ **Paso 14 - cambiar el sitio de estudio.**

Si se requiere cambiar el sitio de estudio retornar al paso 7; si no, pasar al paso 15.

Este paso crea un circuito entre los pasos 7 y 13 que es repetido por cada segmento de carretera o intersección.

❖ **Paso 15 - Aplica el nivel EB si es posible. (Si es posible)**

Este paso es realizable solo a las condiciones existentes cuando los datos observados de choque están disponibles, pero no puede ser exactamente asignado a sitios específicos.

❖ **Paso 16 - Sumar todos los sitios y años.**

Determinar el número total de accidentes estimados dentro del periodo y sitio de estudio, por medio de la ecuación 1 y 2.

$$N_{total} = \sum_{\substack{\text{todos los} \\ \text{segmentos} \\ \text{de carretera}}} N_{rs} + \sum_{\substack{\text{todas las} \\ \text{intersecciones}}} N_{int} \quad (1)$$

Dónde:

N_{total} = número total de accidentes esperado en el periodo de interés.

N_{rs} = promedio esperado de accidentes para un segmento de carretera usando el método de predicción de accidentes para un año específico.

N_{int} = promedio esperado de accidentes para una intersección usando el método de predicción de accidentes para un año específico.

$$N_{promedio} = \frac{N_{total}}{n} \quad (2)$$

Dónde:

N_{total} promedio = número total de accidentes esperado en el periodo de interés.

n = número de años in el periodo de estudio.

❖ **Paso 17 – determinar si existe otra alternativa de diseño, tratamiento o pronóstico para ser evaluada.**

Si existe otra contramedida retornar al paso 3.

❖ Paso 18 - Comparar y evaluar los resultados.

El método de predicción proporciona el promedio de la frecuencia de accidentes en una vía en estudio dentro de un periodo de tiempo determinado. Además de estimar el total de accidentes, la estimación se puede clasificar para los diferentes tipos de gravedad de accidentes y tipos diferentes colisiones.

Las distribuciones por defecto de gravedad del choque y el tipo de colisión se proporcionan en cada SPF en la sección 12.6.

5.5.4 Parte D - Factores de Modificación de Accidentes

La parte D resume los efectos de diversos tratamientos en modificaciones geométricas y operacionales de una localidad.

Un Factor de Modificación de Accidentes CMFs es un factor multiplicativo que calcula el número esperado de accidentes después de aplicar una determinada medida en un sitio específico.

5.6 Énfasis de Estudio

La situación actual de la carrera 21 con calle 11 y sus intersecciones vecinas, se constituye en el escenario base para este estudio, en el cual se estudiarán las condiciones geométricas, de operación y de factor humano que intervienen en la seguridad vial de este sector; por medio del método de predicción de accidentes del *Highway Safety Manual* HSM.

A su vez se evaluarán las diferentes soluciones que se propongan para la disminución de la accidentalidad en el sector y se pronosticará la frecuencia de accidentes esperados en un año en cada una de ellas, con el fin de determinar la contramedida con más disminución de accidentes por año.

La implementación del manual en este cruce se realizara para un escenario base, que describe la situación actual de la vía y uno futuro que puntualiza una alternativa para la mejora de la seguridad de este punto; ambos contextos serán evaluados en tres periodos: uno actual y dos proyecciones a cinco y diez años.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 Recolección y análisis de información primaria y secundaria

En un primer paso se harán visitas de campo al sector objeto de este estudio y posteriormente se planificará la recopilación de información de campo primaria y secundaria.

A partir del análisis de esta información se identificarán los tipos de intersección que se encuentran en la zona de estudio para proceder a caracterizarlas desde el punto de vista de la geometría, la velocidad, el tráfico y sobre todo de los datos históricos de los accidentes.

6.1.1 Ubicación y descripción de la zona

El cruce de la carrera 21 con calle 11 se encuentra ubicado en el barrio La Mutualidad en Bucaramanga. La zona es rodeada por locales comerciales, viviendas, centros educativos y una parada de bus sobre la calle once que hace uso del Sistema de Transporte Masivo (STM) Metrolínea.

Este nodo tiene como sentido de circulación vehicular Sur – Norte y una sección transversal de tres carriles sobre la carrera 21 y un sentido de circulación occidente – oriente y dos carriles sobre la calle 11.⁴

La intersección tiene como movimientos permitidos un cruce a la derecha por la carrera 21 y uno a la izquierda por la calle 11; y se clasifica como una intersección a nivel de cuatro brazos (*four leg*) y con parada controlada por lo que se designa según el HSM como 4ST (*four leg stop controlled*).

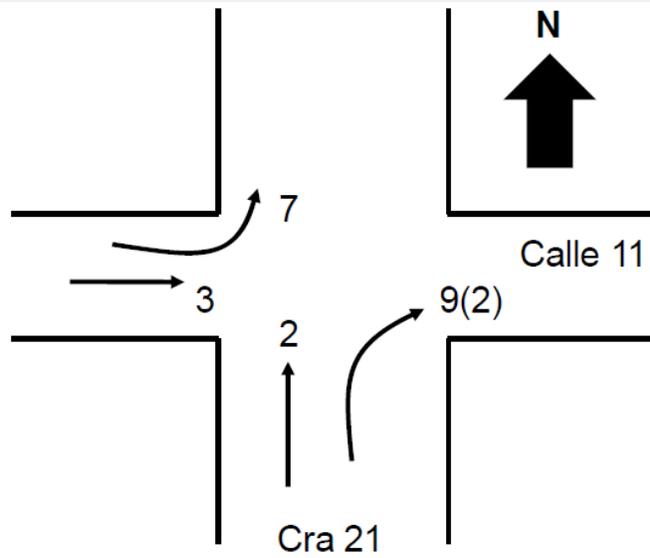
⁴M. Salas. “estudio de accidentalidad vial para la intersección de la Carrera 21 con calle 11 en el municipio de Bucaramanga, Santander. Corporación Fondo de Prevención Vial. (2010) PDF.

Figura 12. Localización de la intersección a estudio



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010

Figura 13. Movimientos vehiculares permitidos en la intersección



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010

6.1.2 Seguridad en la intersección.

En la ciudad de Bucaramanga existen cinco sitios críticos de alta accidentalidad entre los cuales se encuentra como el segundo la intersección de la carrera 21 con calle 11, seguido del tramo de la Carrera 15, desde la Calle 45 Hasta Puerta del Sol. Por esta razón es también conocida como “el cruce de la muerte”.

Consecuente a esta situación, los habitantes de este sector han pasado varios derechos de petición a las autoridades competentes en busca de una solución que reduzca las cifras de accidentes, pero éstas no han dado ninguna solución; debido a esto, los habitantes han tomado la iniciativa de instalar semáforos los cuales no cumplen con la normativa legal vigente sobre la calle 11 en las intersecciones de las carreras 21 y 22, el cual consta de una luz roja fija, debido a que estos fueron construidos artesanalmente, en el día no funcionan muy bien ya que la luz no tiene mayor intensidad por lo que funcionan mejor en las noches. Al indagar sobre el funcionamiento de estos aparatos, los habitantes aseguran que los accidentes se han disminuido en las horas de la noche, pero en el día siguen ocurriendo.

Figura 14. Semáforos artesanales en las carreras 21 y 22



Fuente: Propia

La zona en estudio presenta sobre la carrera 21 estoperoles en varias franjas y sobre el ancho de ésta. Sin embargo, los motociclistas realizan maniobras poco prudentes para evadirlos y mantener una alta velocidad, ocasionando la mayoría de los accidentes. Sobre la calle 11, presenta un resalto, el cual fue diseñado por los vecinos del sector con el fin de reducir los accidentes, pero este no cumple con las especificaciones mencionadas en el Manual de Señalización Vial vigente.

Figura15. Carrera 21 con calle 1



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010

La poca visibilidad se debe a que existe un muro de concreto en la esquina derecha de la intersección sobre la calle 11, por lo que los vehículos deben salir sobre la carrera 21 para poder tener una mejor vista de los carros que vienen sobre este corredor lo cual representa una gran probabilidad de accidentes, teniendo en cuenta que la carrera 21 es una de las principales vías de la ciudad y los vehículos que transitan por esta alcanzan altas velocidades. La iluminación en el sector es escasa, pero debido a que en las horas de la noche el flujo vehicular disminuye los accidentes escasean.

Figura 16. Visibilidad en la intersección



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010

6.1.3 Accidentes

Según datos de la dirección de tránsito y estudios de Seguridad Vial en la zona a cargo de la Corporación Fondo de Prevención Vial, se estima anualmente 25 accidentes en el sitio.

Al realizar vistas al sector e indagando a la comunidad por medio de encuestas se estipula que la causa principal de los accidentes es la distracción e imprudencia de los conductores. Los que vienen sobre la calle 11 repetidamente infringen la señal de pare, igualmente los que transitan sobre la carrera 21 exceden las velocidades permitidas y abusan de tener prelación en la vía, siendo inútiles los estoperoles instados para reducir las velocidades. En las siguientes figuras se observan algunos choques ocasionados en el lugar, con el fin de presentar a fondo esta problemática.

La figura 16 presenta un choque entre dos vehículos sobre el nudo, causando únicamente daños materiales.

Figura17. Accidente sobre la Carrera 21 con Calle 11



Figura18. Accidente en intersección adyacente



Fuente: Habitantes del sector.

Figura 19. Choque vehículo-motocicleta



Figura20. Vista lateral



Fuente: Habitantes del sector.

En esta fotografía podemos ver como el vehículo implicado traspasa la acera y pone en riesgo la vida de los peatones que transitan por ahí y la de las personas que puedan estar dentro de este establecimiento.

6.2 Aplicación de la Metodología del HSM

La aplicación de la metodología se centra en la predicción del número de accidentes del lugar descrito anteriormente. La aplicación de los pasos 9, 10 y 11 del método de predictivo de daños en vías arteriales urbanas y suburbanas son claves para evaluar las intersecciones del sector; ya que, se evaluará para un año en particular. El desarrollo de este estudio se divide en dos escenarios, uno base y otro futuro, los cuales se evalúan en tres momentos cada uno.

6.2.1 Escenario base

El escenario base asocia las condiciones actuales de la intersección como: tráfico actual, características físicas y de operación. Este contexto es evaluado en tres períodos descritos a continuación:

6.2.1.1 Período Actual año 2013

Tabla 3 Hoja de Cálculo 2A.

INFORMACIÓN GENERAL			
INFORMACIÓN GENERAL		INFORMACIÓN DEL SITIO	
ANALISTA	Larieth Amparo Pérez Eugenio	CARRETERA	Carrera 21
	Ángela Esteban Mendoza	INTERSECCIÓN	Carrera 21 con Calle 11
COMPAÑÍA	Universidad Pontificia Bolivariana	JURISDICCIÓN	B/manga, Sder, Colombia
FECHA DE ESTUDIO	Septiembre	AÑO DE ANALISIS	2013
DATOS DE ENTRADA		CONDICIONES BASE	CONDICIONES DEL SITIO
TIPO DE INTERSECCIÓN (3ST,3SG,4ST,4SG)			4ST
TPDA _{mayor} (veh/día)			16431
TPDA _{menor} (veh/día)			7758
ILUMINACIÓN EN LA INTERSECCIÓN		no presenta	presente
FACTOR DE CALIBRACIÓN, C _i		1	1
DATOS PARA INTERSECCION NO SEMAFORIZADA			
NÚMERO DE APROXIMACIONES CON GIRO A LA IZQUIERDA DE LA CARRETERA PRINCIPAL (0,1,2)		0	0
NÚMERO DE APROXIMACIONES CON GIRO A LA DERECHA DE LA CARRETERA PRINCIPAL (0,1,2)		0	1

6.2.1.1.1 Paso 9 – Determinar las funciones SPF

Para el sector seleccionado, se determina y se aplica el SPF, según el tipo de configuración geométrica, tráfico y elementos de control.

Los SPF para una intersección de cuatro vías con control de pare en la vía menor se evalúan para los diferentes tipos de colisión como: choque de varios vehículos, un solo vehículo, vehículo – peatón y vehículo – bicicleta. Los cálculos para los encuentros entre vehículo – peatón y vehículo – bicicleta son mostrados en el

paso 10. Mientras que las demás accidentes se desarrollan con las siguientes ecuaciones (3-4)

Accidentes de múltiples vehículos

$$N_{bimv} = \exp(a + b \times \ln(TPDA_{mayor}) + c \times \ln(TPDA_{menor})) \quad (1)$$

$$N_{bimv} = \exp(-8,90 + 0,82 \times \ln(16431) + 0,25 \times \ln(7758))$$

$$N_{bimv} = 3,66 \text{ accidentes por año}$$

Dónde:

TPM Max: transito promedio diario máximo.

TPM min: transito promedio diario mínimo.

Los coeficientes a, b y c son tomados de la tabla 12-10 del HSM en el anexo 1

Accidentes de un solo vehículo

$$N_{bisv} = \exp(a + b \times \ln(TPDA_{mayor}) + c \times \ln(TPDA_{menor})) \quad (2)$$

$$N_{bisv} = \exp(-5,33 + 0,33 \times \ln(16431) + 0,12 \times \ln(7758))$$

$$N_{bisv} = 0,35 \text{ accidentes por año}$$

Los coeficientes a, b y c son tomados de la tabla 12-12 del HSM en el anexo 1

Total accidente de vehículos en un año

$$N_{spf \text{ int}} = N_{bimv} + (N_{bisv}) \quad (3)$$

$$N_{spf \text{ int}} = 3,66 + 0,35$$

$$N_{spf \text{ int}} = 4,01 \text{ Accidentes por año}$$

6.2.1.1.2 Paso 10 – Aplicar CMFs

Tomar el dato obtenido en el paso 9 SPF y multiplicarlo por el CMFs apropiado, mediante la ecuación 5, para ajustar las condiciones base a las condiciones geométricas y de tránsito del sitio.

$$N_{predic} = N_{spf} \times C_i \times (CMF_{1i} \times CMF_{2i} \times CMF_{3i} \times CMF_{4i} \times CMF_{1p} \times CMF_{2p} \times CMF_{3p})(4)$$

Los factores de modificación de accidentes se determinan de acuerdo a las condiciones del tramo en estudio y se clasifican en:

CMFs para intersecciones

Los valores a continuación descritos son tomados del HSM.

CMF_{1i} = aplica para la instalación de carril de giro a la izquierda, debido a que no se va a instalar ninguna entrada el valor asumido es **1**

CMF_{2i} = carril de giro a la izquierda *signal phasing*, para intersecciones no semaforizada es igual a **1**

CMF_{3i} = aplica para la instalación de carril de giro a la derecha, debido a que no se va a instalar ninguna entrada el valor asumido es **1**

CMF_{4i} = carril de giro a la derecha en luz roja, por la ausencia de esta señal se asume **1**

CMF_{5i} = la condición base de este factor es la ausencia de la iluminación, debido a que hay presencia de iluminación se toma como valor uno

CMF_{5i} = 1

CMF_{6i} = cámaras de luz roja; en la intersección no hay presencia de cámaras por lo que el valor correspondiente es **1**

CMFs para colisión peatón – vehículo en intersecciones

CMF_{1P} = paradas de bus tabla 12-28 ver anexo 4

CMF_{1P} = 2,78

CMF_{2P} = centros educativos tabla 12-29 ver anexo 4

CMF_{2P} = 1,35

CMF_{3P} = establecimientos de expendio de alcohol tabla 12-30 ver anexo 4

$$\mathbf{CMF}_{3P} = 1,56$$

La combinación de los CMFs es igual a:

$$\mathbf{CMFs}_{comb} = (\mathbf{CMF}_{li} \times \mathbf{CMF}_{2i} \times \mathbf{CMF}_{3i} \times \mathbf{CMF}_{4i} \times \mathbf{CMF}_{1p} \times \mathbf{CMF}_{2p} \times \mathbf{CMF}_{3p})(5)$$
$$\mathbf{CMFs}_{comb} = 5,85$$

$$\mathbf{N}_{bi} = \mathbf{N}_{spf} \times (\mathbf{CMFs}_{comb}) \quad (6)$$

$$\mathbf{N}_{bi} = 4,01 \times (5,85)$$

$$\mathbf{N}_{bi} = 23,501 \text{ accidentes por año}$$

El número de accidentes vehículo peatón por año en una intersección con parada controlada se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{N}_{pdi} = \mathbf{N}_{bi} \times \mathbf{f}_{pdi} \quad (7)$$

$$\mathbf{f}_{pdi} = 0,22$$

Factor ajustado de accidentes vehículo- peatón Tabla 12-16 ver anexo 2

$$\mathbf{N}_{pdi} = 0,517 \text{ Accidentes vehículo - peatón por año.}$$

El número de accidentes vehículo ciclista por año en una intersección con parada controlada se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{N}_{bike i} = \mathbf{N}_{bi} \times \mathbf{f}_{bike i} \quad (8)$$

$$\mathbf{f}_{bike i} = 0,018$$

Factor ajustado de accidentes vehículo- ciclista Tabla 12-17 ver anexo 2

$$\mathbf{N}_{bike i} = 0,423 \text{ Accidentes vehículo-ciclista por año.}$$

6.2.1.1.3 Paso 11- Aplicar Factor Calibrador

Tomar el valor obtenido en el paso anterior y multiplicarlo por el factor calibrador mediante la ecuación (9).

Se asume un factor de calibración 1,00.

$$\mathbf{N}_{predicho \text{ int}} = \mathbf{C}_i \times (\mathbf{N}_{bi} + \mathbf{N}_{pedi} + \mathbf{N}_{bikei})(9)$$

$$N_{\text{predicho int}} = 1 \times (23,501 + 0,517 + 0,423)$$

$N_{\text{predicho int}} = 24,441$ accidentes por año.

HOJAS DE CÁLCULO

Los datos analizados anteriormente fueron desarrollados por medio las siguientes 12 hojas de cálculo clasificadas como hojas de cálculo según el HSM:

Las tablas y las ecuaciones referidas para el desarrollo de las hojas de cálculo están soportadas por los anexos del 1 al 6.

Tabla 4. Hoja de cálculo2A

INFORMACIÓN GENERAL			
INFORMACIÓN GENERAL		INFORMACIÓN DEL SITIO	
ANALISTAS	Larieth Amparo Pérez Eugenio	CARRETERA	Carrera 21
	Ángela Esteban Mendoza	INTERSECCIÓN	Carrera 21 con Calle 11
COMPAÑÍA	Universidad Pontificia Bolivariana	JURISDICCIÓN	B/manga, Sder, Colombia
FECHA DE ESTUDIO	Septiembre	AÑO DE ANALISIS	2013
DATOS DE ENTRADA		CONDICIONES BASE	CONDICIONES DEL SITIO
TIPO DE INTERSECCIÓN (3ST,3SG,4ST,4SG)			4ST
TPDA _{mayor} (veh/día)			16431
TPDA _{menor} (veh/día)			7758
ILUMINACIÓN EN LA INTERSECCIÓN		no presenta	presente
FACTOR DE CALIBRACIÓN, C _i		1	1
DATOS PARA INTERSECCION NO SEMAFORIZADA			
NÚMERO DE APROXIMACIONES CON GIRO A LA IZQUIERDA DE LA CARRETERA PRINCIPAL (0,1,2)		0	0
NÚMERO DE APROXIMACIONES CON GIRO A LA DERECHA DE LA CARRETERA PRINCIPAL (0,1,2)		0	1

Tabla 5. Hoja deCálculo2B

FACTORES DE MODIFICACION (CMFs)						
1	2	3	4	5	6	7
CMF carril giro izquierda	CMF carril giro izquierda signal phasing	CMF carril giro derecha	CMF carril giro derecha en luz roja	CMF para iluminacion	CMF camaras de luz roja	combinacion CMFs
CMF _{1i}	CMF _{2i}	CMF _{3i}	CMF _{4i}	CMF _{5i}	CMF _{6i}	CMF _{comb}
Tabla 12-24	Tabla 12-25	Tabla 12-26	Ecuación 12-35	Ecuación 12-36	Ecuación 12-37	1*2*3*4*5*6
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACCIDENTES (CMF) PARA COLISIÓN PEATÓN-VEHÍCULO EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS				
8	9	10	11	12
CMF para parada de bus	CMF para centros educativos	CMF para establecimie	combinación CMF	TOTAL Combinacion CMFs
CMF _{1P}	CMF _{2P}	CMF _{3P}		
Tabla 12-28	Tabla 12-29	Tabla 12-30	(1) * (2) * (3)	11*7
2,78	1,35	1,56	5,85	5,85

Tabla 6. Hoja de Cálculo2C

ACCIDENTES DE MULTIPLES VEHICULOS POR NIVEL DE GRAVEDAD					
1	2			3	4
NIVEL DE GRAVEDAD DEL ACCIDENTE	SPF coeficientes			parametro de sobredispersión, k	inicial N _{bimv}
	tabla 12-10				
	a	b	c	tabla 12-10	Ec. 12-21
Total	-8,90	0,82	0,25	0,40	3,665
fatal y/o lesiones (FI)	-11,13	0,93	0,28	0,48	1,500
solo daños materiales (PDO)	-8,74	0,77	0,23	0,40	2,213

ACCIDENTES DE MULTIPLES VEHICULOS POR NIVEL DE GRAVEDAD					
1	5	6	7	8	9
NIVEL DE GRAVEDAD DEL ACCIDENTE	proporcion del total accidentes	N _{bimv} ajustado	combinacion CMFs	Factor de calibracion C _i	N _{bimv} predecido
		(4) _{total} - (5)	Hoja de calculo 2B (7)		6*7*8
Total	1,000	3,665	5,855	1,000	21,457
fatal y/o lesiones (FI)	(4) _{FI} /((4) _{FI} + (4) _{PDO})	1,480	5,855	1,000	8,667
	0,404				
solo daños materiales (PDO)	(5) _{total} - (5) _{FI}	2,184	5,855	1,000	12,789
	0,596				

Tabla 7. Hoja de Cálculo 2D

TIPOS DE ACCIDENTES DE MÚLTIPLE-VEHÍCULO					
1	2	3	4	5	6
TIPO ACCIDENTE	Proporción de tipo de choque (FI)	Predicho $N_{bimv(FI)}$ accidentes/año	Proporción de tipo de choque (PDO)	Predicho $N_{bimv(PDO)}$ accidentes/año	Predicho $N_{bimv(total)}$ accidentes/año
	Tabla 12-11	(9) _{FI} de Hoja de calculo 2C	Tabla 12-11	(9) _{PDO} de Hoja de calculo 2C	(9) _{total} de Hoja de calculo 2C
Total	1,000	8,667	1,000	12,789	21,457
		(2) * (3) _{FI}		(4) * (5) _{PDO}	(3) + (5)
Choque trasero	0,338	2,930	0,374	4,783	7,713
Choque delantero	0,041	0,355	0,030	0,384	0,739
Choque con ángulo	0,440	3,814	0,335	4,284	8,098
Choque lateral	0,121	1,049	0,044	0,563	1,611
Otro choque					
Múltiple-vehículo	0,060	0,520	0,217	2,775	3,295

Tabla 8. Hoja de Cálculo 2E

ACCIDENTES DE UN SOLO VEHICULO POR NIVEL DE GRAVEDAD					
1	2			3	4
NIVEL DE GRAVEDAD DEL ACCIDENTE	SPF coeficientes			parametro de sobredispersión, k	inicial N_{bisv}
	tabla 12-12				Ec. 12-24; (FI)
	a	b	c	tabla 12-12	Ec. 12-25 o 12-27
Total	-5,33	0,33	0,12	0,65	0,349
fatal y/o lesiones (FI)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,098
solo daños materiales (PDO)	-7,04	0,36	0,25	0,54	0,271

ACCIDENTES DE UN SOLO VEHICULO POR NIVEL DE GRAVEDAD					
1	5	6	7	8	9
NIVEL DE GRAVEDAD DEL ACCIDENTE	proporción del total accidentes	N_{bimv} ajustado	combinación CMFs	Factor de calibración C_i	N_{bisv} predecido
		(4) _{total} + (5)	Hoja de calculo 2B (7)		$6 * 7 * 8$
Total	1,000	0,349	5,855	1	2,045
fatal y/o lesiones (FI)	(4) _{FI} / ((4) _{FI} + (4) _{PDO})	0,093	5,855	1	0,543
	0,265				
solo daños materiales (PDO)	(5) _{FI} - (5) _{PDO}	0,257	5,855	1	1,502
	0,735				

Tabla 9. Hoja de Cálculo2F

TIPOS DE ACCIDENTES DE UN VEHÍCULO					
1	2	3	4	5	6
TIPO ACCIDENTE	Proporción de tipo de choque (F_I)	Predecido $N_{bisv(FI)}$ accidentes/año	Proporción de tipo de choque (PDO)	Predecido $N_{bisv(PDO)}$ accidentes/año	Predecido $N_{bisv(total)}$ accidentes/año
	Tabla 12-13	$(9)_{FI}$ de Hoja de calculo 2E	Tabla 12-13	$(9)_{PDO}$ de Hoja de calculo 2E	$(9)_{total}$ de Hoja de calculo 2E
Total	1,000	0,543 $(2) * (3)_{FI}$	1,000	1,502 $(4) * (5)_{PDO}$	2,045 $(3) + (5)$
Choque con un vehículo parqueado	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
Choque con un animal	0,001	0,001	0,026	0,039	0,040
Choque con un objeto fijo	0,679	0,368	0,847	1,272	1,641
Choque con otro objeto	0,089	0,048	0,070	0,105	0,153
Otro choque un-vehículo	0,051	0,028	0,007	0,011	0,038
No accidente de un vehículo	0,179	0,097	0,049	0,074	0,171

Tabla 10. Hoja de Cálculo 2G

ACCIDENTES VEHICULO-PEATON EN INTESECCIONES CON PARADA CONTROLADA						
1	2	3	4	5	6	7
Nivel gravedad del accidente	N_{bimv} predicho	N_{bisv} predicho	N_{bi} predicho	f_{pedi}	Factor de calibracion C_i	N_{pedi} predicho
	Hoja de calculo 2C (9)	Hoja de calculo 2E (9)	$(2) + (3)$	Tabla 12-16		$(4)*(5)*(6)$
total	21,457	2,045	23,501	0,022	1	0,517
fatal y/o lesiones (FI)					1	0,517

Tabla 11. Hoja de Cálculo 2H

ACCIDENTE VEHÍCULO-BICICLETA						
1	2	3	4	5	6	7
Nivel de gravedad del accidente	N_{bimv} Predicado	N_{bisv} Predicado	N_{bi} Predicado	f_{bike}	Factor de calibración, C_i	N_{pedi} Predicado
	(9) de Hoja de calculo 2C	(9) de Hoja de calculo 2E	$(2) + (3)$	Tabla 12-17		$(4) * (5) * (6)$
Total	21,457	2,045	23,501	0,018	1,000	0,423
Fatal y/o lesión					1,000	0,423

Tabla 12. Hoja de Cálculo2K

DISTRIBUCION DE LA GRAVEDAD DE ACCIDENTES			
1	2	3	4
TIPO DE ACCIDENTE	Fatal y/o lesiones (FI)	Solo daños materiales (PDO)	Total
	(3) Hoja de calculo 2D y 2F; (7) 2G o 2I y 2J	(5) Hoja de calculo 2D y 2F	(6) Hoja de calculo 2D y 2F; (7) 2G o 2I y 2J
ACCIDENTES DE MULTIPLES VEHICULOS			
Choque trasero (worksheet 2D)	2,930	4,783	7,713
Choque delantero (worksheet 2D)	0,355	0,384	0,739
Choque con angulo (worksheet 2D)	3,814	4,284	8,098
Choque lateral (worksheet 2D)	1,049	0,563	1,611
otros tipos de choque (worksheet 2D)	0,520	2,775	3,295
SUBTOTAL	8,667	12,789	21,457
ACCIDENTES DE UN SOLO VEHICULO			
Choque con un vehiculo parqueado	0,001	0,002	0,002
Choque con un animal (worksheet 2F)	0,001	0,039	0,040
Choque con objeto fijo (worksheet 2F)	0,368	1,272	1,641
Choque con otro objeto (worksheet 2F)	0,048	0,105	0,153
Otro tipo de choque (worksheet 2F)	0,028	0,011	0,038
No choque (worksheet 2F)	0,097	0,074	0,171
Choque con peaton (worksheet 2G o 2I)	0,517	0,000	0,517
Choque con bicicleta (worksheet 2J)	0,423	0,000	0,423
SUBTOTAL	1,483	1,502	2,985
TOTAL	10,150	14,292	24,441

Tabla 13. Hoja de Cálculo2L

RESUMEN DE RESULTADOS PARADA CONTROLADA 2013	
1	2
Nivel de gravedad del accidente	Frecuencia predicha de accidentes promedio $N_{\text{predicted int}}$
	(Total) de Hoja de calculo 2K
Total	24
Fatal y/o lesión (FI)	10
Solo daños materiales (PDO)	14

*FI: fatal and/ or injury

*PDO: property damage only

6.2.2 Escenario futuro

6.2.2.1 Paso 9 – Determinar las funciones SPF

Para el sector seleccionado, se determina y se aplica el SPF, según el tipo de configuración geométrica, tráfico y elementos de control.

Los SPF para una intersección de cuatro entradas semaforizada se evalúan a continuación para los diferentes tipos de colisión como: choque de varios vehículos, un solo vehículo, vehículo – peatón y vehículo – bicicleta.

Accidentes múltiple vehículos

Los accidentes con múltiples vehículos se calculan con la ecuación 1. Los coeficientes a,b y c para intersecciones semaforizada son tomados de la tabla 12-10 del anexo 1.

$$N_{bimv} = 4,290$$

Accidentes un solo vehículo

Los accidentes de un solo vehículo son determinados por la ecuación 2. Los coeficientes a,b y c son obtenidos de la tabla 12-12 del anexo 1.

$$N_{bisv} = 0,304$$

6.2.2.2 Paso 10- Aplicar los CMFs

CMFs para intersecciones

Los valores a continuación descritos son tomados del HSM.

CMF_{1i} = aplica para la instalación de carril de giro a la izquierda, debido a que no se va a instalar ninguna entrada el valor asumido es **1**

CMF_{2i} = carril de giro a la izquierda *signal phasing*, para intersecciones no semaforizada es igual a **1**

CMF_{3i} = aplica para la instalación de carril de giro a la derecha, debido a que no se va a instalar ninguna entrada el valor asumido es **1**

CMF_{4i} = carril de giro a la derecha en luz roja, por la ausencia de esta señal se asume **1**

CMF_{5i} = la condición base de este factor es la ausencia de la iluminación, debido a que hay presencia de iluminación se toma como valor uno

$$CMF_{5i} = 1$$

CMF_{6i} = cámaras de luz roja; en la intersección no hay presencia de cámaras por lo que el valor correspondiente es **1**

La combinación de CMFs es igual a

$$CMF_{comb} = CMF_{1i} \times CMF_{2i} \times CMF_{3i} \times CMF_{4i} \times CMF_{5i} \times CMF_{6i}$$

$$CMF_{comb} = 1$$

CMFs para colisión peatón-vehículo en intersecciones

CMF_{1P} = paradas de bus tabla 12-28 ver anexo 1

$$CMF_{1P} = 2,78$$

CMF_{2P} = centros educativos tabla 12-29 ver anexo 1

$$CMF_{2P} = 1,35$$

CMF_{3P} = establecimientos de expendio de alcohol tabla 12-30 ver anexo 1

$$CMF_{3P} = 1,56$$

Accidentes vehículo – peatón y vehículo – bicicleta.

Los accidentes con peatones se desarrollan por medio de la ecuación 10 y 11.

$$N_{pedbase} = \exp(a + b \times \ln(TPDA_{total}) + c \times \ln\left(\frac{TPDA_{menor}}{TPDA_{mayor}}\right) + d \times \ln(pedvol) + e \times nlanes) \quad (10)$$

$$N_{pedbase} = \exp(-9,53 + 0,4 \times \ln(24189) + 0,26 \times \ln\left(\frac{7758}{16431}\right) + 0,45 \times \ln(1464) + 0,04 \times 5)$$

Los coeficientes a, b, c, d y e se adjuntan de la tabla 12-14 en el anexo 2.

$N_{pedbase} = 0,1099$ Accidentes/año.

$$N_{pedi} = N_{pedbase} \times CMF1p \times CMF2p \times CMF3p \quad (11)$$

$$N_{pedi} = 0,1099 \times 2,78 \times 1,35 \times 1,56$$

$$N_{pedi} = 0,644 \text{ Accidentes/año}$$

Para la predicción de accidentes vehículo-bicicleta se realiza por medio de la ecuación 3 y 6.

$$N_{spf\ int} = 4,290 + 0,304 = 4,504 \text{ Accidentes por año}$$

$$N_{bi} = 4,504 \times 1 = 4,504 \text{ accidentes por año}$$

El SPF para colisiones vehículo/bicicleta se realiza por la ecuación 8 con un $f_{bikei} = 0,015$ según la tabla 12-17 del anexo 1.

$$N_{bike\ i} = 0,069$$

6.2.2.3 Paso 11 – aplicar factor calibrador

Tomar el valor obtenido en el paso anterior y multiplicarlo por el factor calibrador mediante la ecuación (9).

Se asume un factor de calibración 1,00.

$$N_{predicho\ int} = 5 \text{ accidentes por año.}$$

HOJAS DE CÁLCULO

Los datos analizados anteriormente fueron desarrollados por medio las siguientes 12 hojas de cálculo para intersecciones semaforizada según el HSM:

Las tablas y las ecuaciones referidas para el desarrollo de las hojas de cálculo están soportadas por los anexos del 1 al 6.

Tabla 14. Hoja de Cálculo2A

INFORMACIÓN GENERAL			
INFORMACIÓN GENERAL		INFORMACIÓN DEL SITIO	
ANALISTA	Larieth Amparo Pérez Eugenio	CARRETERA	Carrera 21
	Ángela Esteban Mendoza	INTERSECCIÓN	Carrera 21 con Calle 11
COMPAÑÍA	Universidad Pontificia Bolivariana	JURISDICCIÓN	B/manga, Sder, Colombia
FECHA DE ESTUDIO	Septiembre	AÑO DE ANALISIS	2012
DATOS DE ENTRADA		CONDICIONES BASE	CONDICIONES DEL SITIO
TIPO DE INTERSECCIÓN (3ST,3SG,4ST,4SG)			4SG
TPDA _{mayor} (veh/día)			16431
TPDA _{menor} (veh/día)			7758
ILUMINACIÓN EN LA INTERSECCIÓN		no presenta	presente
FACTOR DE CALIBRACIÓN, C _i		1	1
DATOS PARA INTERSECCION SEMAFORIZADA			
NÚMERO DE APROXIMACIONES CON GIRO A LA IZQUIERDA (0,1,2)		0	1
NÚMERO DE APROXIMACIONES CON GIRO A LA DERECHA (0,1,2)		0	1
NÚMERO DE APROXIMACIONES CON GIRO A LA IZQUIERDA (SIGNAL PHASING) (0,1,2)			1
NÚMERO DE APROXIMACIONES CON GIRO A LA DERECHA EN ROJO PROHIBIDO(0,1,2)		0	0
TIPO DE GIRO A LA IZQUIERDA (SIGNAL PHASING)		permisivo	permisivo/protegido
INTERSECCIÓN CÁMARA DE LUZ ROJA		no presenta	no presenta
VOLUMEN DE PEATONES QUE CRUZAN			1464
MÁXIMO NÚMERO DE CARRILES PARA EL CRUCE DE PEATONES (N _{lanes})			5
NÚMERO DE PARADA DE BUS DENTRO DE 300 m (1000 ft) DE LA INTERSECCIÓN		0	2
ESCUELAS DENTRO DE 300 m (1000 ft) DE LA INTERSECCIÓN (PRESENTA/NO PRESENTA)		no presenta	presenta
NÚMERO DE ESTABLECIMIENTOS DE VENTA DE ALCOHOL DENTRO DE 300 m (1000 ft) DE LA INTERSECCIÓN		0	18

Tabla 15. Hoja de Cálculo2B

FACTORES DE MODIFICACION (CMFs)						
1	2	3	4	5	6	7
CMF carril giro izquierda	CMF carril giro izquierda signal phasing	CMF carril giro derecha	CMF carril giro derecha en luz roja	CMF para iluminacion	CMF camaras de luz roja	combinacion CMFs
CMF _{1i}	CMF _{2i}	CMF _{3i}	CMF _{4i}	CMF _{5i}	CMF _{6i}	CMF _{comb}
Tabla 12-24	Tabla 12-25	Tabla 12-26	Ecuación 12-35	Ecuación 12-36	Ecuación 12-37	1*2*3*4*5*6
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabla 16. Hoja de Cálculo2C

ACCIDENTES DE MULTIPLES VEHICULOS POR NIVEL DE GRAVEDAD					
1	2			3	4
NIVEL DE GRAVEDAD DEL ACCIDENTE	SPF coeficientes			parametro de sobredispersión, k	inicial N_{bimv}
	tabla 12-10				
	a	b	c	tabla 12-10	Ec. 12-21
Total	-10,99	1,07	0,23	0,33	4,290
fatal y/o lesiones (FI)	-13,14	1,18	0,22	0,33	1,329
solo daños materiales (PDO)	-11,02	1,02	0,24	0,44	2,803
ACCIDENTES DE MULTIPLES VEHICULOS POR NIVEL DE GRAVEDAD					
1	5	6	7	8	9
NIVEL DE GRAVEDAD DEL ACCIDENTE	proporcion del total accidentes	N_{bimv} ajustado	combinacion CMFs	Factor de calibracion	N_{bimv} predicho
		$(4)_{total} * (5)$	Hoja de calculo 2B (7)	C_i	$6 * 7 * 8$
Total	1,000	4,290	1,00	1,000	4,290
fatal y/o lesiones (FI)	$(4)_{FI} / ((4)_{FI} + (4)_{PDO})$	1,380	1,00	1,000	1,380
	0,322				
solo daños materiales (PDO)	$(5)_{total} - (5)_{FI}$	2,910	1,00	1,000	2,910
	0,678				

Tabla 17. Hoja de Cálculo2D

TIPOS DE ACCIDENTES DE MÚLTIPLE-VEHÍCULO					
1	2	3	4	5	6
TIPO ACCIDENTE	Proporción de tipo de choque (FI)	Predicho $N_{bimv(FI)}$ accidentes/año	Proporción de tipo de choque (PDO)	Predicho $N_{bimv(PDO)}$ accidentes/año	Predicho $N_{bimv(total)}$ accidentes/año
	Tabla 12-11	$(9)_{FI}$ de Hoja de calculo 2C	Tabla 12-11	$(9)_{PDO}$ de Hoja de calculo 2C	$(9)_{total}$ de Hoja de calculo 2C
Total	1,000	1,380	1,000	2,910	4,290
		$(2) * (3)_{FI}$		$(4) * (5)_{PDO}$	$(3) + (5)$
Choque trasero	0,450	0,621	0,483	1,406	2,027
Choque delantero	0,049	0,068	0,030	0,087	0,155
Choque con ángulo	0,347	0,479	0,244	0,710	1,189
Choque lateral	0,099	0,137	0,032	0,093	0,230
Otro choque	0,055	0,076	0,211	0,614	0,690
Múltiple-vehículo					

Tabla 18. Hoja de Cálculo2E

ACCIDENTES DE UN SOLO VEHICULO POR NIVEL DE GRAVEDAD						
1	2			3	4	
NIVEL DE GRAVEDAD DEL ACCIDENTE	SPF coeficientes			parametro de sobredispersión, k	inicial N_{bisv}	
	tabla 12-12				Ec. 12-24; (FI) Ec. 12-25 o 12-27	
	a	b	c	tabla 12-12		
Total	-10,21	0,68	0,27	0,36	0,304	
fatal y/o lesiones (FI)	-9,25	0,43	0,29	0,09	0,084	
solo daños materiales (PDO)	-11,34	0,78	0,25	0,44	0,217	
ACCIDENTES DE UN SOLO VEHICULO POR NIVEL DE GRAVEDAD						
1	5		6	7	8	9
NIVEL DE GRAVEDAD DEL ACCIDENTE	proporcion del total accidentes		N_{bimv} ajustado	combinacion CMFs	Factor de calibracion	N_{bisv} predecido
			(4) _{total} * (5)	Hoja de calculo 2B (7)	C_i	6*7*8
Total	1,000		0,304	1,00	1	0,304
fatal y/o lesiones (FI)	$(4)_{FI} / ((4)_{FI} + (4)_{PDO})$		0,085	1,00	1	0,085
	0,279					
solo daños materiales (PDO)	$(5)_{FI} - (5)_{PDO}$		0,219	1,00	1	0,219
	0,721					

Tabla 19. Hoja de Cálculo2F

TIPOS DE ACCIDENTES DE UN VEHICULO					
1	2	3	4	5	6
TIPO ACCIDENTE	Proporción de tipo de choque (FI)	Predecido $N_{bisv(FI)}$ accidentes/año	Proporción de tipo de choque (PDO)	Predecido $N_{bisv(PDO)}$ accidentes/año	Predecido $N_{bisv(total)}$ accidentes/año
	Tabla 12-13	(9) _{FI} de Hoja de calculo 2E	Tabla 12-13	(9) _{PDO} de Hoja de calculo 2E	(9) _{total} de Hoja de calculo 2E
Total	1,000	0,085	1,000	0,219	0,304
		(2) * (3) _{FI}		(4) * (5) _{PDO}	(3) + (5)
Choque con un vehículo parqueado	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
Choque con un animal	0,002	0,000	0,002	0,000	0,001
Choque con un objeto fijo	0,744	0,063	0,87	0,191	0,254
Choque con otro objeto	0,072	0,006	0,07	0,015	0,021
Otro choque un-vehículo	0,04	0,003	0,023	0,005	0,008
No accidente de un vehículo	0,141	0,012	0,034	0,007	0,019

Tabla 20. Hoja de Cálculo2I

ACCIDENTES VEHICULO-PEATON PARA INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS										
1	2					3	4	5	6	7
Nivel gravedad del accidente	Coeficientes SPF					parametro de sobredispersión, k	N _{pedbase} Ec. 12-30	combinacion CMFs Hoja de calculo 2H (4)	Factor de calibracion C _i	N _{Pedi} Predecido 4*5*6
	Tabla 12-14									
	a	b	c	d	e					
total	-9,53	0,4	0,26	0,45	0,04	0,24	0,10997	5,85	1,00	0,644
fatal y/o lesiones (FI)										0,644

Tabla 21. Hoja de Cálculo2H

FACTORES DE MODIFICACIÓN DE ACCIDENTES (CMF) PARA COLISIÓN PEATÓN-VEHÍCULO EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS			
1	2	3	4
CMF para parada de bus	CMF para centros educativos	CMF para establecimientos de venta de alcohol	combinación CMF
CMF _{1P}	CMF _{2P}	CMF _{3P}	
Tabla 12-28	Tabla 12-29	Tabla 12-30	(1) * (2) * (3)
2,78	1,35	1,56	5,85

Tabla 22. Hoja de Cálculo2J

ACCIDENTE VEHÍCULO-BICICLETA						
1	2	3	4	5	6	7
Nivel de gravedad del accidente	N _{bimv} Predecido	N _{bisv} Predecido	N _{bi} Predecido	f _{bike}	Factor de calibración, C _i	N _{Pedi} Predecido
	(9) de Hoja de calculo 2C	(9) de Hoja de calculo 2E	(2) + (3)	Tabla 12-17		(4) * (5) * (6)
Total	4,290	0,304	4,594	0,015	1,000	0,069
Fatal y/o lesión					1,000	0,069

Tabla 23. Hoja de Cálculo 2K

DISTRIBUCION DE LA GRAVEDAD DE ACCIDENTES			
1	2	3	4
TIPO DE ACCIDENTE	Fatal y/o lesiones (FI)	Solo daños materiales (PDO)	Total
	(3) Hoja de calculo 2D y 2F; (7) 2G o 2I y 2J	(5) Hoja de calculo 2D y 2F	(6) Hoja de calculo 2D y 2F; (7) 2G o 2I y 2J
ACCIDENTES DE MULTIPLES VEHICULOS			
Choque trasero (worksheet 2D)	0,621	1,406	2,027
Choque delantero (worksheet 2D)	0,068	0,087	0,155
Choque con angulo (worksheet 2D)	0,479	0,710	1,189
Choque lateral (worksheet 2D)	0,137	0,093	0,230
otros tipos de choque (worksheet 2D)	0,076	0,614	0,690
SUBTOTAL	1,380	2,910	4,290
ACCIDENTES DE UN SOLO VEHICULO			
Choque con un vehiculo parqueado	0,000	0,000	0,000
Choque con un animal (worksheet 2F)	0,000	0,000	0,001
Choque con objeto fijo (worksheet 2F)	0,063	0,191	0,254
Choque con otro objeto (worksheet 2F)	0,006	0,015	0,021
Otro tipo de choque (worksheet 2F)	0,003	0,005	0,008
No choque (worksheet 2F)	0,012	0,007	0,019
Choque con peaton (worksheet 2G o 2I)	0,644	0,000	0,644
Choque con bicicleta (worksheet 2J)	0,069	0,000	0,069
SUBTOTAL	0,798	0,219	1,017
TOTAL	2,178	3,129	5,307

Tabla 24. Hoja de Cálculo 2L

RESUMEN DE RESULTADOS	
1	2
Nivel de gravedad del accidente	Frecuencia predicha de accidentes promedio
	$N_{\text{predicted int}}(\text{accidentes/año})$ (Total) de Hoja de calculo 2K
Total	5,307
Fatal y/o lesión _(FI)	2,178
Solo daños materiales _(PDO)	3,129

7. RESULTADOS

7.1 Escenario base

7.1.1 Periodo actual año 2013

Tabla 25. Resultados año 2013

RESUMEN DE RESULTADOS PARADA CONTROLADA 2013	
1	2
Nivel de gravedad del accidente	Frecuencia predicha de accidentes promedio $N_{\text{predicted int}}$
	(Total) de Hoja de calculo 2K
Total	24
Fatal y/o lesión _(FI)	10
Solo daños materiales _(PDO)	14

7.1.2 Proyección a cinco años (2017)

Tabla 26. Resultados año 2017

RESUMEN DE RESULTADOS PARADA CONTROLADA 2017	
1	2
Nivel de gravedad del accidente	Frecuencia predicha de accidentes promedio $N_{\text{predicted int}}$ (accidentes/año)
	(Total) de Hoja de calculo 2K
Total	28
Fatal y/o lesión _(FI)	12
Solo daños materiales _(PDO)	16

7.1.3 Proyección a diez años (2022)

Tabla 27. Resultados año 2022

RESUMEN DE RESULTADOS PARADA CONTROLADA 2022	
1	2
Nivel de gravedad del accidente	Frecuencia predicha de accidentes promedio $N_{\text{predicted int (accidentes/año)}}$
	(Total) de Hoja de cálculo 2K
Total	34
Fatal y/o lesión _(FI)	14,87
Solo daños materiales _(PDO)	19,56

Para cada año estudiado se siguió la metodología anterior; se realizaron los paso de 9 al 11 y las correspondientes hojas de cálculo del HSM. Lo único que varía en cada caso son los TPDA y el volumen de patones correspondientes a cada año. Estas proyecciones se pueden encontrar en anexo 7.

Tabla 28. Resumen de resultados

Escenario actual: interseccion de cuatro entradas con parada controlada 4ST (four leg stop/ controlled intercection)	
PERIODO	$N_{\text{predicted int (accidentes/año)}}$
Año actual 2013	24
Proyeccion a 5 años 2017	28
Proyeccion a 10 años 2022	34

7.2 Escenario futuro

7.2.1 Periodo actual año 2013

Tabla 29. Resultados año 2013

RESUMEN DE RESULTADOS	
1	2
Nivel de gravedad del accidente	Frecuencia predicha de accidentes promedio
	$N_{\text{predicted int (accidentes/año)}}$ (Total) de Hoja de calculo 2K
Total	5,307
Fatal y/o lesión _(FI)	2,178
Solo daños materiales _(PDO)	3,129

7.2.2 Proyección a cinco años (2017)

Tabla 30. Resultados 2017

RESUMEN DE RESULTADOS	
1	2
Nivel de gravedad del accidente	Frecuencia predicha de accidentes promedio
	$N_{\text{predicted int (accidentes/año)}}$ (Total) de Hoja de calculo 2K
Total	5,844
Fatal y/o lesión _(FI)	2,415
Solo daños materiales _(PDO)	3,429

7.2.3 Proyección a diez años (2022)

Tabla 31. Resultados 2022

RESUMEN DE RESULTADOS	
1	2
Nivel de gravedad del accidente	Frecuencia predicha de accidentes promedio
	$N_{\text{predicted int (accidentes/año)}}$ (Total) de Hoja de calculo 2K
Total	7,313
Fatal y/o lesión _(FI)	2,993
Solo daños materiales _(PDO)	4,320

Para cada año estudiado se siguió la metodología anterior; se realizaron los paso de 9 al 11 y las correspondientes hojas de cálculo del HSM. Lo único que varía en cada caso son los TPDA y el volumen de patones correspondientes a cada año. Estas proyecciones se pueden encontrar en anexo 7.

Tabla 32. Resumen de resultados 4SG

Escenario futuro: intersección de cuatro entradas con semáforos 4SG (four leg / Signalized intersection)	
PERIODO	$N_{\text{predicted int (accidentes/año)}}$
Año actual 2013	5
Proyección a 5 años 2017	6
Proyección a 10 años 2022	7

8. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el método de predicción para cada una de las situaciones expuestas se concluye que:

- Según la metodología seguida en el manual HSM, se puede deducir que el factor determinante en el número de accidentes son: CMF (*Crash Modification Factor*), los cuales tienen en cuenta elementos tanto de diseño como de operación.
- Al comparar los dos escenarios en estudio se encontró que tan solo para el año actual (2013), en el escenario de intersección semaforizada hay un decremento del 79% en los choques con respecto en el escenario en estudio, intersección con parada controlada.
- La semaforización de la zona es la alternativa más óptima para dar solución a los problemas previamente mencionados, ya que genera una disminución notable sobre los accidentes ocurridos en el sitio.
- La alternativa cumple con los requisitos exigidos para la instalación y operación de los semáforos; ya que existe un flujo superior a los 900 veh/hora sobre la carretera principal (carrera 21), un flujo mayor a 100 veh/hora en la vía secundaria (calle 11) y se supera los 150 peatones/hora debido a los centros educativos cercanos a esta intersección.
- La opción de instalar semáforos en el cruce, así como también en intersecciones aledañas, debe ser considerada para proporcionar una mejora en el nivel de servicio del sector en estudio, sin desconocer el componente social, ya que, es la seguridad de los conductores y peatones la que está en riesgo. Entonces, ¿vale más la adecuación de un cruce semaforizado o una vida humana?

- La instalación de semáforos hechos por parte de la comunidad ha proporcionado una disminución en el número de accidentes durante la noche. Sin embargo, no es la anulación total de estos, ya que durante el día se continúan presentando accidentes, puesto que los semáforos actuales no cumplen con la normativa legal vigente (Manual de Señalización Vial: Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia, 2004).

9. RECOMENDACIONES

- El Manual de Seguridad Vial (HSM) es una herramienta útil y práctica para el cálculo de los índices de accidentalidad. Sin embargo, el uso de éste, es más efectivo si los factores de modificación de accidentes (CMF) y las funciones de rendimiento de la seguridad (SPF) son adaptados a las condiciones físicas de la zona en estudio; puesto que, los coeficientes, constantes y gráficas que dispone el manual son fundamentados en el tránsito e infraestructura vial de los Estados Unidos.

Para lo cual, lo anterior abre una gran oportunidad en el campo de la investigación, debido a la gran diferencia en cuanto al tránsito y la infraestructura vial de este país con respecto a las condiciones de Colombia; por este razón se recomienda realizar proyectos de investigación estadísticos con las entidades de tránsito de nuestro país para recopilar dichos datos.

- Con el ánimo de aumentar la Seguridad Vial en el sector se propone mejorar los elementos constitutivos de la vía tales como: el estado de la capa de rodadura, la señalización vertical y demarcación horizontal, drenajes de la vía, entre otros, con el fin de que el conductor y los peatones tenga tiempo de reacción suficiente para tomar la mejor decisión en el momento de llegar a esta intersección.
- En la alternativa de semaforizar la intersección se debe atender a cabalidad una fase para el cruce peatonal dado al gran número de personas que atraviesan ese sector.

BIBLIOGRAFIA

SALAS, Miller. Estudio de accidentalidad vial para la intersección de la Carrera 21 con calle 11 en el municipio de Bucaramanga, Santander. Corporación Fondo de Prevención Vial. [PDF], 2010

ESTEBAN, Pablo. Factores de modificación de accidentes, retorno la Turena. Bucaramanga, 2011,7p. Artículo (Especialista en Vías Terrestres). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil. Escuela de ingenierías.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION FHWA. Signalized intersection: Informational Guide [en línea]. Publicación N° FHWA-HRT-04-091. [Consultado junio 2012]. Disponible en <<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/04091/08.cfm>>

AASHTO. Geometric Design of highways and streets: intersections [en línea]. 2004. [Consultado junio 2012]. Disponible en <<http://dc177.4shared.com/doc/98LWWIxp/preview.html>>

DEPARTMENT OF TRANSPORTATION PENNSYLVANIA. Intersectiontype[en línea]. [Consultado julio 2012]. Disponible en <http://www.dot6.state.pa.us/crsapp/html/AA500RefManual/AA_500_Page_1/Section_3_files/Intersection_Type.htm>

Designing walkable urban thoroughfares: intersection design guidelines [en línea]. [Consultado Julio 2012]. Disponible en <<http://www.ite.org/css/online/DWUT10.html>>

AASHTO. Highway Safety Manual: chapter 12 intersections.2010

ANEXOS

Anexo 1. Tablas parte C del HSM

Tabla 12-10

SPF Coeficientes para accidentes de múltiple-vehículo en intersecciones				
TIPO INTERSECCION	Interceptar (a)	TPDA _{mayor} (b)	TPDA _{menor} (c)	Parámetro de sobredispersión (k)
Accidente total				
4ST	-8,90	0,82	0,25	0,40
4SG	-10,99	1,07	0,23	0,39
Accidente fatal y/o lesión				
4ST	-11,13	0,93	0,28	0,48
4SG	-13,14	1,18	0,22	0,33
Accidentes con solo daños materiales				
4ST	-8,74	0,77	0,23	0,40
4SG	-11,02	1,02	0,24	0,44

tabla 12-11

proporción de accidentes por nivel de gravedad para múltiples vehículos, según el tipo de intersección				
TIPO DE COLISION	4ST		4SG	
	Fi ^a	PDO ^b	Fi ^a	PDO ^b
Colisión trasera	0,338	0,374	0,45	0,483
colisión delantera	0,041	0,03	0,049	0,03
colisión con ángulo	0,44	0,335	0,347	0,244
choque lateral	0,121	0,044	0,099	0,032
otros accidentes de vehículos múltiples	0,06	0,217	0,055	0,211

^a accidentes fatales o con lesiones

^b accidentes que solo implican daños materiales

Tabla 12-12

SPF Coeficientes para accidentes de un solo vehículo en intersecciones				
TIPO INTERSECCION	Interceptar (a)	TPDA _{mayor} (b)	TPDA _{menor} (c)	Parámetro de sobredispersión (k)
Accidente total				
4ST	-5,33	0,33	0,12	0,65
4SG	-10,21	0,68	0,27	0,36
Accidente fatal y/o lesión				
4ST				
4SG	-9,25	0,43	0,29	0,09
Accidentes con solo daños materiales				
4ST	-7,04	0,36	0,25	0,54
4SG	-11,34	0,78	0,25	0,44

Anexo 2. Tablas parte C del HSM

Tabla 12-13

proporción de accidentes en un nivel de gravedad de un vehículo, para las diferentes intersecciones				
TIPO DE CHOQUE	4ST		4SG	
	Fi ^a	PDO ^b	Fi ^a	PDO ^b
Colisión con vehículo parqueado	0,001	0,001	0,001	0,001
colisión con animal	0,001	0,026	0,002	0,002
colisión con un objeto fijo	0,679	0,847	0,744	0,870
colisión con otro objeto	0,089	0,07	0,072	0,070
otro choque de un solo vehículo	0,051	0,007	0,040	0,023
sin colisión	0,179	0,049	0,141	0,034

Tabla 12-14

SPF para accidentes de vehículo-peatón en intersecciones semaforizadas						
Tipo intersección	Interceptar (a)	TPDA _{total} (b)	TPDA _{men} /TPDA _{may} (c)	Ped vol (d)	n lanesx €	Parámetro de sobredispersión (k)
3SG	-0,6	0,05	0,24	0,41	0,09	0,52
4SG	-9,53	0,4	0,26	0,45	0,04	0,24

tabla 12-16.

f _{pedi}	
Tipo intersección	f _{pdi}
3ST	0,021
4ST	0,022

Tabla 12-17

Factor de ajuste para accidentes con bicicleta	
Tipo intersección	f _{bike_i}
3ST	0,016
3GS	0,011
4ST	0,018
4SG	0,015

f_{bike_i} = factor de ajuste para accidentes con bicicleta

Anexo 3. Tablas parte C del HSM

Tabla 12-24

CMF _{1i} para carril de giro a la izquierda en las aproximaciones de la intersección					
TIPO DE INTERSECCIÓN	CONTROL DE TRAFICO EN LA INTERSECCION	Número de aprox. con carril de giro a la izquierda ^a			
		1 aprox.	2 aprox.	3 aprox.	4 aprox.
Four-leg	Parada controlada en la carretera menor ^b	0,73	0,53		
	Semáforos	0,9	0,81	0,73	0,66

^a stop controlled approaches aren't considered in determining the number of approaches with left-turn lanes.

^b Las señales de pare sólo están presentes en la aproximación de la carretera secundaria.

Tabla 12-25

CMF _{2i} para carril de giro a la izquierda (signal phasing)	
Tipo de giro a la izquierda (signal phasing)	CMF _{2i}
Permisiva	1,00
Protegida/permisiva o Permisiva/protegida	0,99
Protegida	0,94

Nota: para una intersección no semaforizada el CMF_{2i} = 1,00. si varias aproximaciones de la intersección semaforizada tiene left-turn phasing, los valores de CMF_{2i} para cada aproximación son multiplicados entre si.

Tabla 12-26

CMF _{3i} para carril de giro a la derecha en las aproximaciones de la intersección					
TIPO DE INTERSECCIÓN	Control de Tráfico en la intersección	Número de aprox. con carril de giro a la derecha ^a			
		1 aprox.	2 aprox.	3 aprox.	4 aprox.
Four-leg	Parada controlada en la carretera menor ^b	0,86	0,74	0,88	
	Semáforos	0,96	0,92	0,73	0,85

^a stop controlled approaches aren't considered in determining the number of approaches with left-turn lanes.

^b Las señales de pare sólo están presentes en la aproximación de la carretera secundaria.

Anexo 4. Tablas parte C del HSM

Tabla 12-27

INTERSECCIÓN	proporción de accidentes que ocurren de noche
	P_{ni}
3ST	0,238
4ST	0,229
3SG- 4SG	0,235
CFM Si P_{ni}	

Tabla 12-28

CFM _{1p} presencia de paradas de bus en la intersección	
Número de paradas de bus dentro de 1000 ft de la intersección	CFM _{1p}
0	1,00
1 o 2	2,78
3 o más	4,15

Tabla 12-29

CFM _{2p} presencia de centros educativos cerca a la intersección	
Número de centros educativos dentro de 1000 ft de la intersección	CFM _{2p}
Sin presencia	1,00
Presencia	1,35

Tabla 12-30

CFM _{3p} presencia de establecimientos de venta de alcohol cerca a la intersección	
Número de establecimientos de venta de alcohol dentro de 1000 ft de	CFM _{3p}
0	1,00
1 a 8	1,12
9 o más	1,56

Anexo 5. Ecuaciones de la parte C del HSM

EQ. 12-6 frecuencia predicha de accidentes promedio en 1 interseccion	
$N_{bi} = N_{spf\ int} \times (CMF_{1i} \times CMF_{2i} \times \dots \times CMF_{6i})$	
N _{spf int} = frecuencia total promedio de accidente en intersecciones con condiciones base	
EQ. 12-21 SPF para accidentes de multiples vehiculos	
$N_{bimv} = \exp(a + b \times \ln(TPDA_{mayor}) + c \times \ln(TPDA_{menor}))$ $N_{bimv(FI)} = \exp(a + b \times \ln(TPDA_{mayor}) + c \times \ln(TPDA_{menor}))$ $N_{bimv(PDO)} = \exp(a + b \times \ln(TPDA_{mayor}) + c \times \ln(TPDA_{menor}))$	
<p>N_{bimv} = SPF para choques de multiples vehiculos. a,b, c factores de regresión SPF para determinado sitio y funcion de control de trafico. Para estos valores iniciales de FI y PDO se ajustan los valores de la ecuaciones 12-22, para garantizar la suma total de accidentes.</p>	
EQ. 12-22	$N_{bimv(FI)} = N_{bimv\ (total)} \times \left(\frac{N'_{bimv(FI)}}{N'_{bimv(FI)} + N'_{bimv(PDO)}} \right)$
EQ. 12-24 Para accidentes de un solo vehiculo	
$N_{bisv} = \exp(a + b \times \ln(TPDA_{mayor}) + c \times \ln(TPDA_{menor}))$ $N_{bisv(total)} = \exp(a + b \times \ln(TPDA_{mayor}) + c \times \ln(TPDA_{menor}))$ $N_{bisv(PDO)} = \exp(a + b \times \ln(TPDA_{mayor}) + c \times \ln(TPDA_{menor}))$	
a, b y c son coeficientes de regresion, se hallan con la tabla 12-12	
EQ. 12-25	Para accidentes de un solo vehiculo (FI)
$N_{bisv(FI)} = N_{bisv\ (total)} \times \left(\frac{N'_{bisv(FI)}}{N'_{bisv(FI)} + N'_{bisv(PDO)}} \right)$	

Anexo 6. Ecuaciones parte C del HSM

EQ. 12-27	Cuando no se puede aplicar la EQ. 12-25
$N_{spf\ int} = N_{bimv} + (N_{bisv})$	
N _{spf int} = frecuencia total promedio de accidente en intersecciones con condiciones base	
ecuacion 12-30. numero de colisiones vehiculo-peaton por año para una interseccion de parada controlada	
$N_{pdi} = N_{bi} \times f_{pdi}$	
f _{pdi} = factor de ajuste para accidentes con peatones N _{bi} = frecuencia predicha de accidentes promedio en un a interseccion	
EQ. 12-31. Numero de choques ciclista vehiculo por año en intersecciones	
$N_{bike\ i} = N_{bi} \times f_{bike\ i}$	
f _{bikei} = factor de ajuste para accidentes con bicicleta	
EQ. 12-35 CMF_{4i} Giro a la derecha en rojo	
$CMF_{4i} = 0.98^{n_{prohib}}$	
n _{prohib} = numero de aproximaciones de una interseccion semaforizada para la que el giro a la derecha en rojo esta prohibido	
EQ. 12-36 CMF_{5i} Iluminacion	
$CMF_{5i} = 1 - 0,38 * P_{ni}$	
P _{ni} = es proporcion de los accidentes en las intersecciones que se producen sin luz en la noche	
EQ. 12-37 CMF_{6i} camaras de luz roja	
$CMF_{6i} = 1 - P_{ra} \times (1 - 0,74) - P_{re} \times (1 - 1.18)$	
P _{ra} . Porcion de accidentes de multiples vehiculos	
P _{re} . Porcion de accidentes de multiples vehiculos, choque trasero	

Anexo 7. Proyecciones de tránsito y volumen de peatones

PROYECCION DEL TRANSITO PARA LA CARRERA 21			PROYECCION DEL TRANSITO PARA LA CALLE 11		
n	AÑO	TPDA	n	AÑO	TPDA
0	2011	15250	0	2011	7200
1	2012	15830	1	2012	7474
2	2013	16431	2	2013	7758
3	2014	17055	3	2014	8052
4	2015	17704	4	2015	8358
5	2016	18376	5	2016	8676
6	2017	19075	6	2017	9006
7	2018	19799	7	2018	9348
8	2019	20552	8	2019	9703
9	2020	21333	9	2020	10072
10	2021	22143	10	2021	10455
11	2022	22985	11	2022	10852

PROYECCION PEATONES PARA LA CARRERA 21 CON CALLE 11		
n	AÑO	PEATONES
0	2011	1414
1	2012	1439
2	2013	1464
3	2014	1490
4	2015	1517
5	2016	1544
6	2017	1571
7	2018	1599
8	2019	1627
9	2020	1656
10	2021	1685
11	2022	1715