

2014 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA JUSTIFICACIÓN
DE INTERSECCIONES A DESNIVEL Favio M. Quezada



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA JUSTIFICACIÓN
DE INTERSECCIONES A DESNIVEL

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro

En Ingeniería de Vías Terrestres

Presenta

Ing. Favio M. Quezada Bermudez

Querétaro, Querétaro; Octubre 2014

- Escudo y letras doradas
- Pastas duras color negro, tamaño carta



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría Ingeniería de Vías Terrestres

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA JUSTIFICACIÓN
DE INTERSECCIONES A DESNIVEL

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería

Presenta:
Favio M. Quezada Bermúdez

Dirigido por:
M. C. Juan Fernando Mendoza Sánchez

SINODALES

M. C. Juan Fernando Mendoza Sánchez
Presidente

Dr. Saúl Antonio Obregón Biaca
Secretario

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Vocal

Dr. Guillermo Torres Vargas
Suplente

M. I. Rubén Ramírez Jiménez
Suplente

Dr. Andrés Domínguez González
Director de la Facultad

Firma
Firma
Firma
Firma
Firma
Firma
Dr. Inés Torres Pacheco
Director de Investigación y
Posgrado

RESUMEN

Uno de los sitios en los que se presentan más conflictos son las intersecciones, que es el lugar en donde confluyen dos o más vías, permitiendo la mezcla de las corrientes de tránsito. Ésta tesis presenta una metodología mediante la cual se pretende auxiliar a los organismos operadores de los sistemas viales para visualizar cuando resulta necesario el desarrollo de las intersecciones simples a nivel para para a una intersección a desnivel, la cual nos indique con precisión cuando su nivel de servicio o de seguridad se han visto comprometidos, resultando con esto un peligro para los usuarios. La metodología utiliza la distribuciones de probabilidad de *Poisson* la cual está integrada por variables que pueden ser asociadas a las características del tránsito y de la vialidad, aplicándose este planteamiento a la probabilidad de ocurrencia de accidentes entre dos vialidades al conformar una intersección, en función de sus volúmenes de tránsito, velocidades de operación y características geométricas de la vialidad. Los resultados muestran que la metodología permite visualizar gráficamente los niveles de probabilidad de que dos vehículos se encuentren en la intersección, comprometiendo su seguridad. De esta manera los tomadores de decisiones podrán justificar la construcción de intersecciones a desnivel cuando la probabilidad analizada sea alta, sin que la decisión se base en accidentes reales, sino a través de mecanismos técnico preventivos.

(Palabras clave: Intersección, Poisson, Ingeniería de Tránsito).

SUMMARY

One of the places where most conflicts occur are intersections, it is the place where two or more roads converge, allowing the mix of traffic flows. This thesis presents a methodology by which has by aims to help the operators agencies of the road systems for display when is necessary the development of the at-grade intersections to an overpass intersections, which tell us precisely when their level of service or security has been compromised, resulting in this a danger to users. The methodology uses the probability distributions of Poisson which consists of variables that may be associated with the characteristics of the traffic and the road, applying this approach to the probability of occurrence of accidents between two roads that form an intersection, according to traffic volumes, speeds and geometric characteristics of the road. The results show that the methodology let us graphically display the levels of probability that two vehicles meet in the intersection, compromising its security. Thus the decision makers may justify construction of overpasses analyzed when the probability is high, without the decision is based on real accidents, but through technical preventive mechanisms.

(Key words: Intersection, Poisson, Traffic Engineering).

DEDICATORIA

La culminación de este trabajo está dedicado cien por ciento y enteramente a mi madre, a esa persona maravillosa que fue, ese pilar en mi vida que me enseñó a ser fuerte y a siempre querer superarme día a día...

A dios por haberme elegido una familia maravillosa para compartir mis penas y alegrías...

A mi hermano, por ser ese soporte que me ayuda cada día a querer salir adelante y tratar de ser mejor persona siempre...

A mi familia, mi Tía Rosa, Karene, Gladys, Las niñas y Manuel, por siempre estar con nosotros apoyándonos en todo momento y nunca dejarnos caer, no sé que hubiera sido de nosotros sin todo su apoyo y cariño incondicional, muchas gracias!.

AGRADECIMIENTOS

Al M. C. Juan Fernando Mendoza Sánchez director de Tesis y Amigo, ya que sin sus valiosas aportaciones y apoyo la culminación de este trabajo no hubiera sido posible.

A mis compañeros de generación Alex, Gil y Jorge por todos los momentos agradables que pasamos a lo largo de estos más de dos años; a mis demás compañeros de maestría Irving, Serratos, Gerardo y Sergio gracias por todo, sé que serán amistades para toda la vida.

A mis maestros que me brindaron sus conocimientos, experiencias y orientación.

A mis amigos los simios, mis conejas, queretanos y toda esa gente que ocupa un lugar muy especial en mi corazón, gracias por estar siempre conmigo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo y la confianza brindada.

INDICE

RESUMEN.....	ii
SUMMARY.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
INDICE.....	vi
INDICE DE CUADROS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN LITERARIA.....	5
II.1 Las intersecciones dentro de los sistemas para el transporte.....	5
II.1.1 Componentes de una intersección.....	6
II.1.2 Características de las intersecciones.....	7
II.1.3 Tipos de intersecciones.....	7
II.1.3.1 Intersecciones a nivel.....	8
II.1.3.2 Intersecciones a desnivel.....	9
II.1.4 Principales problemas en una intersección.....	10
II.2 Metodologías para la justificación de intersecciones a desnivel.....	13
II.2.1 Análisis de lugares con historial de accidentes.....	13
II.2.2 Conflictos del tránsito.....	15
II.2.3 Modelo de clasificación de riesgo en intersecciones.....	16
II.2.4 Método de mejoras para priorizar intersecciones.....	18
II.2.5 Evaluación de seguridad en el tratamiento de zonas conflicto en intersecciones.....	18
II.2.6 Técnica de análisis de accidentes de tránsito.....	20
II.2.7 Nivel de servicio de Intersecciones señalizadas incorporando un riesgo de seguridad.....	21
II.2.8 Auditorias de Seguridad en Carreteras.....	24
II.2.9 Indicadores de seguridad vial en la Red Carretera Federal (RCF).....	27
II.2.10 Norma ISO 39001:2012.....	28

II.3 Métodos estadísticos aplicados a la Ingeniería de Tránsito.....	29
II.3.1 Distribución binomial.....	29
II.3.2 Distribución de <i>Poisson</i>	30
II.3.3 Distribución normal	31
II.3.4 Distribución binomial negativa	32
II.3.5 Distribución exponencial	35
II.4 Comparativa de los métodos utilizados para la seguridad vial y la justificación de mejoras en las intersecciones.....	35
III. METODOLOGÍA.....	38
III.1 Selección de los casos de estudio.....	39
III.2 Definición de las variables de operación.....	41
III.2.1 Volúmenes de tránsito	41
III.2.2 Velocidad	43
III.2.2.1 Velocidad media temporal	43
III.2.2.2 Velocidad de punto	43
III.2.3 Tiempo de reacción y tiempos de maniobras de los vehículos en las intersecciones.....	45
III.3 Estimación de los límites de las variables de operación	46
III.3.1 Volumen de tránsito	47
III.3.2 Velocidad	47
III.3.3 Tiempo de maniobra	47
III.4 Desarrollo del modelo	51
III.5 Estudios de campo de Ingeniería de Tránsito.....	53
III.5.1 Volúmenes de tránsito	53
III.5.2 Velocidad de punto	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
IV.1 Levantamiento geométrico de las intersecciones para los estudios de caso	57
IV.2 Variables de operación de las intersecciones para los estudios de caso ...	58
IV.3 Desarrollo del modelo de acuerdo a <i>Poisson</i>	60
IV.4 Validación con los estudios de caso.....	67
IV.5 Indicador de siniestralidad.....	70

IV.6 Discusión de resultados	73
V. CONCLUSIONES.....	74
LITERATURA CITADA.....	76
APÉNDICE	79

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Comparativa de métodos para la justificación de mejoras en las intersecciones viales.	36
3.1	Valores críticos para intersecciones con dos altos.	49
4.1	Tabla de accidentalidad en el entronque en “T”.	70
4.2	Tabla de accidentalidad en el entronque en “+”.	71

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Clasificación de las intersecciones en México.	8
3.1	Metodología del proyecto.	39
3.2	Diagrama de las intersecciones de estudio.	40
3.3	Relación tiempo-distancia en intersecciones.	46
4.1	Localización de los casos de estudio.	56
4.2	Levantamiento geométrico de la intersección en “T”.	57
4.3	Levantamiento geométrico de la intersección en “+”.	58
4.4	Modelación de la probabilidad de <i>Poisson</i> para el entronque en “T”.	63
4.5	Modelación de la probabilidad de <i>Poisson</i> para el entronque en “+”.	64
4.6	Modelación de la probabilidad de <i>Poisson</i> para el entronque en “T” con sus límites.	65

4.7	Modelación de la probabilidad de <i>Poisson</i> para el entronque en “+” con sus límites.	66
4.8	Validación de la modelación de la probabilidad de <i>Poisson</i> para el entronque en “T”.	68
4.9	Validación de la modelación de la probabilidad de <i>Poisson</i> para el entronque en “T”.	69

I. INTRODUCCIÓN

La infraestructura para el transporte terrestre es la parte física que se requiere para la operación del transporte; las calles y carreteras permiten la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Uno de los sitios en los que se presentan más conflictos son las intersecciones, definido según Jiménez (2011) como el lugar donde confluyen dos o más vías, permitiendo la mezcla de las corrientes de tránsito.

El cruce de caminos se puede dar con una intersección a nivel o con una intersección a desnivel. Las intersecciones a nivel son las más simples, son aquellas en donde las características del tránsito no amerita ningún trabajo especial más que el de nivelar el terreno, redondear las esquinas y facilitar la visibilidad, para permitir que los vehículos pase de un lado a otro. Cuando los volúmenes de tránsito y la importancia de los caminos lo ameritan, se hace uso de las intersecciones canalizadas, permitiendo canalizar los vehículos de manera que al usuario no se le presenten varias decisiones al mismo tiempo. Las intersecciones a desnivel, se utilizan para separar las corrientes de tránsito, cuando el índice de accidentes de tránsito en esa intersección ha probado que los volúmenes son demasiado altos para que coexistan al mismo nivel, para pasar por la misma intersección a un nivel diferente.

Las intersecciones a nivel son muy comunes, debido a que estas permiten la comunicación entre las comunidades, por lo que a lo largo de la red nacional existen un gran número de entronques a nivel, resultando muchos de estos con una alta peligrosidad para el usuario que la transita, principalmente por una mala canalización del tránsito o una mala señalización, aunque también por las velocidades de operación y los volúmenes de tránsito que circulan.

El diseño de las intersecciones de una carretera debe corresponder a su función, respondiendo a las necesidades de los vehículos automotores que se interceptan o mezclan en dicha área de encuentro, al tipo de vías que confluyen,

clasificación vehicular, tipo de control de accesos, velocidad, preferencia de paso, y todas aquellas características de funcionalidad que estén contempladas en el planeamiento en desarrollo que puedan afectar la intersección (MOPU, 1987).

Las intersecciones permiten la circulación vehicular desde diferentes accesos, que al ingresar al área de intercambio se pueden encontrar simultáneamente implicando de esta manera un peligro potencial de colisión, como lo dice la normativa de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO, por sus siglas en inglés) en su libro verde (AASHTO, 2011) el objetivo principal del diseño de una intersección es reducir la gravedad de los posibles conflictos entre vehículos, autobuses, camiones, bicicletas, peatones, y las instalaciones, al tiempo que facilita la comodidad, la facilidad y comodidad de las personas atraviesan las intersecciones.

Las intersecciones son un elemento crítico en la infraestructura del transporte desde el punto de vista de la seguridad, tanto en zonas urbanas, como en las interurbanas. En las intersecciones los vehículos pueden seguir distintas trayectorias, durante un determinado itinerario de viaje, por lo que dicha infraestructura requiere cierto ordenamiento para reducir los conflictos entre los distintos movimientos y evitar accidentes de tránsito. Por otra parte y especialmente en zonas urbanas, las intersecciones son puntos críticos desde el punto de vista de la capacidad vial, ya que producen una disminución sensible del nivel de servicio, principalmente por la reducción de las velocidades; otro factor es la elevada intensidad de tránsito, por lo que se generan demoras de tiempo antes de poder atravesar una intersección. Estas son algunas de las causas principales por las cuales se debe tener especial interés en las intersecciones.

Hasta ahora la construcción de un entronque a desnivel se va más por el lado de la seguridad vial en la intersección y los conflictos de tránsito que esta se presentan, empleando diversas metodologías, pero no se ha establecido un mecanismo mediante el cual auxilie para visualizar cuando resulta necesario el desarrollo de las intersecciones simples a nivel; el estudiar el tipo de accidentes, su causa, los costos materiales, así como incluir las pérdidas humanas, permite evaluar

y comparar contra el costo en construcción y mantenimiento de dicho paso a desnivel, permitiendo justificar un cambio de intersección a nivel a una a desnivel, pero no es una herramienta técnica preventiva, sino un análisis socio-económico, involucrando variables de costo y beneficio.

Para la comprensión de la problemática y la búsqueda de posibles soluciones para la accidentalidad en los entronques, con este trabajo se busca establecer una herramienta preventiva para la evaluación de los entronques a nivel ya existentes, la cual nos permita visualizar de forma más precisa cuando su funcionalidad, seguridad y comodidad se han visto comprometidas, resultando con esto un peligro para los usuarios. Involucrando este mecanismo variables como la intensidad del tránsito y de su composición en un estado actual y a quien servirá en el futuro, la accidentalidad, el nivel de servicio que dicha intersección brinda al usuario, etc., para así poder decidir con exactitud cuándo es que resulta necesaria la modificación total o parcial de la intersección, así como sus dispositivos de control.

El modelo a desarrollar se centra en el uso de distribuciones de probabilidad. El uso de las distribuciones de probabilidad constituye una herramienta básica para predecir el comportamiento futuro de diferentes acontecimientos o fenómenos naturales.

Las distribuciones de probabilidad están integradas por variables que pueden ser asociadas a las características del tránsito y de la vialidad, si las aplicáramos a la ingeniería de tránsito. Dicho planteamiento se pretende aplicar a la probabilidad de ocurrencia de accidentes entre dos vialidades al conformar una intersección, en función de sus volúmenes de tránsito, velocidades de operación y características geométricas de la vialidad.

La distribución de probabilidades de *Poisson* permite determinar el número de ocurrencias de un evento en específico, por lo que sí es posible ligar las características de operación del tránsito y de la vía, entonces se obtendría una metodología que permita justificar la necesidad de intersecciones a desnivel en carreteras basados en la probabilidad de ocurrencia de accidentes viales.

Objetivo General.

Desarrollar una metodología para justificar una intersección a desnivel en carreteras que incluya las principales características del tránsito, de la vía y de la probabilidad de ocurrencia de accidentes viales.

Objetivos específicos.

- Definir dos intersecciones tipo a nivel (intersección en “T” o en “cruz”) y caracterizar las variables del tránsito.
- Desarrollar el modelo de probabilidades de *Poisson* aplicado a la probabilidad de ocurrencia de conflictos viales de acuerdo a las variables del tránsito en la vía principal y secundaria.
- Elaborar diagramas de probabilidad de ocurrencia de accidentes viales en las intersecciones tipo aplicando el modelo desarrollado.
- Aplicar el modelo en las dos intersecciones tipo que actualmente este en operación para definir la probabilidad de ocurrencia en las intersecciones, a fin de validar si el modelo propuesto permite sugerir una justificación técnica para pasar a intersecciones a desnivel en función de probabilidades de ocurrencia de accidentes y de no de accidentes reales.

Hipótesis.

La distribución de probabilidades de *Poisson* permite determinar el número de ocurrencias de un evento en específico, por lo que sí es posible ligar las características de operación del tránsito y de la vía, entonces se obtendría una metodología que permita justificar la necesidad de intersecciones a desnivel en carreteras basados en la probabilidad de ocurrencia de que dos vehículos se encuentren en la intersección.

II. REVISIÓN LITERARIA

La revisión literaria está basada en dos partes principalmente. La primera de ellas se centra en la descripción teórica de los elementos que integran la ingeniería de tránsito para puntualizar como una intersección forma parte de la infraestructura del transporte. La segunda parte es una revisión internacional de la práctica de cómo en la ingeniería de carreteras justifican la toma de decisiones cuando se requiere construir una intersección a desnivel en las carreteras.

II.1 Las intersecciones dentro de los sistemas para el transporte

El transporte es una actividad vital para el buen funcionamiento de las actividades económicas y el desarrollo de los países. El transporte asegura la movilidad cotidiana de las personas y es crucial para la producción y distribución de bienes. Una infraestructura para el transporte adecuada es un requisito fundamental para los sistemas de transporte.

La infraestructura para el transporte se refiere a las estructuras físicas básicas necesarias para el funcionamiento del sistema, mediante los cuales se interconectan para proporcionar la movilidad de personas y mercancías.

Las Vías Terrestres forman parte de los sistemas para el transporte, las cuales están integradas por un sin número de infraestructuras, dentro de las que se destacan las siguientes: calles (vialidades urbanas), carreteras, estructuras (puentes, túneles, alcantarillas, etc.), intersecciones, marcas y señalamientos, sistemas eléctricos (semáforos, alumbrado público, etc.). Las vías terrestres también incluye otros modos de transporte, por lo que la infraestructura requerida para los ferrocarriles el transporte urbano y otros, forman parte de dicha área del conocimiento.

Éste proyecto se centra en el estudio de las intersecciones, es decir, el sitio donde confluyen dos o más caminos, y es través de esta infraestructura que permite

a los usuarios realizar intercambios entre los caminos, ya sea a nivel o a desnivel. En Latinoamérica también se llaman entronques o cruceros.

Las intersecciones constituyen elementos de discontinuidad en una red vial, por lo que representan situaciones críticas que deben resolverse de forma especial. Para realizar estas maniobras los conductores necesitan un intervalo de espacio y tiempo en la corriente de la circulación, regularmente en la vía principal. La magnitud que ha de tener este intervalo, entre otras variables representa el buen funcionamiento de la intersección.

II.1.1 Componentes de una intersección

En las intersecciones en lo general presenta 4 tipos de movimientos: vuelta a la derecha, movimiento directo, vuelta a la izquierda y movimiento en “U”. Para realizar estas maniobras la intersección debe estar conformada por diferentes componentes para resolver estas necesidades de los usuarios.

Cada camino que confluye a la zona de conflicto en una intersección se le denomina “acceso” o “rama”, independientemente si llega a la intersección o solo sale de ella. La “zona de conflicto” es la sumatoria de las áreas donde se interceptan las trayectorias de los diferentes movimientos que se presentan en la intersección. Cada “movimiento” es la acción que realizar cada vehículo en la intersección al entrar y salir de la misma de acuerdo al origen o destino de su ruta. Las vías que unen las distintas ramas de la intersección se les denomina “enlaces” o “rampas”, ésta última se utiliza comúnmente cuando el enlace se realiza mediante un cambio de nivel.

Algunas intersecciones también cuenta con carriles exclusivos de vuelta a la derecha o a la izquierda, con el objetivo de garantizar la seguridad de los conductores e incrementar la capacidad de la intersección en términos de la calidad del servicio al disminuir las demoras.

Se llaman “pasos”, a las zonas donde dos vías terrestres se cruzan sin que puedan unirse las corrientes de tránsito. Estos pueden ser para vehículos, para ferrocarriles, personas o animales. Estas estructuras se encuentran a desnivel para evitar conflictos con los movimientos directos.

II.1.2 Características de las intersecciones

Las características de una intersección son un grupo de factores para que sean incluidos en el diseño de intersecciones. Algunas características actúan como controles, mientras que otras son el resultado de las decisiones para el diseño.

Características físicas: Tipos de carretera, banquetas, esquinas, fajas separadoras, isletas, características del drenaje, obstáculos físicos, etc.

Características operacionales: configuración y uso de carriles, tipo de control de tráfico, control de peatones, delimitación de carriles, prohibiciones de vueltas, configuración de pasos peatonales, programación de fase y tiempo de semáforos, accesibilidad, etc.

Características del tránsito: Volumen vehiculares, composición vehicular, característica de hora pico, volúmenes peatonales, volúmenes de bicicleta u otros modos.

Características del sitio: Clasificación de la vía, localización, uso del suelo junto a la vía, proximidad a sitios (escuelas, hospitales, etc.).

Características de los usuarios: Edad, requerimientos especiales para discapacitados y otros.

II.1.3 Tipos de intersecciones

Dependiendo de la zona en que se maneje el cruce, se tienen intersecciones urbanas y suburbanas y estas a su vez se dividen en dos tipos

generales de intersecciones: a nivel o a desnivel. Aunque existen una amplia variedad de estas.

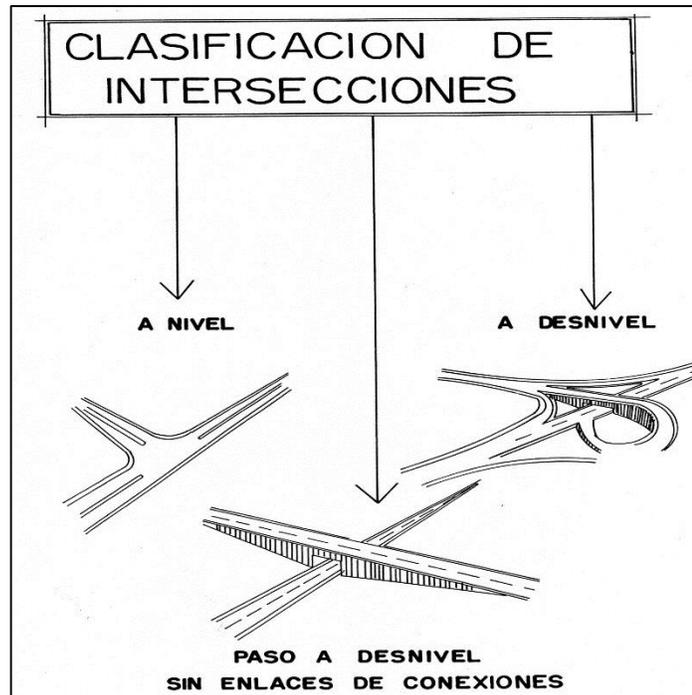


Figura 2.1. Clasificación de las intersecciones en México.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico. SCT.

II.1.3.1 Intersecciones a nivel

Las intersecciones a nivel pueden ser tres ramas, denominadas tipo “T” o “Y”, de cuatro ramas, multi-ramas o circulares (glorietas).

Las intersecciones a nivel requieren algún tipo de control para que puedan operar de forma segura, ya sea mediante señales o semáforos. Éste tipo de intersecciones a nivel se denominan “intersecciones controladas”.

Las “intersecciones sin control”, como su nombre lo indica carecen de dispositivos verticales para el control del tránsito, aunque suelen tener marcas en el pavimento, su funcionamiento no es diferente en cada país y en cada ciudad, en ocasiones la prioridad la tienen las vías que circulan de norte a sur, la vialidad que

se encuentre pavimentada, el que llega primero cruza primero (todos realizan alto en la intersección), la prioridad es conforme a la derecha o izquierda según el sentido de circulan predominante del país, etc. Se recomienda éste tipo de intersecciones en ciudades pequeñas o poblaciones rurales, salvo que índice de siniestralidad refleje una necesidad de implementar dispositivos de control más efectivos.

Las glorietas (rotondas en algunas ciudades de México u otros países), funcionan con movimientos circulares alrededor de una isleta circular o similar, donde la prioridad está dada para los vehículos que circulan en el interior, por lo que todos lo que vehículos que arriben tendrán que hacer alto independientemente de la rama en la que acceden a la intersección. Son muy útiles con volúmenes de bajos a medios, y cuando el área de la glorieta es lo suficientemente grande para permitir los entrecruzamientos.

Muchos factores intervienen en la selección del tipo de intersección a nivel, pero los controles principales son el volumen horario de proyecto, el carácter del tránsito (directo y de vuelta) y la velocidad de proyecto.

II.1.3.2 Intersecciones a desnivel

Las intersecciones a desnivel son las de mayor capacidad al reducir el número de conflictos de manera directa. El objetivo es separar los flujos en diferentes niveles por medio de vías inferiores o superiores, usando estructuras tales como puentes, túneles, viaductos, etc. El término se aplica ampliamente para describir un cruce de carreteras en los cuales no se interrumpe el flujo directo del tráfico en uno o más caminos.

El tipo adecuado de paso o intersección a desnivel, así como su proyecto general, depende de muchos factores, siendo los principales, el volumen horario de proyecto, el carácter y composición del tránsito, la velocidad de proyecto, la topografía, el derecho de vía disponible y el costo.

Los diferentes niveles en la intersección son conectados por medio de rampas. Estas conexiones permiten realizar intercambios de caminos.

Las intersecciones a desnivel se clasifican similarmente a las intersecciones a nivel, su tipo y formas puede ser muy variadas, aunque la clasificación principal es: totalmente separadas o parcialmente separadas, en el caso primero todos los intercambios están separados en dos niveles, tres o hasta cuatro en algunos casos existente, el segundo sólo un camino es separado a desnivel y el otro es controlado mediante señalamiento.

En la práctica las variantes de las intersecciones a desnivel es muy variada, por ejemplo: las intersecciones en forma de trébol, en forma de diamante, con glorietas, etc.

Las intersecciones a desnivel suelen ser soluciones muy costosas, por eso es importante contar con metodologías que permitan justificar la inversión en términos de seguridad y fluidez para los usuarios.

II.1.4 Principales problemas en una intersección

Las intersecciones permiten la circulación vehicular desde diferentes accesos, que al ingresar al área de intercambio se pueden encontrar simultáneamente implicando de esta manera un peligro potencial de colisión, de acuerdo a la normativa de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO, por sus siglas en inglés) en su libro verde (AASHTO, 2011) el objetivo principal del diseño de una intersección es reducir la gravedad de los posibles conflictos entre vehículos, autobuses, camiones, bicicletas, peatones, y las instalaciones, al tiempo que facilita la comodidad, la facilidad y comodidad de las personas atraviesan las intersecciones.

Las intersecciones son un elemento crítico en la infraestructura del transporte desde el punto de vista de la seguridad, tanto en zonas urbanas, como en las interurbanas.

La problemática que se puede presentar son debido principalmente a un mal diseño, el cual no necesariamente está asociado a una mala ingeniería, sino a muchos factores que incluyen tales como: el número de accesos, tipos de carreteras que confluyen, volumen del tránsito, velocidad de operación, área disponible, condiciones ambientales, etc.

El resultado entonces son accidentes de tránsito en las intersecciones, debido a entre muchas variables a lo siguiente: la velocidad de operación es mayor a la velocidad de diseño de la intersección, visibilidad insuficiente para realizar las maniobras, longitudes inadecuadas para las incorporaciones y desincorporaciones, falta de carriles para acelerar o desacelerar, radios de giro inadecuados, vehículos de proyecto no ideal para el tipo de intersección, número excesivo de entradas y salidas en un mismo punto, falta de canalizaciones de los flujos vehiculares de ciertas trayectorias.

En algunos países las intersecciones producen aproximadamente la tercera parte de los accidentes de tránsito. Por lo que es de gran importancia tenerlos en cuenta y estudiar la forma en que se presentan para sacar el máximo provecho de ellos y aumentar las condiciones de seguridad (Gallegos, 2010).

De acuerdo a cifras de la Organización Mundial de la Salud las lesiones causadas por accidentes de tránsito constituyen un grave problema de salud pública y una causa importante de las muertes, lesiones y discapacidades que se registran en todo el mundo, todos los años, más de 1,2 millones de personas fallecen como consecuencia de accidentes en las vías de tránsito y entre 20 y 50 millones sufren traumatismos no mortales (OMS, 2009).

Las lesiones por accidentes de tránsito son la causa principal de la muerte de personas entre los 15 y 29 años de edad en todo el mundo, se estima que al menos que se tomen medidas inmediatas, las víctimas mortales en las vías de circulación se incrementarán hasta convertirse en la quinta causa principal de mortalidad para 2030, lo que tendrá como resultado unos 2,4 millones estimados de

víctimas mortales por año. Tan solo en México se tiene una mortalidad estimada por accidentes de tránsito de 20,7 por cada 100.000 habitantes (OMS, 2009).

Con las cifras anteriores es prioritario contar con un sistema de tránsito seguro que permita contrarrestar la vulnerabilidad humana y reducir el número y severidad de los accidentes de tránsito.

Las investigaciones hacen cada vez más patente la existencia de sistemas para prevenir los accidentes o reducir la gravedad de los traumatismos resultantes, elegir el tipo adecuado de cruce o intersección a desnivel, así como su proyecto general. El proyecto depende de muchos factores, siendo los principales, el volumen horario de proyecto, el carácter y composición del tránsito, la velocidad de proyecto, la topografía, el derecho de vía disponible y el costo (Gallegos, 2010).

México, se encuentra entre los 10 países en donde ocurre el mayor número de muertes por accidentes de tránsito, al año ocurren alrededor de 470 mil, donde mueren 24 mil personas por este tipo de percances, tan solo en el estado de Querétaro los accidentes de tránsito han aumentado en un 25% con respecto al 2010 y son la principal causa de muerte entre jóvenes de 15 a 29 años (INEGI, 2012), las propuestas actuales para enfrentar la crisis en esta materia reclaman el desarrollo de una ingeniería que se adecue a las necesidades de los usuarios y una mayor eficiencia de las autoridades encargadas de la regulación.

El estudiar el tipo de accidentes, su causa, los costos materiales, así como incluir las pérdidas humanas, permitirá evaluar y se comparará contra el costo en construcción y mantenimiento de dicho paso a desnivel, lo cual permitiría justificar un cambio de intersección a nivel a desnivel, pero no es una herramienta técnica preventiva, sino un análisis socio-económico, involucrando variables de costo y beneficio.

II.2 Metodologías para la justificación de intersecciones a desnivel

En la práctica existen algunas técnicas o metodologías que se utilizan para justificar la necesidad de implementar una intersección a desnivel, las cuales se describirán a continuación. Posteriormente se hará la discusión sobre las mismas, para identificar la oportunidad de realizar el presente trabajo.

II.2.1 Análisis de lugares con historial de accidentes

Existen diferentes técnicas para el análisis de sitios con accidentes, en éste trabajo describiremos lo enunciado por Gallegos et al. De acuerdo a sus notas, el procedimiento para analizar un sitio donde ocurre un alto número de accidentes, debe considerar los siguientes puntos:

- Obtener una copia de los informes de accidentes que ocurrieron en ese lugar en los dos últimos años. Si para ese lugar se ha efectuado un estudio antes-después, la información debe considerar dos años durante el período antes, y por lo menos un año en el período posterior. Preferentemente, el tiempo debe ser de dos o tres años.
- Elaborar un diagrama de choque para mostrar gráficamente los detalles.
- Elaborar un diagrama de localización, y el inventario geométrico correspondiente.
- Obtener información vehicular sobre la hora en que se produce el máximo de giros.
- Determinar velocidades de aproximación, si fuera pertinente. Efectuar un estudio de conflictos, si fuera necesario.
- Estudio de velocidad de aproximación, si el lugar no tuviera dispositivos de control y la característica de los accidentes fueran en ángulo recto.
- Visita al lugar para verificar el diagrama de localización y aportar nuevos antecedentes, tales como visibilidad, ubicación de dispositivos de control, estado de la señalización, etc. Ésta visita también deberá efectuarse por la noche.

- Verificar el ciclo y fases del semáforo, en el caso de existir.
- Utilizar la información obtenida para seleccionar el tratamiento adecuado para el lugar analizado, teniendo presente la importancia de la situación y los recursos disponibles.
- Tomadas las medidas de corrección, se recomienda realizar una evaluación ex-post.

Diagrama de choque

Los elementos más importantes en un diagrama de choque, son:

- Identificar la acción que realizaba el conductor antes del accidente, es decir: giro a la izquierda, reducir la velocidad, o parar para estacionarse, etc.
- Definir la trayectoria del vehículo.
- Situaciones del momento del incidente, tales como el estado del tiempo o de la superficie del camino.
- Fecha, día y hora.

La consideración primaria del diagrama es mostrar la trayectoria de los vehículos, así como la presencia de personas o vehículos no impactados.

Inspección en sitio

La inspección en sitio puede ser guiada por las siguientes preguntas:

- ¿Los accidentes causados por condiciones físicas del lugar? ¿Pueden estas condiciones corregirse o eliminarse?
- ¿La falta de visibilidad es la causa de los accidentes?, ¿Puede mejorarse? ¿Puede informarse del peligro a los conductores si la causa no puede eliminarse?

- La señalización, las marcas y semáforos ¿están cumpliendo el rol que corresponde? ¿Alguno de ellos puede, de alguna manera estar contribuyendo a producir un accidente en vez de prevenirlo?
- El tránsito vehicular ¿está canalizado teniendo en mente minimizar la ocurrencia de accidentes?
- ¿Pueden prevenirse los accidentes prohibiendo algún movimiento vehicular? Un giro a la izquierda de poca magnitud, ¿por ejemplo?
- El número de accidentes nocturnos ¿tiene una proporción distinta a la diurna en relación con el volumen vehicular?
- ¿Muestran las condiciones que falta alguna disposición especial o un mayor control policial?
- ¿Los estacionamientos contribuyen a los accidentes?
- ¿Existe una adecuada señalización previa al lugar en consideración?
- ¿Se aprecia una demora que puede impacientar a los conductores?

II.2.2 Conflictos del tránsito

Un conflicto de tránsito puede ser definido como un accidente potencial. Varios autores exponen que en general existen dos tipos de conflictos de tránsito: las acciones evasivas con el objeto de evitar el accidente, tales como, frenar y/o cambiarse de carril, y las transgresiones a los reglamentos de tránsito que están definidas en el marco jurídico correspondiente.

El análisis de una muestra de los conflictos de tránsito permite identificar el número y tipo de conflictos en un lugar determinado donde una situación de riesgo pueda existir, es importante que el tamaño de la muestra este definido con criterios estadísticos. Los estudios requeridos para determinar el número de conflictos de

tránsito se deben efectuar en los períodos del día en lo que se presenta la máxima demanda vehicular.

Los conflictos de tránsito a observar son: vuelta izquierda, vuelta derecha, cambio de carril, cruce de izquierda a derecha o viceversa, flujos directos y su interferencia con vueltas izquierdas opuestas, etc.

Un segundo tipo de conflicto a observar son las acciones evasivas para evitar choques por atrás: detención con amarillo, reducción de velocidad para girar a la izquierda o derecha, entradas y salidas.

Otros conflictos son: vehículos lentos (camiones), congestión en intersección, abandono de intersección, vehículos detenidos, vehículos en marcha atrás y cruce de peatones.

Al concluir la recolección de datos, se estiman totales y de acuerdo a cada situación en particular se pueda elegir el mejor método de solución para encauzar el tránsito de tal manera que se disminuya la severidad de los accidentes o se eviten los mismos.

II.2.3 Modelo de clasificación de riesgo en intersecciones

Torres *et al.* (2010) sugiere el uso de la metodología como un modelo de clasificación del riesgo en intersecciones rurales en "T" y validación del tiempo de evasión como medida alternativa de la seguridad de tránsito en intersecciones.

Las mediciones alternativas de seguridad son medidas de tiempo, los cuales se registran durante la ocurrencia de un conflicto de tránsito. Estas mediciones evalúan cuan cerca estuvo un conflicto entre vehículos que circulan a través de una intersección, de terminar en una colisión y del nivel de severidad que hubiese tenido dicha colisión.

La medida alternativa de severidad de un conflicto más aceptada es el tiempo hasta la colisión (TC), aunque otras medidas, tales como el tiempo posterior

a la invasión (TPI) o la tasa de desaceleración (TD) han sido propuestas como medidas de otras características en las situaciones de conflicto. La medida más utilizada es TC, el cual se define como la diferencia entre el tiempo final de encuentro del vehículo que gira y el tiempo estimado en que llegará al punto de conflicto el vehículo que se traslada en línea recta y que posee la prioridad de paso, si éste continuara con la misma trayectoria y con la misma velocidad que poseía antes de comenzar a frenar para evitar la colisión.

Torres *et al.* (2010) sugiere utilizar como medida el Tiempo de Evasión (TE), definida como el tiempo medido en segundos que transcurre al momento de realizar una maniobra evasiva (frenado) hasta que el parachoques delantero del vehículo llega al punto de conflicto definido.

El análisis metodológico considera realizar la medición en campo de las variables en las intersecciones, resumir la información para construir indicadores, se construye un árbol de regresión independiente para realizar las variables originales con una variable de respuesta, se validan los resultados seleccionando también el modelo que más se ajuste de acuerdo a los errores arrojados en el análisis.

El modelo propone un índice que represente el nivel de riesgo de cada conflicto de tránsito en una intersección, determinándose que los valores más altos del índice están relacionados a un mayor riesgo de que un conflicto termine en accidente, mientras que valores bajos indican un menor riesgo. Posteriormente, se desarrolla un modelo de clasificación del riesgo en intersecciones, aplicando la teoría de árboles de decisión. Por último, se valida el Tiempo de Evasión (TE) como variable cuantificadora de la severidad de los conflictos de tránsito, tomando como base variables ya estudiadas a nivel mundial, como el Tiempo hasta la Colisión (TC) y el Tiempo de Post-invasión (TPI).

II.2.4 Método de mejoras para priorizar intersecciones

Larson y Mannering (2011) realizaron mediante sistemas computacionales el análisis para la determinación de la necesidad de vueltas izquierdas y/o mejoras de vueltas a la derecha en una intersección y priorizar su necesidad.

El sistema se basa en dos vertientes, la primera se basa en las condiciones prevalecientes del tránsito, determina los volúmenes y el historial de accidentes, el segundo va en relación a la necesidad de implementar el carril de vuelta izquierda en la intersección y asigna valores económicos para las condiciones de espera y accidentes históricos específicos en la intersección.

En base a los valores económicos asignados a los accidentes el sistema calcula la reducción en el retraso que resultaría en la instalación del giro a la derecha o a la izquierda mediante el uso de ecuaciones de regresión a partir de los estudios de ingeniería publicados o normas como el Manual de Capacidad de Carreteras. La suma acumulada de los de los accidente y de las demoras es la puntuación de la gravedad de la mejora de la intersección en específico.

Los beneficios de este sistema son que es un método objetivo de la clasificación intersecciones contra otros y que es fácil de usar. Se requiere que los datos que sean fácilmente obtenibles a partir de los recursos disponibles en la mayoría oficinas que administran el tránsito en las ciudades.

II.2.5 Evaluación de seguridad en el tratamiento de zonas conflicto en intersecciones

El análisis y mejoramiento de las zonas de conflicto en intersecciones, también conocidos como “Puntos negros”, es muy común realizarse para la mejorar la seguridad del tránsito, especialmente en las intersecciones.

El término punto negro se refiere a lugares que tienen un mayor número esperado de accidentes que otros lugares similares, como resultado de los factores de riesgo locales (Elvik, 2007). El propósito de un programa de punto negro es

reducir el número y gravedad de los choques, a través de cambios de infraestructura de estos lugares peligrosos.

De Pauw *et. al.* (2013) proponen seleccionar los puntos de alto riesgo, considerando estos aquellos que cuenten con al menos 3 lesiones por accidentes, posteriormente se le asigna un nivel de prioridad basado en el número y severidad de los eventos. El tamaño de estos puntos fue variado y fue dependiente del grado de ocurrencia de accidentes.

Esta puntuación se basa en el número de usuarios de la vía lesionados: cada persona levemente lesionada tiene un peso de 1, cada persona gravemente lesionada 3 y cada persona fatalmente heridos 5. Una puntuación total mínima de 15 será necesaria para ser seleccionado como un lugar peligroso.

$$\text{Puntuación de prioridad} = 1 * X + 3 * Y + 5 * Z$$

Donde:

X = Número de personas con heridas leves (cualquier persona que se lesionó, pero no se puede definir como grave o fatalmente lesionado);

Y = Número de personas con heridas severas (cualquier persona que estuvo involucrada en un accidente de tránsito y requirió hospitalización por más de 24 horas);

Z = Número de personas lesionadas fatalmente (cualquier persona que murió en el lugar del accidente o dentro de los 30 días después del accidente)

Con esa escala de valoración se identificaron los puntos negros a tratar y se integraron a un programa de mejora. Los tratamientos aplicados se categorizan en seis grupos: De semáforos a semáforos libres de conflictos, semáforos a semáforos y cambios en la geometría, semáforos a glorietas, prioridad no controlada a prioridad controlada y cambios en la geometría, prioridad controlada a semáforos y prioridad controlada a glorietas. En ningún caso se analizó implementar pasos a desnivel, sólo son en su mayoría mejoras puntuales del sitio a nivel.

Finalmente se utiliza el método empírico de Bayes, es decir, un estudio de antes y después. El método compara el número observado de accidentes después de la aplicación del tratamiento con los recuentos de choque esperados si no hubiera habido ningún tratamiento.

Esta metodología es útil, pero sólo refleja niveles de peligrosidad en los puntos negros, pero no tiene un enfoque preventivo, sino correctivo.

II.2.6 Técnica de análisis de accidentes de tránsito

La técnica de análisis de accidentes de tránsito que sugiere Timaná (2005), tiene como enfoque principal la identificación de la ubicación y detección de los sitios que son considerados peligrosos, usando diferentes formas de medir los accidentes.

La manera en que mide los accidentes de tránsito, es mediante la frecuencia de los accidentes de tránsito, la cual es el número de accidentes por sitio o ubicación durante un periodo de tiempo específico y la medida de la tasa de accidentes, la cual se define como los accidentes por millón-vehículo-kilómetros (MVK) por sección, y accidentes por millón-vehículo-registrados (MEV) para intersecciones.

Lo anterior se representa mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Secciones:} \quad CR = \frac{N * 10^6}{L * AADT * t * 365}$$

$$\text{Intersecciones:} \quad CR = \frac{N * 10^6}{AADT * t * 365}$$

Donde:

N = Número de accidentes observados durante un periodo t.

L = Longitud de segmento (km)

AADT = Volumen de tránsito promedio diario anual.

t = Periodo de observación (años).

Este método requiere el volumen de tránsito para su análisis. La ventaja de usar las tasas de accidentes es que esta permite hacer comparaciones entre sitios con características similares pero con diferentes niveles de exposición al tránsito.

Para direccionar los resultados de ambos indicadores de medida se sugiere utilizar ambas para identificar los sitios. Los sitios con igual frecuencia se seleccionan primero y el resto se van ordenando de acuerdo a la tasa que presenten.

El autor también sugiere la utilización de la tasa de severidad de accidentes, la cual asigna peso a aquellos accidentes con heridos, daños materiales a propiedades, etc.

II.2.7 Nivel de servicio de Intersecciones señalizadas incorporando un riesgo de seguridad

Zhang *et al.* (2007) combina la demora y la seguridad de obtener un indicador de nivel de servicio integral, el retraso y el índice de seguridad (DS). Mediante el desarrollo de un conjunto de modelos para cuantificar el riesgo de colisión en función de la topografía de la carretera, el tráfico, y la señal de variables. El objetivo es establecer un método para representar el riesgo para la seguridad percibida y la tensión en los conductores para predecir las tasas de accidentes.

Conflicto potencial vehículo a vehículo.

La ecuación provee el número de vehículos que serán afectados por el conflicto potencial:

$$PC_{veh} = \sum_i PC_{LT(i)} + PC_{OT(i)}$$

Donde:

PC_{veh} = Número total de vehiculos esperados con potencial de conflicto

$PC_{LT(i)}$ = número veh. vuelta a la izquierda con potencial de conflicto,
aproximación a i

$PC_{OT(i)}$ = número de vehículos de tráfico opuesto con potencial de conflicto
proveniente del turno izquierdo con aproximación a i .

Y la sub-ecuación:

$$PC_{LT(i)} = PC_{OT(i)} = \begin{cases} V_{LT(i)} * P_{PC(i)} & \text{si } V_{LT(i)} \leq V_{OT_gu} \\ V_{OT_gu(i)} * P_{PC(i)} & \text{si } V_{LT(i)} \geq V_{OT_gu} \end{cases}$$

Donde:

$V_{LT(i)}$ = número vehículos vuelta a la izquierda con aproximación a i

V_{OT_gu} = número de vehículos de tráfico opuesto con aproximación a i

Conflicto potencial vehículo a peatón

Existe la probabilidad de que los peatones estén implicados en posibles conflictos con los vehículos de izquierda girando. El potencial de conflicto para los peatones podría expresarse de la siguiente manera:

$$PC_{ped} = \sum_j PC_{ped(j)}$$

Donde:

PC_{ped} = Total de conflictos peatonales potenciales esperados

$PC_{ped(j)}$ = Conflictos potenciales esperados con peatones en aproximación a j
con vehículos de vuelta izquierda con aproximación a i en pasajeros por hora.

Combinación de retraso y seguridad

La combinación del conflicto potencial entre vehículos (PCveh) y el potencial conflicto entre vehículos y peatones (PCped) se utiliza para evaluar la seguridad de las intersecciones señalizadas:

$$PC = PC_{veh} + PC_{ped}$$

Donde:

$PC = Total de conflictos esperados$

$PC_{veh} = Total de conflictos potenciales esperados entre vuelta a la izquierda y los vehículos en dirección opuesta$

$PC_{ped} = Total de conflictos peatonales potenciales esperados$

Índice de demora y de seguridad (DS)

Es la combinación de la percepción de inconvenientes (retardo) y el riesgo (conflictos). El DS se puede utilizar para determinar el nivel de servicio para cada grupo de carriles y el enfoque y para la intersección en su conjunto:

$$DS = \frac{DS_{veh} * V_{veh} + DS_{ped} * V_{ped}}{V_{veh} + V_{ped}}$$

Donde:

$DS = Índice de demora y seguridad$

$DS_{veh} = DS para vehículos$

$DS_{ped} = DS para peatones$

$V_{veh} = Volumen total del vehículo$

V_{ped} = volumen total de peatones

Y las sub-ecuaciones:

$$DS_{veh} = d_{veh} + \left(\alpha * \frac{PC_{veh}}{V_{veh}} \right) d_{veh} = \left(1 + \alpha * \frac{PC_{veh}}{V_{veh}} \right) d_{veh}$$

$$DS_{ped} = d_{ped} + \left(\beta * \frac{PC_{ped}}{V_{ped}} \right) d_{ped} = \left(1 + \beta * \frac{PC_{ped}}{V_{ped}} \right) d_{ped}$$

Donde:

d_{veh} = retardo medio de control del vehículo

d_{ped} = retraso peatonal medio

α = factor de ponderación de seguridad para los conflictos de vehículo

a vehículo

β = factor de ponderación de seguridad para los conflictos de vehículo a peaton

II.2.8 Auditorias de Seguridad en Carreteras

Mayoral *et al.* (2001) describe que las Auditorías de Seguridad en Carreteras pretenden asegurar, durante el proceso de proyecto y construcción de una obra, la incorporación de experiencias y principios que permitan la prevención de accidentes, contribuyendo a identificar todas aquellas situaciones desfavorables que se presentan por una determinada combinación de los elementos en el diseño, que el proyectista no haya detectado; así como también asegurar que todos los proyectos de carreteras permitan una explotación lo más segura posible cuando el camino es abierto al tránsito; suponiendo que la seguridad debe ser considerada desde la fase de planeación, elaboración del proyecto, construcción de la obra y funcionamiento de la misma.

Fase 1: Factibilidad. Prevé la consideración de la seguridad vial desde la fase de factibilidad de un proyecto y tiene, entonces, una influencia importante sobre la

selección de la ruta, las especificaciones de diseño geométrico, el impacto y la continuidad de la red carretera adyacente, el mejoramiento de intersecciones y carriles laterales de convergencia o divergencia en zonas suburbanas; sin embargo, se aclara que no debe incluir una nueva valoración de los criterios de diseño ni una reconsideración de los aspectos estratégicos. La auditoría sólo se centra en el análisis, desde el punto de vista de seguridad vial, de los conceptos de diseño adoptados.

Fase 2: Anteproyecto. Los puntos a considerar son el alineamiento horizontal y vertical, el trazo y características de las intersecciones, las condiciones de visibilidad, el ancho y número de carriles y los requerimientos para peatones y ciclistas. Es importante mencionar que después de esta fase resulta muy complicado realizar modificaciones mayores al trazo de la carretera; por tal motivo, se busca que la auditoría sea realizada antes de que se lleve a cabo la adquisición de los terrenos para el derecho de vía.

Fase 3: Proyecto Definitivo. Los puntos a considerar son el diseño geométrico (combinación del alineamiento horizontal y vertical, así como la sección transversal), el señalamiento (horizontal y vertical), la iluminación, detalle de las intersecciones, seguridad en las márgenes y la consideración de la vulnerabilidad de los diversos usuarios del camino. Aquí se pretende reducir costos y perturbaciones asociadas con las modificaciones de último minuto, que tuvieron que ser efectuadas en la siguiente fase, ya que siempre resultará más fácil y menos costoso modificar un trazo sobre un plano que reconstruir, modificar o rectificar determinado elemento geométrico, cuando el camino está siendo o ha sido construido.

Fase 4: Pre-apertura. Una auditoría en esta fase se enfoca principalmente en la revisión en campo de todas las características relevantes del proyecto, una vez que ha sido ejecutada la obra, pero antes de que el camino sea abierto al tránsito; en esta revisión se debe considerar la seguridad desde el punto de vista de todos los posibles grupos de usuarios. Su objetivo consiste en asegurar que fueron atendidas las recomendaciones hechas en las etapas anteriores e identificar condiciones peligrosas que no resultaron aparentes en el papel o se generaron por

el proceso de construcción de la obra. En esta fase, la auditoría entra en funciones cuando el auditor (o equipo de auditores) recorre el nuevo camino en los diferentes tipos de vehículos que por él van a circular (y a pie cuando así se requiera); lo anterior tiene la finalidad de verificarlo en sus tres dimensiones y comprobar, que la seguridad de los diferentes usuarios ha sido considerada. Cabe señalar que la inspección nocturna y bajo condiciones climáticas adversas es particularmente importante para revisar la señalización, el trazo, la visibilidad y cualquier otro aspecto que tenga influencia sobre la operación del tránsito.

Fase 5: Carretera en operación. Una auditoría a una carretera en operación tiene dos grandes vertientes. La primera de ellas se refiere al monitoreo de un camino recién abierto al tránsito, el cual haya sido auditado en algunas de las etapas anteriores; en este tipo de caminos, las actividades de una auditoría consisten principalmente en analizar y verificar los aspectos de seguridad bajo condiciones reales de operación. La segunda se relaciona con caminos existentes, con una determinada vida en servicio y que no fueron auditados en ninguna etapa del proyecto; aquí, el propósito fundamental de la auditoría consiste en identificar todas aquellas situaciones que representen un riesgo para la seguridad de los usuarios, conseguir la homogeneidad del camino y debe tomar en cuenta la información sobre accidentes que en él ocurren, ya que esto le permitirá detectar puntos de alto riesgo y conocer la problemática existente en cada uno de ellos, para así poder emitir observaciones y recomendaciones necesarias para llevar a cabo parte de las posibles mejoras de seguridad en los mismos.

Las auditorías son útiles para prevenir accidentes, pero los análisis son únicamente de percepción y algunas herramientas básicas o equipos, pero no se cuenta con modelos para la toma de decisiones que auxilien como criterios en la selección de soluciones, sobre todo en zonas de conflictos como las intersecciones carreteras.

II.2.9 Indicadores de seguridad vial en la Red Carretera Federal (RCF)

Cuevas *et al.* (2011) permite la obtención de índices de seguridad vial en función de características como: tipo de carretera, número de carriles, longitud, tránsito vehicular y accidentes con víctimas de los tramos de la RCF, mediante un modelo que utiliza tres parámetros: la exposición, el riesgo de que suceda una colisión y las consecuencias de la misma; contemplando las siguientes etapas:

- Recopilación de la información base. Consiste en la revisión y consolidación de las bases de datos de accidentes.
- Marco Metodológico. Se integra la información de las características físicas y operativas (tipo de camino, número de carriles, longitud, tránsito diario promedio anual (TDPA) y accidentes con víctimas, para cada uno de los diferentes tramos que conforman la RCF en los cuatro niveles de agregación (ruta, carretera, tramo y segmento de 500 m), de acuerdo a lo establecido en el Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.
- Análisis general. Esta actividad contempla la generación de la distribución porcentual de la longitud para cada tipo de carretera según la clasificación del reglamento (carreteras tipo “ET”, “A”, “B”, “C” y “D”) y la clasificación de la Subsecretaría de Infraestructura DGCC (carreteras tipo corredor, básica y secundaria) y, por supuesto, en función del número de carriles. Posteriormente se realiza la distribución de los accidentes con víctimas (muertos y lesionados), así como de los vehículos-kilómetro con los saldos de accidentes y los vehículos-kilómetro, se calculan los índices de peligrosidad (accidentes con víctimas), mortalidad y morbilidad por vehículos-kilómetro, atendiendo el número de carriles y la clasificación de las carreteras.
- Cálculo de indicadores de seguridad vial. Para obtener los indicadores de seguridad vial, se agrupa la información considerando los siguientes aspectos: Carreteras de cuota y libres de peaje; carreteras de dos y cuatro o más carriles; tipo de carretera según el reglamento. Para cada grupo

de tramos carreteros se realiza un análisis de la distribución de frecuencias del TDPA (frecuencia acumulada y distribución normal), se definieron rangos del TDPA y para cada uno de ellos de acuerdo al desempeño del número de accidentes, muertos y lesionados por kilómetro, determinando los valores del promedio y la mediana; finalmente se calcula un índice de seguridad vial ponderando los valores antes determinados en función de los rangos del TDPA.

Sin embargo, esta herramienta no resulta de carácter preventivo, sino correctivo de puntos negros, basado en la estadística disponible.

II.2.10 Norma ISO 39001:2012

Especifica los requisitos para una seguridad vial, es un sistema de gestión el cual permite a una organización que interactúa con el sistema de tránsito reducir las muertes y lesiones graves relacionadas con los accidentes de tránsito.

Es una norma de sistemas de gestión para la seguridad vial y un medio práctico mediante el cual gobiernos, operadores de flotas de vehículos y todas las organizaciones puedan reducir las muertes y lesiones por accidentes de tránsito, establece requisitos armonizados, basados en la experiencia internacional y de aplicación en todos los países, tiene utilidad para las organizaciones que participan en actividades relacionadas con la seguridad vial, en aspectos tan variados como la auditoría de la eficacia de los programas de seguridad vial, como para el análisis de los “puntos negros”, facilita una serie de indicadores de desempeño que las organizaciones deberán considerar y priorizar dependiendo del contexto de la organización, tales como los indicadores de exposición al riesgo (volumen de tránsito, cantidad de desplazamientos, tipo de usuarios, historial del conductor, tipo de vehículo, modo de transporte, etc.), indicadores finales de resultado de seguridad vial (productividad, costos externos, pérdidas económicas por recuperación de las personas, tratamiento y rehabilitación o pérdidas más amplias como el dolor o el sufrimiento), indicadores intermedio de resultados de seguridad vial (diseño vial, uso

de vías adecuadas, uso de equipos personales de seguridad vial, velocidad de conducción segura, condiciones en que se encuentran los conductores, planificación de los viajes, seguridad de los vehículos, autorización adecuada al tipo de vehículo que se conduce, respuesta posterior al accidente y primeros auxilios, formación de emergencias, recuperación posterior al accidente y rehabilitación, etc.).

II.3 Métodos estadísticos aplicados a la Ingeniería de Tránsito

En este apartado se abordarán los diferentes métodos estadísticos y las distribuciones de probabilidad, y como estos han apoyado a la ingeniería de tránsito para las modelaciones de sus diferentes características, a fin de identificar alguno de ellos con el que se puedan realizar proyecciones para definir la probabilidad de ocurrencia de accidentes en las intersecciones, particularmente aquellas que sean puntos negros dentro de la red de carreteras.

II.3.1 Distribución binomial

Se basa en un conjunto de intentos independientes cuyos resultados consisten solamente de dos eventos mutuamente excluyentes y cuyas probabilidades no varían, siendo la suma de sus probabilidades de éxitos “p”, y “q” la probabilidad de fracasos, “n” el número de intentos y “k” el número de éxitos.

Se utiliza entonces la ecuación:

$$B(k; n, p) = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k q^{n-k}$$

De esta manera la probabilidad de un evento, será dividir el número de éxitos entre el número de intentos.

En la ingeniería de tránsito es común aplicarlas para en función de un cierto nivel de confianza, asegurar que se tengan por ejemplo: el número correcto de

estaciones de cobro en una carretera, o del número de plataformas mínimas para una estación de servicio de combustibles, entre otras.

II.3.2 Distribución de *Poisson*

Esta distribución debe su nombre al matemático francés, *Simeon Denis Poisson* (1781-1840), quien la desarrollo y la divulgó en 1837. Esta distribución tiene aplicaciones importantes en la ingeniería de transporte y Bio-ciencias. Es útil para explicar la distribución de organismos en poblaciones con baja densidad.

Se basa en procedimientos estadísticos de control de la calidad, parece ser la técnica estadística más extensamente usada entre las agencias viales para identificar los sitios peligrosos. Es posible usar esta fórmula como una aproximación en la mayoría de las aplicaciones en las que resulta adecuada la distribución binomial, para $n \geq 100$ y $p \leq 0.05$; pudiendo ser conveniente para representar estadísticamente ciertos datos, independientemente de sus cualidades como aproximación a la distribución binomial.

La ecuación que la representa es:

$$B(k; n, p) = e^{-m} \frac{m^k}{k!} = P(k, m)$$

Además *Poisson*, cuenta con una distribución de conteo, donde se pueden definir la probabilidad, midiendo un intervalo de tiempo constante y determinando el número de vehículos que arriban en cada uno de los intervalos de una secuencia. También se puede utilizar la función de espaciamiento en segundos entre vehículos.

De acuerdo a lo expresado por Cal y Mayor, los supuestos que utiliza la probabilidad de *Poisson* son: primero que cada conductor sitúa su vehículo independientemente de los demás, excepto cuando su espaciamiento es muy pequeño; segundo que para cualquier flujo, el número de vehículos que pasa por un punto en un intervalo de tiempo dado es independiente del número de vehículos que pasan por otro punto durante el mismo intervalo de tiempo; y tercero, el número

de vehículos que pasan por un punto dado en un intervalo de tiempo es independiente del número de vehículos que pasan por el mismo punto duran otro intervalo. Estos principios son básicos para seleccionar cualquier función de probabilidad a utilizar.

II.3.3 Distribución normal

La distribución normal trata con variables continuas, distintas al número discreto de ocurrencias considerado en las distribuciones Binomial y de *Poisson*.

Su expresión matemática es la siguiente:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$$

La función se representa gráficamente como una curva simétrica en forma de campana, en donde la curva alcanza su máximo en el punto $x = 0$, los dos puntos de inflexión ocurren en los puntos $x \pm 1.0$.

La importancia de esta distribución radica en que permite modelar numerosos fenómenos. El uso del modelo normal asume que cada observación se obtiene como la suma de unas pocas causas que son independientes.

El uso en la ingeniería de tránsito es simple y práctica, sobre todo para fines estadísticos y definición del tamaño de muestras en función de un nivel de confianza definido, ya que la distribución muestral es aproximadamente normal, por lo que es simple modelar la distribución de la población mediante éste modelo de probabilidad.

La distribución normal también es importante por su relación con la estimación por mínimos cuadrados, uno de los métodos de estimación más simples.

En probabilidad, la distribución normal aparece como el límite de varias distribuciones de probabilidad continuas y discretas, sin embargo, no permite

modelar fenómenos, por lo que no podría aplicarse a la modelación de las probabilidades accidentes.

La técnica del intervalo de confianza se basa en asumir que la frecuencia de accidentes observados tiene una distribución normal. La técnica involucra el cálculo de un umbral crítico el cual es igual a la media de la muestra, frecuencia o tasa de población de sitios similares, más un múltiplo de la desviación estándar de la muestra. El coeficiente múltiplo depende del grado de confianza decidido.

Un sitio es considerado peligroso si:

$$C_i = \mu + k \sigma$$

Donde: C_i es la frecuencia o tasa de accidentes del sitio, μ es la frecuencia media o tasa de la población de sitios similares, σ es la desviación estándar de la población y k se obtiene de una función de distribución normal ($k = 1.645$ para 95% de nivel de confianza).

II.3.4 Distribución binomial negativa

En estadística la distribución binomial negativa es una distribución de probabilidad discreta que incluye a la distribución de Pascal.

El número de experimentos de Bernoulli de parámetro Θ independientes realizados hasta la consecución del k -ésimo éxito es una variable aleatoria que tiene una distribución binomial negativa con parámetros k y Θ .

La distribución geométrica es el caso concreto de la binomial negativa cuando $k = 1$.

Ladrón de Guevara *et. al.* (2004) sugiere que los datos relacionados con los choques son modelados asumiendo que los accidentes están muy aproximados por un proceso de conteo binomial negativo, mientras que la simultaneidad de los resultados de los choques se modela utilizando técnicas de estimación de modelos simultáneos.

Por un lado se consideran tres variables dependientes: fatalidad, lesiones y accidentes. Y por otro lado las variables independientes incluye económicas, demográficas y las variables de la red carretera.

La ecuación es la siguiente:

$$\lambda_i = \exp(\beta \times X_i + \epsilon_i)$$

Todos los modelos producen previsiones de choque a nivel de zona de análisis de tráfico. Estadísticamente significativas (valores de $p < 0,05$) y las variables teóricamente significativos para el modelo accidente fatal incluyen la densidad de población, las personas de 17 años o más jóvenes como porcentaje de la población total, y la densidad de intersección.

El modelo del accidente fatal, contiene tres variables independientes: la densidad de población, las personas de 17 años o menos, y la densidad de la intersección. El modelo fatal contiene una variable controlada para aumentar el número de los accidentes mortales: la densidad de población. Esta variable relaciona la exposición al riesgo y se cree que reflejan el grado de la interacción entre las personas, con mayor densidad implica una mayor interacción (y posibles conflictos). La corrección de la imprecisión de la densidad de población como una medida de la exposición, el número de menores probabilidades capta dos efectos. En primer lugar, elimina a los que no son conductores de la población de conductores y representa una corrección. En segundo lugar, que representa un contingente de la población con los niños, lo que sugiere que un mayor número de familias que estará en una mayor proporción de responsabilidad que los conductores en promedio.

La densidad de intersección se encuentra relacionada a una disminución de los accidentes fatales. Por lo tanto, como era de esperar, las intersecciones se asocian principalmente con velocidades más lentas, niveles más altos de congestión y más intensa la densidad de población urbana o rural.

El cual se puede representar como sigue:

$$\lambda_i = \exp(0.0508 \times popd - 5.1819 \times pmi - 4.8165 \times int d)$$

El modelo de lesiones por accidentes con lesiones fue seleccionado sobre la base de modelo de selección de criterios. Una variable que diferencia a estos dos modelos es que un modelo incluye la densidad de población como una medición de la exposición, y la segunda incluye millas viajadas por vehículo.

El cual se puede representar como sigue:

$$\lambda_i = \exp(0.1047 \times popd + 0.0498 \times emp + 6.4856 \times int d + 4.4338 \times cla3 + 4.9237 \times cla4 + 3.1058 \times cla7)$$

$$\lambda_i = \exp(3.81E - 06 \times vmt + 0.0498 \times emp + 9.9448 \times intd + 3.4508 \times cla3 + 3.8915 \times cla4 + 3.3115 \times cla7)$$

El modelo accidentes daños a la propiedad incluye las mismas variables utilizadas en el modelo de accidente con lesión diferentes valores de los coeficientes. La diferencia es que el modelo de daños a la propiedad cuenta con coeficientes más grandes, lo que sugiere que los dos resultados de los choques están asociados con un fenómeno similar. Es difícil relacionarse con estadística tendencias y a menudo es predominantemente relacionada con el ángulo de colisión, tipos de accidentes, la edad y la salud de ocupantes, y otras características.

El cual se puede representar como sigue:

$$\lambda_i = \exp(0.0709 \times popd + 0.0720 \times emp + 8.4305 \times int d + 5.2810 \times cla3 + 7.1494 \times cla4 + 4.1106 \times cla7)$$

La aplicación del modelo concluye que útil su aplicación en actividades futuras para la planeación, por lo que no sería un elemento preventivo en términos de la seguridad vial en carreteras.

II.3.5 Distribución exponencial

En estadística la distribución exponencial es una distribución de probabilidad continua con un parámetro $\lambda > 0$ cuya función de densidad es:

$$f(x) = \{\lambda e^{-\lambda x}_0$$

La distribución exponencial es un caso particular de distribución gamma con $k = 1$. Además la suma de variables aleatorias que siguen una misma distribución exponencial es una variable aleatoria expresable en términos de la distribución gamma.

II.4 Comparativa de los métodos utilizados para la seguridad vial y la justificación de mejoras en las intersecciones.

Los métodos ya existentes en su mayoría son muy generales y aunque hablan de la evaluación de las intersecciones en cuanto a su accidentalidad, los conflictos que en esta se presentan, el diseño geométrico, evaluación del alineamiento vertical y horizontal, etc., carecen de fundamentación técnica para poder brindar una respuesta técnica a cerca del cuando es necesario pasar del entronque a nivel a la construcción del entronque a desnivel o simplemente invertir en mejor la intersección.

La alta frecuencia de ocurrencia de accidentes en un sitio, no necesariamente significa que esta ubicación particular está realmente propensa a accidentes. Esta alta frecuencia podría ser causada por las variables aleatorias relacionadas con la ocurrencia de accidentes. Es por esto que se han desarrollado y usado muchas técnicas estadísticas clásicas para identificar la propensión de sitios para accidentes de tránsito basándose en datos históricos. Es conveniente poder evaluar el resultado de su acción a través del tratamiento estadístico de las situaciones antes y después de un cambio operado, así como poder determinar las tendencias y pronósticos de los parámetros relacionados con la circulación vial.

El cuadro 2.1 muestra una comparativa de los diferentes métodos descritos, con ello poder tener un panorama de la situación actual de cómo se justifica técnicamente las mejoras en las intersecciones carreteras.

Cuadro 2.1. Comparativa de métodos para la justificación de mejoras en las intersecciones viales

	Informes de accidentes	Diagramas de choque	Inventario de dispositivos	Horas de mayor tránsito	Estudio de velocidades	Estudio de conflictos	Visibilidad	Semáforos	Tiempo de evasión	Tiempo hasta la Colisión	Tiempo de Post-invasión	Tiempos de espera en la intersección	Densidad de población	Densidad vehicular	Kilómetros recorridos	Diseño geométrico de la carretera	Vulnerabilidad
Análisis de lugares con historial de accidentes	X	X	X	X	X	X	X	X									
Conflictos de tránsito		X		X		X											
Modelo de clasificación de riesgo en intersecciones		X				X			X	X	X						
Método de mejoras para priorizar intersecciones	X											X					
Evaluación de seguridad del programa de zonas conflictivas	X	X	X	X	X	X	X	X				X				X	
Técnica de análisis de accidentes de tránsito	X	X	X		X	X	X										
Método estadístico. Distribución Binomial		X		X		X		X									
Método estadístico. Distribución de Poisson		X		X		X		X									
Método estadístico. Distribución Normal		X		X		X		X									
Método estadístico. Técnica del intervalo de confianza		X		X		X		X									
Método estadístico. Modelo de choque binomial negativo simultaneo						X							X	X	X		
Nivel de servicio de Intersecciones señalizadas incorporando un riesgo de seguridad		X	X			X						X		X		X	X
Auditorias en carreteras			X				X									X	X
Indicadores de seguridad vial en la Red Carretera Federal	X													X	X	X	
Norma ISO 39001:2012				X	X	X		X						X		X	

De acuerdo a la tabla anterior se identifica la oportunidad de explorar la posibilidad de utilizar un método estadístico apropiado que permita de manera preventiva identificar un sitio con alta probabilidad de incidencia de accidentes, ya que todas las metodologías existentes se van más por el lado de la seguridad vial en la intersección y los conflictos de tránsito que esta se presentan, pero no se ha establecido un mecanismo mediante el cual auxilie para visualizar cuando resulta necesario el desarrollo de las intersecciones simples a nivel; el estudiar el tipo de accidentes, su causa, los costos materiales, así como incluir las pérdidas humanas, permite evaluar y comparar contra el costo en construcción y mantenimiento de dicho paso a desnivel, permitiendo justificar un cambio de intersección a nivel a una a desnivel, pero no es una herramienta técnica preventiva, sino un análisis socio-económico, involucrando variables de costo y beneficio.

Una ubicación podría identificarse como peligrosa si su medición de accidentes excede algún nivel crítico, la distribución de probabilidades de Poisson permitiría determinar el número de ocurrencias de un evento en específico, por lo que sí es posible ligar las características de operación del tránsito y de la vía, entonces se obtendría un modelo que permita justificar la necesidad de intersecciones a desnivel en carreteras basados en la probabilidad de ocurrencia de accidentes viales.

III. METODOLOGÍA

Hasta ahora no se ha establecido un mecanismo mediante el cual se auxilien los técnicos para visualizar cuando resulta necesario pasar de las intersecciones simples a nivel, a la construcción de un entronque a desnivel, con uno o más carriles de circulación, el cual nos indique con cierto grado de precisión cuando el nivel de servicio y de seguridad se han visto comprometidos, resultando con esto un peligro para los usuarios.

Dicho mecanismo deberá involucrar variables como la intensidad del tránsito y de su composición en un estado actual y a quien servirá en el futuro, la accidentalidad, el nivel de servicio que dicha intersección brinda al usuario, etc.

Para la comprensión de la problemática y la búsqueda de posibles soluciones para la accidentalidad en los entronques, se busca establecer una herramienta preventiva para la evaluación de los entronques a nivel ya existentes, en los cuales se vea comprometida la seguridad del usuario.

Dicha herramienta será de utilidad a los responsables de la construcción o modernización de carreteras como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en el ámbito Federal y sus similares en los estados que integran el país.

La herramienta tiene como base la utilización de la distribución de *Poisson*, cuyo desarrollo se describe a continuación. Posterior a ello se hablará de los métodos de ingeniería de tránsito, con los cuales recabaremos la información de las variables de tránsito para revisar el modelo desarrollado.

La figura 3.1 muestra un esquema de cómo se llevó a cabo la metodología del proyecto de investigación mediante el cual se pueda evaluar las intersecciones a nivel en función de la probabilidad de ocurrencia de accidentes de acuerdo a la distribución de *Poisson*.

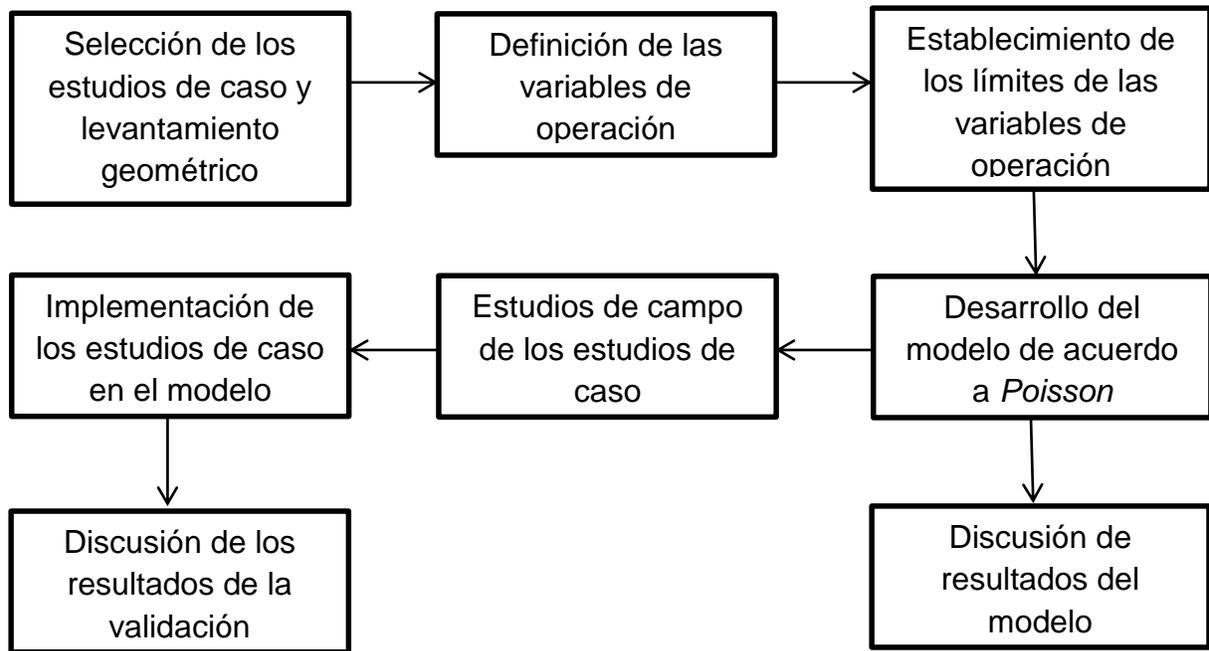


Figura 3.1. Metodología del proyecto

III.1 Selección de los casos de estudio

De acuerdo a su geometría se seleccionaran dos tipos de intersecciones para realizar el análisis, una de ellas será del tipo “T” y la otra en cruz “+”.

Para las intersecciones tipo se definirán las variables de operación de acuerdo a los casos más comunes que se presentan en las carreteras en México, que incluya un análisis de sensibilidad de dichas variables. Las variables del tránsito a utilizar son: volúmenes de tránsito, velocidad de operación, y en su caso la clasificación vehicular.

Se determinarán las condiciones de diseño geométrico ideales para las intersecciones tipo, tales como ancho de carriles, número de carriles, distancia de visibilidad, etc.

La figura 3.2 muestra el esquema de cada intersección de estudio, conforme al Manual de Capacidad Vial del *Transportation Research Board*.

Para el caso de las intersecciones de los casos de estudio se deberán hacer una serie de estudios para determinar el inventario físico y geométrico:

- Localización
- Levantamiento Topográfico
- Inventario Físico
- Inventario Geométrico
- Inventario de Dispositivos

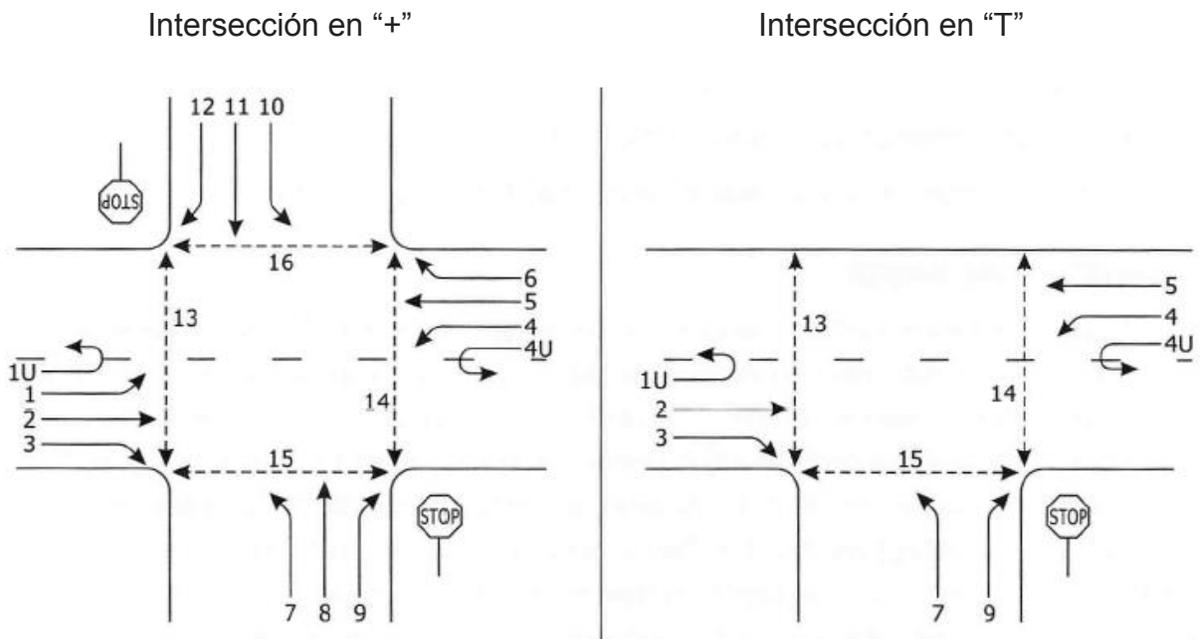


Figura 3.2. Diagrama de las intersecciones de estudio.

Fuente: HCM, 2010.

III.2 Definición de las variables de operación

III.2.1 Volúmenes de tránsito

El volumen de tránsito es el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado y se expresa como:

$$Q = \frac{N}{T}$$

Dónde:

Q = Vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo).

N = Número total de vehículos que pasan (vehículos).

T = Periodo determinado (unidades de tiempo).

Dado el carácter dinámico que presentan los volúmenes de tránsito, es necesario conocer las variaciones periódicas que tiene el mismo dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los días de la semana y en los meses del año. Así mismo, se debe considerar las variaciones de los volúmenes de tránsito en función de su distribución por carriles, su distribución direccional, y su composición.

De acuerdo a la unidad de tiempo en que son medidos se utilizan para:

- Determinar la longitud y magnitud de los periodos de máxima demanda.
- Evaluar las deficiencias de capacidad.
- Establecer controles en el tránsito, como: colocación de señales, semáforos y marcas viales; Jerarquización de calles, sentidos de circulación y rutas de tránsito; y prohibición de estacionamiento, paradas y maniobras de vueltas.
- Proyectar y rediseñar geoméricamente calles e intersecciones.

El valor obtenido de un volumen horario de máxima demanda, no necesariamente es constante a lo largo de toda la hora, existen periodos dentro de la hora donde las tasas de flujo son mayores a la de la hora misma.

Para hacer un análisis de las variaciones de volumen de tránsito en la hora de máxima demanda se utiliza el factor horario de máxima demanda que relaciona el volumen horario de máxima demanda con el flujo máximo. Su fórmula matemática es:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(q_{max})}$$

Donde:

FHMD = Factor Horario de Máxima Demanda

VHMD = Volumen Horario de Máxima Demanda

N = Número de periodos durante la hora de máxima demanda

qmáx = Flujo máximo

Los periodos de tiempo dentro de la hora de máxima demanda pueden ser 5, 10, 15 minutos.

Para un periodo de 15 minutos se tiene:

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 \times (q_{max})}$$

El máximo valor que puede alcanzar el FHMD es la unidad, que significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos dentro de la hora, cuanto más inferior a la unidad sea el valor de FHMD indica que existen concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora.

III.2.2 Velocidad

La velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de que ella origine un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la vía, de tal manera que siempre se garantice la seguridad.

En la Ingeniería de Tránsito se habla de dos velocidades principalmente, la velocidad de punto o instantánea y la velocidad media temporal.

III.2.2.1 Velocidad media temporal

Es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo seleccionado.

Se dice entonces, que se tiene una distribución temporal de velocidades de punto. Para datos de velocidades de velocidades de punto. Para datos de velocidades de punto no agrupados, matemáticamente la velocidad media temporal se define como:

$$\bar{V}_t = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

Donde:

V_t = Velocidad media temporal

V_i = Velocidad del vehículo i

n = Número total de vehículos observados ó tamaño de la muestra

III.2.2.2 Velocidad de punto

Es la velocidad de un vehículo cuando pasa por un punto determinado de una calle o vía general. El estudio de velocidad de punto está diseñado para medir

las características de la velocidad, prevalecientes a la hora de llevar a cabo el estudio. Para tener una evaluación estadística confiable se deben registrar las velocidades de un número adecuado de vehículos.

Las características de la velocidad de punto se emplean en la mayoría de las actividades de la ingeniería de tránsito, incluyendo las siguientes:

- a) Determinación de los dispositivos para el control y reglamentos del tránsito apropiados: i) Límites de velocidad, mínimos y máximos. ii) Velocidades recomendadas. iii) Zonas de rebase prohibido. iv) Rutas, zonas y cruces escolares. v) Ubicación de señales de tránsito. vi) Ubicación y programación de los semáforos.
- b) Estudios de lugares de alto índice de accidentes, para determinar el tratamiento correctivo apropiado.
- c) Evaluación de la eficacia de las mejoras al tránsito, mediante la aplicación de estudios de “antes y después”.
- d) Análisis de lugares críticos donde los problemas son evidentes o por haberse recibido quejas de residentes o usuarios.
- e) Determinación de lugares específicos para ejercer mayor vigilancia policíaca.
- f) Selección de los elementos para el proyecto geométrico de la vialidad: i) Velocidad de proyecto para establecer la relación entre la velocidad, la curvatura y la sobre elevación, así como la relación entre la velocidad, las pendientes y la longitud con el grado de las mismas. ii) Velocidad de marcha para permitir el proyecto detallado de aspectos críticos, tales como: intersecciones, retornos y carriles para el cambio de velocidad.
- g) Establecimiento de tendencias de la velocidad para los diferentes tipos de características de los vehículos, mediante muestreos periódicos, en lugares seleccionados, con el flujo del tránsito continuos.
- h) Cálculo de los costos usuario-vía, para el análisis económico y de mejoras al tránsito.
- i) Ejecución de estudios de investigación que involucren flujos del tránsito.

III.2.3 Tiempo de reacción y tiempos de maniobras de los vehículos en las intersecciones

Tiempo de reacción

Es el tiempo entre ver, oír, o sentir, y empezar a actuar en respuesta al estímulo de una situación del tránsito o del camino.

Idealmente esta respuesta del conductor requiere tiempo para percepción, intelección, emoción y volición (voluntad).

Mientras más compleja es la situación, el conductor requiere de más tiempo para hacer una evaluación apropiada de todos los factores que intervienen, con el fin de reaccionar con seguridad.

El tiempo de reacción puede variar de 0.5 segundos, hasta 3 ó 4 seg.

Los tiempos de reacción del conductor están involucrados en la determinación de distancia de visibilidad de parada, velocidad de seguridad en los accesos a intersecciones y en la programación de semáforos.

Maniobras de los vehículos en las intersecciones

En el área de la intersección, un conductor puede cambiar de la ruta sobre la cual ha venido manejando, a otra diferente trayectoria o cruzar la corriente de tránsito que se interpone entre él y su destino.

Cuando un conductor cambia de la ruta, será necesario salir de la corriente de tránsito (divergencia) e incorporarse a una nueva trayectoria (convergencia), o simplemente cruzar. Estas maniobras son que se presentan en toda área de conflicto en las intersecciones.

Las maniobras de divergencia, convergencia y cruce requieren un tiempo mínimo para realizar la maniobra de acuerdo a las distancias que se presentan en la intersección para evitar cualquier posible conflicto.

La figura 3.3, muestra gráficamente como se representa la relación tiempo distancia en una intersección tipo para la maniobra de cruce.

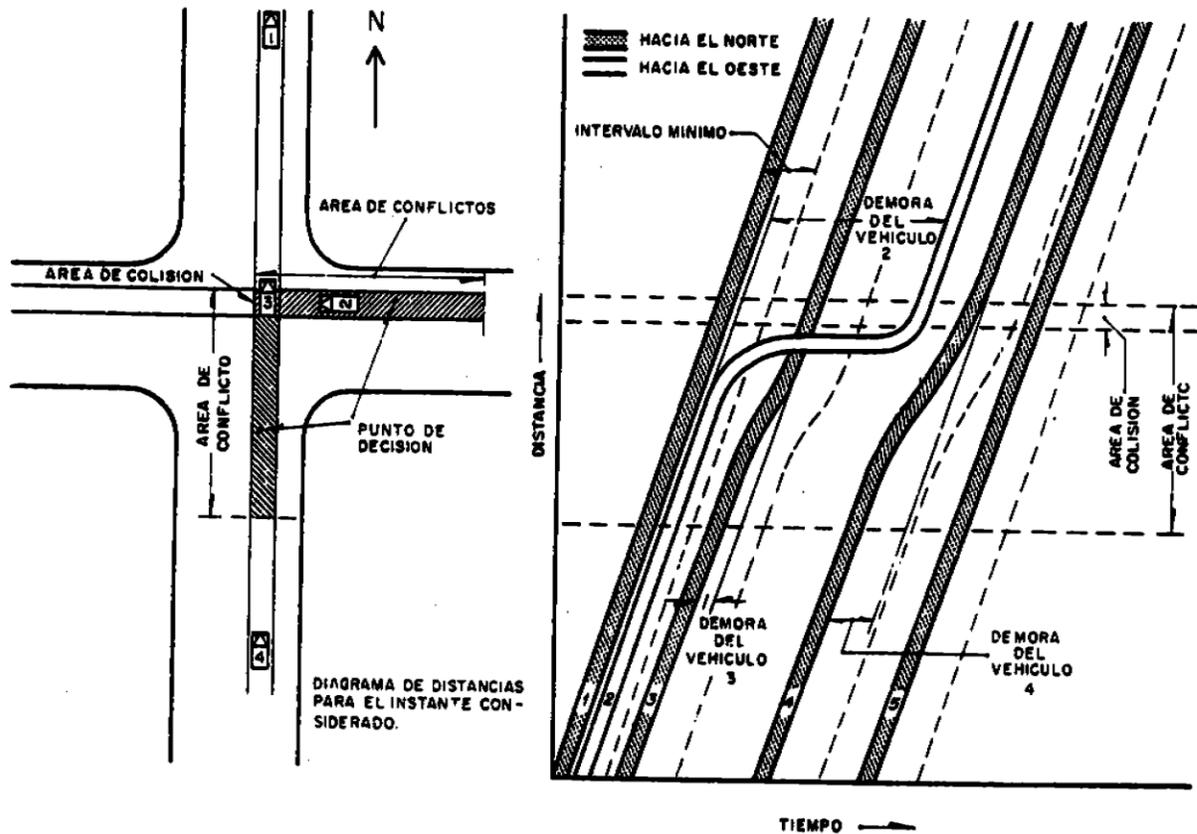


Figura 3.3. Relación tiempo-distancia en intersecciones

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. SCT (1191)

Se deberá determinar para las intersecciones de estudio el tiempo necesario para realizar las maniobras de acuerdo a las velocidades y a la geometría de cada una de ellas.

III.3 Estimación de los límites de las variables de operación

Los límites de las variables de tránsito que se utilizaran para el desarrollo del modelo son importantes, dado que establecen los valores máximos y mínimos que incluyen en la caracterización del tránsito.

Las variables de las cuales se detallará dichos valores son, el volumen de tránsito, la velocidad y el tiempo de maniobra.

III.3.1 Volumen de tránsito

De acuerdo al Manual de Capacidad Vial del *Transportation Research Board* en su versión 2010, la capacidad en el carril principal será de 1800 vehículos ligeros por hora.

Por lo que el análisis de probabilidades comenzará desde un 10% de ese valor, hasta incrementar porcentualmente dicho valor del 0, 20, 40, 50, 60, 80 y 100 por ciento, para cada uno de los movimientos, hasta alcanzar su máxima capacidad.

Se realizarán dichos incrementos tanto para el camino principal como para el camino secundario y sus posibles combinaciones del tránsito.

III.3.2 Velocidad

La velocidad máxima que establece de operación las vialidades es de 70 Km/h, sin embargo, para las estimaciones de ésta investigación se utilizaran las velocidades determinadas en campo, para contar con datos reales de operación, dado que en ambos casos de estudio son sensiblemente mayores.

Los resultados se mostraran en el capítulo siguiente.

III.3.3 Tiempo de maniobra

El tiempo estimado para las intersecciones de estudio fue de 4 segundos, incluyendo el tiempo de reacción, y el tiempo necesario para la maniobra de acuerdo al movimiento rectilíneo uniformemente variado, sin embargo, este valor no fue utilizado dado que resultan más conservadores los que establece el HCM.

De acuerdo al Manual de Capacidad Vial del *Transportation Research Board* en su versión 2010, la ecuación para calcular el tiempo de cruce en intersecciones con dos señales de alto sería:

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV}P_{HV} + t_{c,G}G - t_{3,LT}$$

Donde:

$t_{c,x}$ = Intervalo de tiempo crítico para el movimiento X (segundos)

$t_{c,base}$ = Intervalo de tiempo base (segundos)

$t_{c,HV}$ = Ajuste por la presencia de vehículos pesados (El valor será 1.0 para intersecciones de un solo carril por sentido, y 2.0 para dos o tres carriles)

P_{HV} = Proporción de vehículos pesados, expresados en decimal (Ejemplo: 0.02 para el 2% de vehículos pesados)

$T_{c,G}$ = Ajuste por pendiente (0.1 para los movimientos 9 y 12, y 0.02 para los movimientos 7, 8, 10 y 11, ver figura 3.2) (segundos)

G = Pendiente en porcentaje (se expresa como $G=-2$ para una pendiente descendente del 2%)

$T_{3,LT}$ = Factor de ajuste por la geometría de la intersección (0.7 para la vuelta izquierda en calle secundaria, y 0 para las demás)

El cuadro 3.1, muestra los valores críticos que se utilizarán para la estimación de los tiempos de maniobra.

Cuadro 3.1. Valores críticos para intersecciones con dos altos

Tipo de movimiento	Intervalos críticos de tiempo			
	2 carriles	4 carriles	6 carriles	
Vuelta izquierda desde el camino principal	4.1	4.1	5.3	
Vuelta en “U” desde el camino principal	N/A	6.4 (amplia) 6.9 (estrecha)	5.6	
Vuelta derecha desde el camino secundario	6.2	6.9	7.1	
	1 Movimiento	6.5	6.5	6.5*
Cruce de frente sobre la menor	2 Movimientos (I)	5.5	5.5	5.5*
	2 movimientos (II)	5.5	5.5	5.5*
Vuelta izquierda desde el camino secundario	1 Movimiento	7.1	7.5	6.4
	2 Movimientos (I)	6.1	6.5	7.3
	2 movimientos (II)	6.1	6.5	6.7

*Usar con precaución; valores estimados.

Fuente: HCM, 2010.

De acuerdo a lo anterior, tendremos que para la intersección en “T” los tiempos serían:

$$t_{c,x} = 4.1 + (1.0)(0.137) + (0.2)(0) - 0$$

$$t_{c,x} = 4.237 \text{ segundos (movimiento 7)}$$

$$t_{c,x} = 7.1 + (1.0)(0.149) + (0.2)(0) - 0.7$$

$$t_{c,x} = 6.549 \text{ segundos (movimiento 4)}$$

Dado que se tienen dos valores únicamente utilizaremos el crítico, que es el movimiento 4, el cual demanda más tiempo de cruce para la realización de la maniobra, es decir 6.5 segundos.

Para la intersección en “+” tendremos que los tiempos serían:

$$t_{c,x} = 4.1 + (1.0)(0.147) + (0.2)(0) - 0$$

$$t_{c,x} = 4.247 \text{ segundos (movimiento 4)}$$

$$t_{c,x} = 7.1 + (1.0)(0.252) + (0.2)(0) - 0$$

$$t_{c,x} = 7.352 \text{ segundos (movimiento 10)}$$

$$t_{c,x} = 6.5 + (1.0)(0.238) + (0.2)(0) - 0$$

$$t_{c,x} = 6.738 \text{ segundos (movimiento 11)}$$

$$t_{c,x} = 4.1 + (1.0)(0.167) + (0.2)(0) - 0$$

$$t_{c,x} = 4.267 \text{ segundos (movimiento 1)}$$

$$t_{c,x} = 7.1 + (1.0)(0.355) + (0.2)(0) - 0$$

$$t_{c,x} = 7.455 \text{ segundos (movimiento 7)}$$

$$t_{c,x} = 6.5 + (1.0)(0.254) + (0.2)(0) - 0$$

$$t_{c,x} = 6.754 \text{ segundos (movimiento 8)}$$

Dado que se tienen seis valores únicamente utilizaremos el crítico, que corresponde al movimiento 7, el cual demanda más tiempo de cruce para la realización de la maniobra, es decir 7.5 segundos.

III.4 Desarrollo del modelo

El modelo a desarrollar se centra en el uso de distribuciones de probabilidad. El uso de las distribuciones de probabilidad constituye una herramienta básica para predecir el comportamiento futuro de diferentes acontecimientos o fenómenos naturales.

Las distribuciones de probabilidad están integradas por variables que pueden ser asociadas a las características del tránsito y de la vialidad, sí las aplicáramos a la ingeniería de tránsito.

La distribución de probabilidades de *Poisson*, da la probabilidad del número de ocurrencias por unidad especificada, y es definida completamente por su promedio de ocurrencia por unidad especificada como su único parámetro. Dado el promedio de ocurrencias por unidad especificada, de una variable de *Poisson*, X , la función masa probabilidad se da como:

$$P_r = (x; \lambda) = e^{-\lambda} (\lambda^x / x!)$$

Donde P_t representada la notación funcional de una distribución de Poisson y es una constante aproximadamente igual a 2.71828.

La función de distribución acumulativa es una variable de *Poisson*, que, como en cualquier caso discreto, se obtiene sumando el número de la probabilidad de "r" o menos ocurrencias. La expresión matemática es:

$$P_t = (r, \lambda) = \sum P_t(x, \lambda) \quad (1)$$

Las pruebas muestran que es posible usar esta fórmula como una aproximación en la mayoría de las aplicaciones en las que resulta adecuada la distribución binomial, sí por otro lado debe conservarse en mente que la distribución de *Poisson* puede ser conveniente para representar estadísticamente ciertos datos, independientemente de sus cualidades, como una aproximación a la distribución binomial.

Poisson al aplicarse en la ingeniería de tránsito a eventos como la llegada aleatoria de vehículos a un punto sobre una vialidad y su ocurrencia de accidentes nos permite obtener una ecuación del tipo siguiente:

$$P(x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!} \quad (2)$$

Donde:

$P(x)$ = probabilidad de "x" ocurrencias de un evento en particular durante un periodo de tiempo dado;

x = número de ocurrencias durante un período de tiempo dado;

m = número medio de ocurrencias en un período de tiempo dado.

Dicho planteamiento se pretende aplicar a la probabilidad de ocurrencia de accidentes entre dos vialidades que conforman una intersección, en función de sus volúmenes de tránsito, velocidades de operación y características geométricas de la vialidad.

III.5 Estudios de campo de Ingeniería de Tránsito

Dentro de la metodología se requiere la realización de dos estudios principalmente, volúmenes de tránsito y velocidad de punto.

III.5.1 Volúmenes de tránsito

Existen dos métodos básicos de aforo, el mecánico (registro automático) y el manual, en nuestro caso se decidió el método manual, ya que al tratarse de intersecciones, se requiere un mayor detalle de la clasificación vehicular y de los movimientos direccionales.

Aforo Manual

En su forma elemental se requiere observar con un lápiz y un formulario especial. Si el lugar es una intersección con bajo movimiento vehicular, un observador podrá controlarla, pero si el volumen es alto en la intersección con control de flujo sería necesario dos o más personas.

Uno o más aforadores pueden emplearse de manera que se observe y obtenga la información detallada de:

- Clasificación vehicular (camiones por tamaño, peso, número de ejes, etc., autobuses, automóviles, motocicletas, bicicletas)
- Movimientos direccionales en una intersección o en una entrada
- Dirección del recorrido
- Procedencia de los vehículos por medio de las placas
- Movimientos peatonales en los pasos de peatones y en las aceras, y/o clasificación por edad (escolar o adulto)
- Uso del carril y/o longitud de colas
- Número de pasajeros por vehículos (ocupación).
- Obediencia a los dispositivos para el control del tránsito

Los periodos de aforo deben efectuarse en días típicos y en los periodos de mayor movimiento vehicular. Generalmente estos períodos son de 07:00 - 09:00; 12:00 a 14:00 y de 18:00 a 20:00 horas. Las observaciones deben efectuarse en intervalos de 15 minutos.

Los días de aforo, se recomienda puedan ser los martes, miércoles y jueves de la semana. Estos días suelen ser lo de mayor representatividad de acuerdo a la Ingeniería de Tránsito.

Los resultados de los aforos se muestran en el capítulo siguiente.

III.5.2 Velocidad de punto

Los estudios de velocidad de punto se efectúan en lugares especiales o generales.

Las ubicaciones generales son seleccionadas para estudio de tendencias o investigación de datos básicos del tránsito. En carreteras, los estudios de tendencias se hacen en tramos rectos, a nivel y que no estén cerca de intersecciones o accesos. En las calles urbanas las ubicaciones a media cuadra son las más adecuadas, siempre y cuando no existan entradas y salidas de estacionamiento, que influyan en el flujo vehicular.

Las ubicaciones especiales son elegidas para establecer límites de velocidad en tramos específicos de calles o carreteras; para evaluar mejoras en el tránsito y para estudiar lugares de accidentes.

Para obtener una estimación imparcial y precisa de las velocidades de punto en un lugar específico, deben observarse los aspectos siguientes:

- El equipo debe estar oculto a los conductores que se acercan.
- El investigador que tuviera necesidad de observar los vehículos que se aproximan, deben ser lo menos llamativo que sea posible.

- Deben evitarse los curiosos.
- Deben medirse un número adecuado de velocidades de los vehículos.

Un buen estudio de velocidad de punto requiere de un tamaño adecuado de la muestra, para satisfacer consideraciones estadísticas.

La siguiente ecuación puede ser usada para calcular el número de velocidades que deben medirse:

$$N = \left(\frac{SK}{E} \right)^2$$

Donde:

N = Tamaño mínimo de muestra.

S = Desviación normal de la muestra (km/h o mi/h).

K = Constante correspondiente al nivel de confiabilidad deseado.

E = Error permitido en la estimación de la velocidad de punto (km/h o mi/h).

La hora para hacer un estudio de velocidad de punto, dependerá del objetivo del mismo. Un estudio general para establecer límites de velocidad, para obtener datos básicos o revisar tendencias, deberá llevarse a cabo durante uno de los tres períodos siguientes fuera de las horas de máxima demanda:

- 10:00 a 12:00
- 15:30 a 17:30
- 20:00 a 22:00

Los datos de velocidad pueden recopilarse por métodos manuales o automáticos. El método automático emplea dispositivos eléctricos y/o mecánicos, para medir las velocidades de los vehículos al pasar. El radar es el dispositivo automático empleado para medir velocidades de punto.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se mostrarán conforme los pasos descritos en la metodología del capítulo anterior.

Para contar una mayor accesibilidad a los puntos de estudio y facilitar los traslados a ellos y obtener la información de campo, se seleccionaron dos intersecciones carreteras cercanas a la ciudad de Querétaro.

La figura 4.1 muestra la localización espacial de las intersecciones.



Figura 4.1. Localización de los casos de estudio

Fuente: Elaboración propia con imágenes del Google Maps.

IV.1 Levantamiento geométrico de las intersecciones para los estudios de caso

Para la intersección en “T” se seleccionó el entronque de la carretera estatal 400 y 420, que conforma la red de caminos del estado de Querétaro.

La figura 4.2 muestra los resultados del levantamiento geométrico mediante el cual se determinaron las variables físicas de la intersección en “T”.

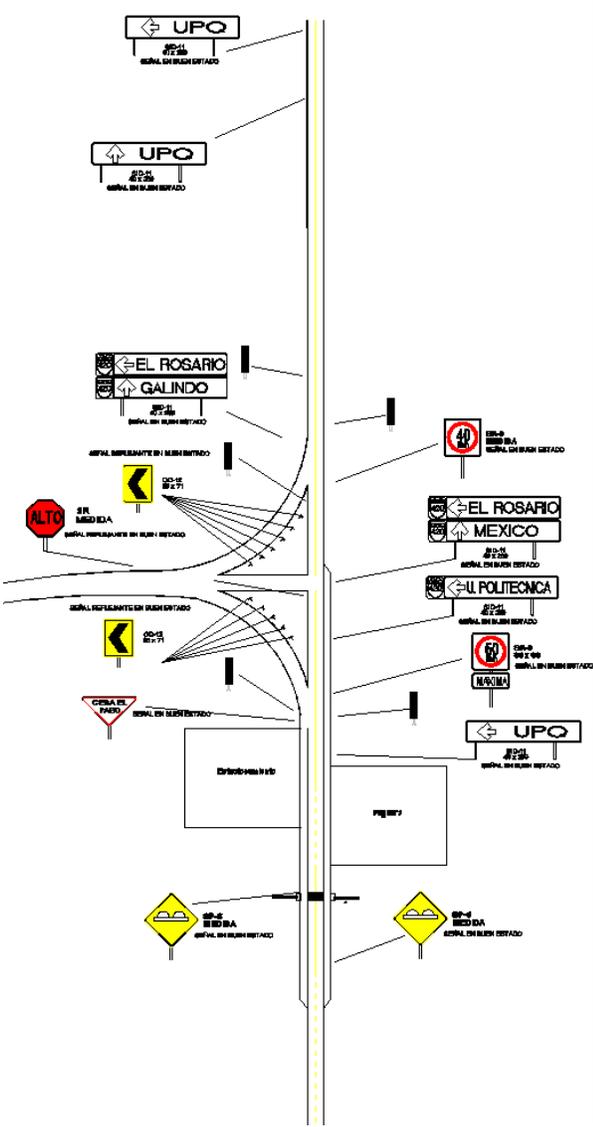


Figura 4.2. Levantamiento geométrico de la intersección en “T”.

Fuente: Elaboración propia

- Vialidad secundaria
 - Volumen en la hora de máxima demanda = 817 vehículos
 - Tasa de flujo equivalente (V_s) = 1034 Vehículos ligeros/hora/carril.
 - Velocidad de punto 85 percentil = 80 km/hr o 49.7 mi/hr.

Se obtuvieron los niveles de servicio en los cuales se encuentran las vialidades, siguiendo la metodología descrita por el *Highway Capacity Manual* (2010) para carreteras de dos carriles, tenemos que para la vialidad principal se encuentran en un nivel de servicio “E”, estando ésta en el límite de su capacidad de funcionamiento, en la cual la velocidad se reduce a un valor bajo y uniforme, resultando difícil la libertad de maniobra, con poca comodidad; para la vialidad secundaria nos resulta una nivel de servicio “C”, presentándose un flujo estable, pero marcando el comienzo del dominio en que los usuarios se ven afectados por las interacciones con otros usuarios, la velocidad y libertad de maniobra se ven afectadas, descendiendo el nivel de comodidad.

Caso 2. Entronque en “+”.

Los datos de operación de las intersecciones de estudio son los siguientes:

- Vialidad principal
 - Volumen en la hora de máxima demanda = 989 vehículos
 - Tasa de flujo equivalente (V_p) = 1242 Vehículos ligeros/hora/carril.
 - Velocidad de punto 85 percentil = 79 km/hr o 49 mi/hr.

- Vialidad secundaria
 - Volumen en la hora de máxima demanda = 591 vehículos
 - Tasa de flujo equivalente (V_s) = 777 Vehículos ligeros/hora/carril.
 - Velocidad de punto 85 percentil = 65 km/hr o 40.4 mi/hr.

Se obtuvieron los niveles de servicio en los cuales se encuentran las vialidades, siguiendo la metodología descrita por el *Highway Capacity Manual* (2010) para carreteras de dos carriles, tenemos que tanto para la vialidad principal, así como para la vialidad secundaria, se encuentran en un nivel de servicio “D”, en la que se tiene una densidad elevada aunque estable, la velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas y experimentando el usuario un nivel de comodidad bajo, un ligero incremento en el flujo puede ocasionar problemas de funcionamiento.

IV.3 Desarrollo del modelo de acuerdo a *Poisson*

Aplicando la distribución de probabilidades de *Poisson* para determinar el número de ocurrencias de accidentes en las intersecciones, ligando las características de operación del tránsito y de la vía en ambos casos, tenemos:

Usando la fórmula de distribución de *Poisson* al evento, como la llegada aleatoria de vehículos a un punto sobre una vialidad y su ocurrencia de accidentes:

$$P(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \quad (3)$$

Calculando la probabilidad de que pasen uno o más vehículos por la principal:

$$p(1 \text{ o más}) = 1 - p(0) \quad (4)$$

$$p(0) = \frac{\lambda_p^0 e^{-\lambda_p}}{0!} \quad (5)$$

$$p(1 \text{ o más}) = 1 - e^{-\lambda_p} \quad (6)$$

$$\lambda_p = \frac{VHMD_p}{3600} \quad (7)$$

Donde:

VHMDp = Volumen horario de máxima demanda

Calculando la probabilidad de que pasen uno o más vehículos en la vialidad secundaria es:

$$p(1 \text{ o más}) = 1 - p(0) \quad (4)$$

$$p(0) = \frac{\lambda_s^0 e^{-\lambda_s}}{0!} \quad (8)$$

$$p(1 \text{ o más}) = 1 - e^{-\lambda_s} \quad (9)$$

$$\lambda_s = \frac{VHMD_s}{3600} * (\text{tiempo de maniobra}) \quad (10)$$

En este caso el valor del número medio de ocurrencias en un período de tiempo dado se debe multiplicar por el tiempo necesario para realizar la maniobra, el cual representa el estimado del tiempo en segundos que requiere un vehículo para realizar la maniobra (vuelta izquierda desde el camino principal, vuelta izquierda desde el camino secundario, o de cruce).

La probabilidad de ocurrencia de accidentes será entonces:

$$P_{oa} = p(1 \text{ o más})_p * p(1 \text{ o más})_s \quad (11)$$

Donde:

P_{oa} = Probabilidad de ocurrencia de accidentes entre vehículos.

$p(1 \text{ o más})_p$ = Es la probabilidad de que pase uno o más vehículos en el tiempo de estudio en la vialidad principal.

$p(1 \text{ o más})_s$ = Es la probabilidad de que pase uno o más vehículos en el tiempo de estudio en la vialidad secundaria.

$$P_{oa} = p(1 - e^{-\lambda_p})_p * p(1 - e^{-\lambda_s})_s \quad (12)$$

Mediante el análisis anterior se graficaron de acuerdo a cada uno de los movimientos existentes en los entronques en “T” y “+” los flujos vehiculares, en donde se trataron de representar todas las posibles combinaciones de los flujos vehiculares que se podrían presentar en la intersección, para el entronque en “T” se usaron los 6 movimientos existentes en esta y para el entronque en “+” se utilizaron las 12 diferentes movimientos que pueden haber en esta intersección, una vez teniendo los movimientos, se comenzó a introducir distintos volúmenes de tránsito, variándolos a su vez todos estos entre sí en porcentajes del 0, 20, 40, 50, 60, 80 y 100 por ciento, para con esto tratar de abarcar al máximo todos los posibles flujos vehiculares que se podría presentar en la intersección, el detalle de los cálculos por su tamaño se incluyen en el apéndice 1.

De lo resultados de las probabilidades y sus interacciones entre la vialidad principal y la secundaria, se procedió a elaborar una serie de graficas que representan la probabilidad de ocurrencia de un accidente de un automóvil de la carretera principal con un automóvil de la carretera que se incorpora

La figura 4.4 y 4.5 muestra los resultados de lo cálculo comentados para las intersecciones en “T” y “+” respectivamente.

Una vez analizadas las gráficas, se delimitó mediante una curva adicional los flujos para los cuales la probabilidad de que ocurriera un accidente es mayor al 25, 50 y 75 por ciento, en donde se considera que la clasificación de riesgo en intersecciones menor a 25% es baja, entre 25 y 50% es media, de 50 a 75% es alta y mayor a 75% es muy alta, considerando que una probabilidad mayor al 50% podría representar el límite sobre el cual se pueda asumir la decisión de construir una intersección a desnivel.

La figura 4.6 y 4.7 muestran las gráficas de probabilidades incluyendo la línea de probabilidades del 25, 50 y 75%.

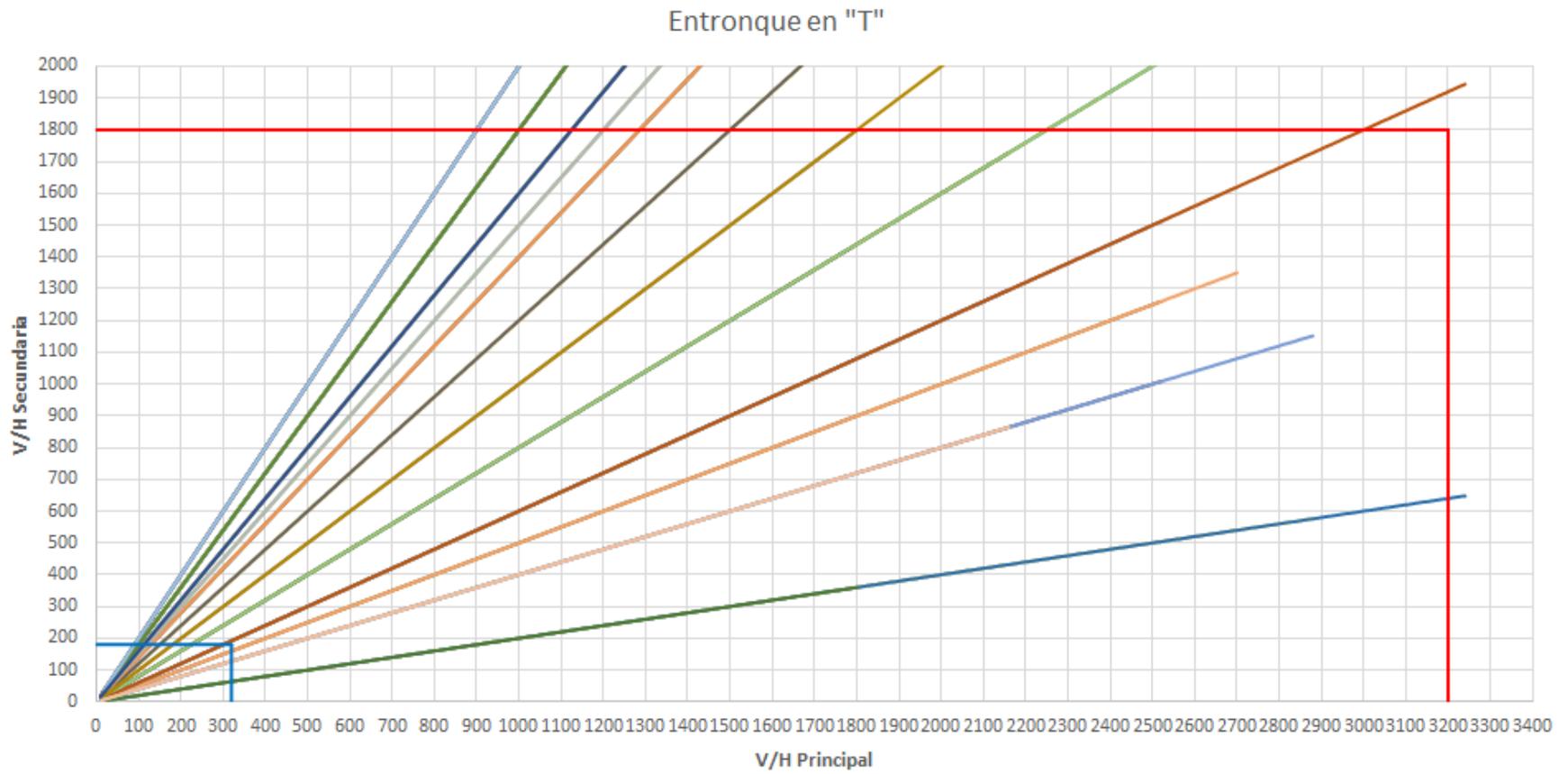


Figura 4.4. Modelación de la probabilidad de *Poisson* para el entronque en "T".

Fuente: Elaboración propia

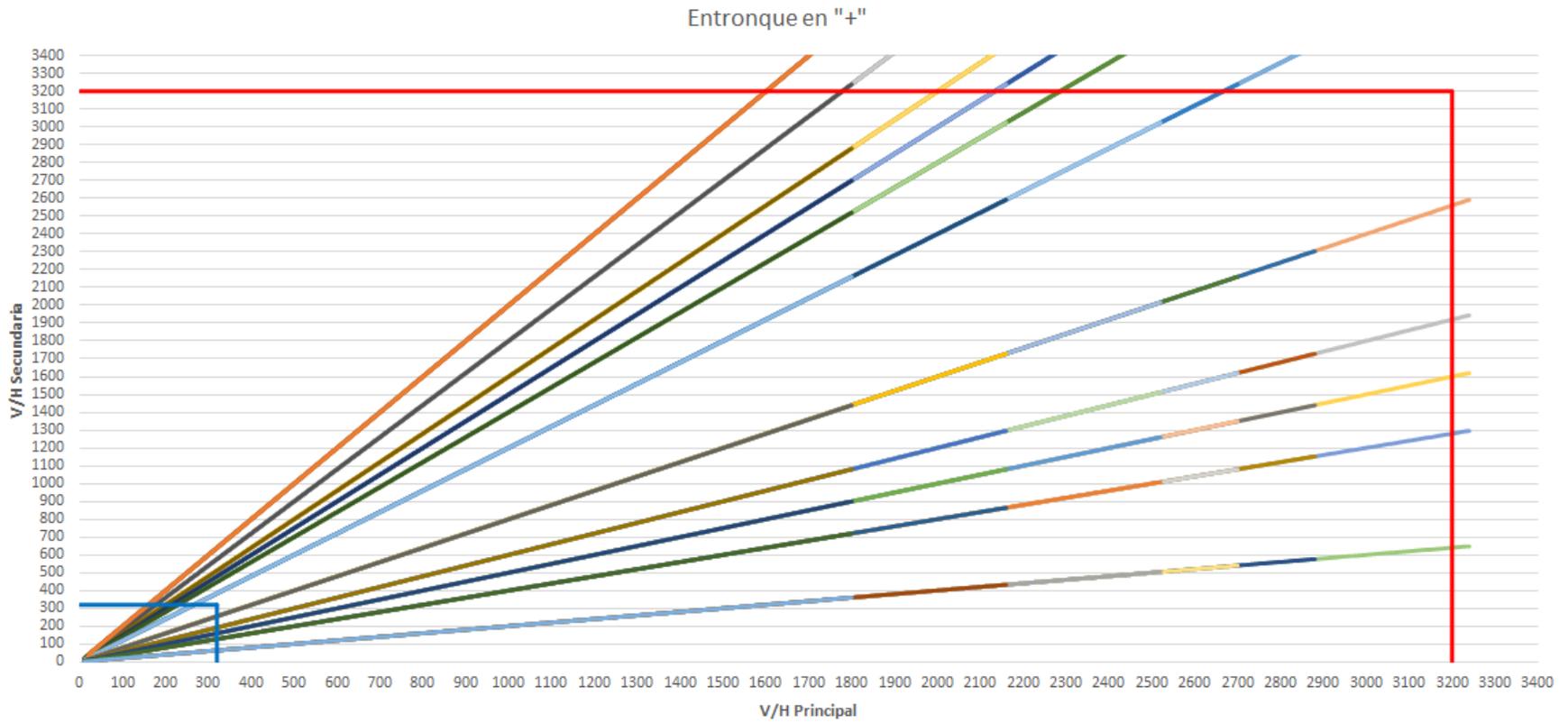


Figura 4.5. Modelación de la probabilidad de *Poisson* para el entronque en “+”.

Fuente: Elaboración propia

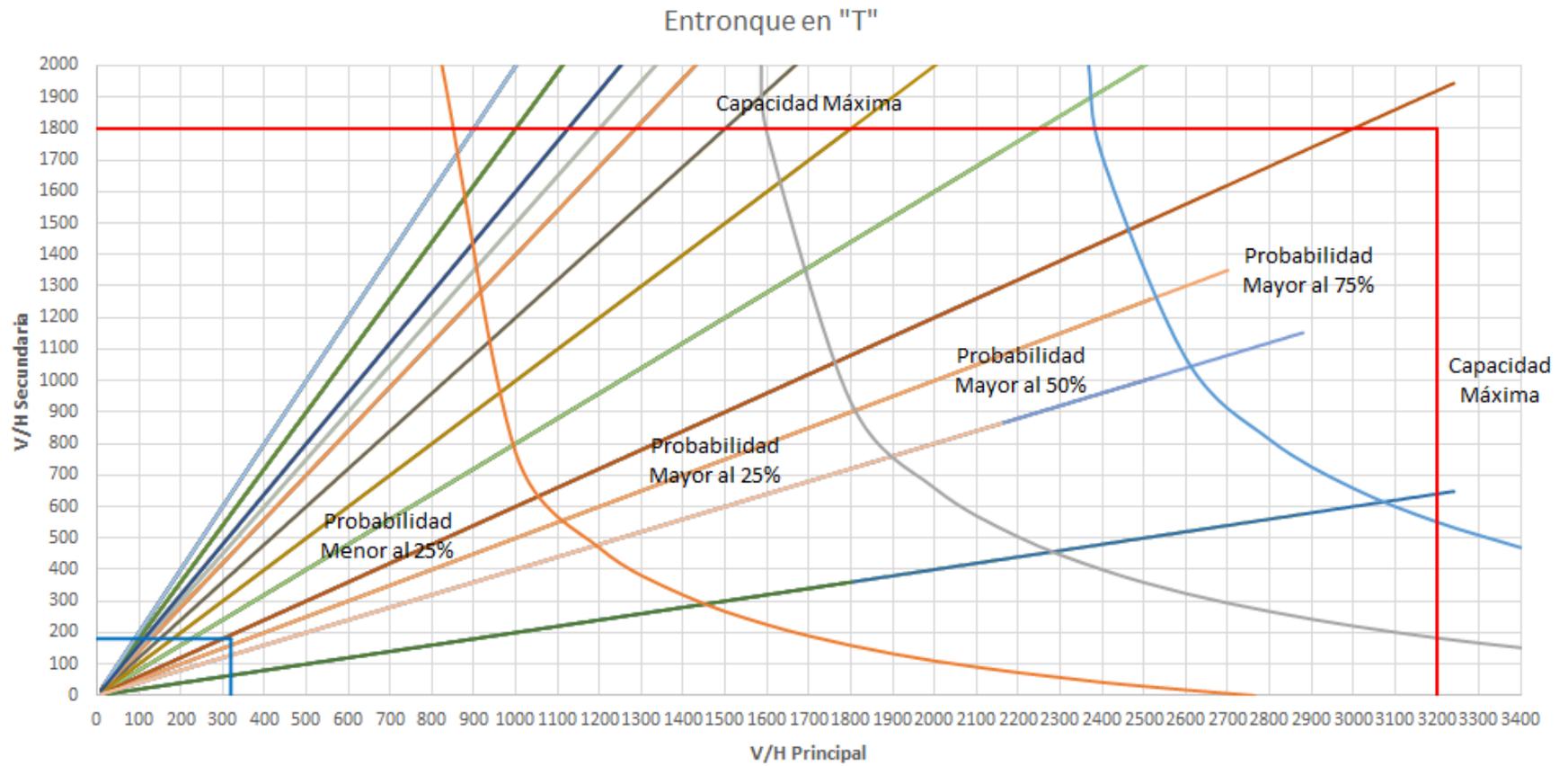


Figura 4.6. Modelación de la probabilidad de *Poisson* para el entronque en "T" con sus límites.

Fuente: Elaboración propia

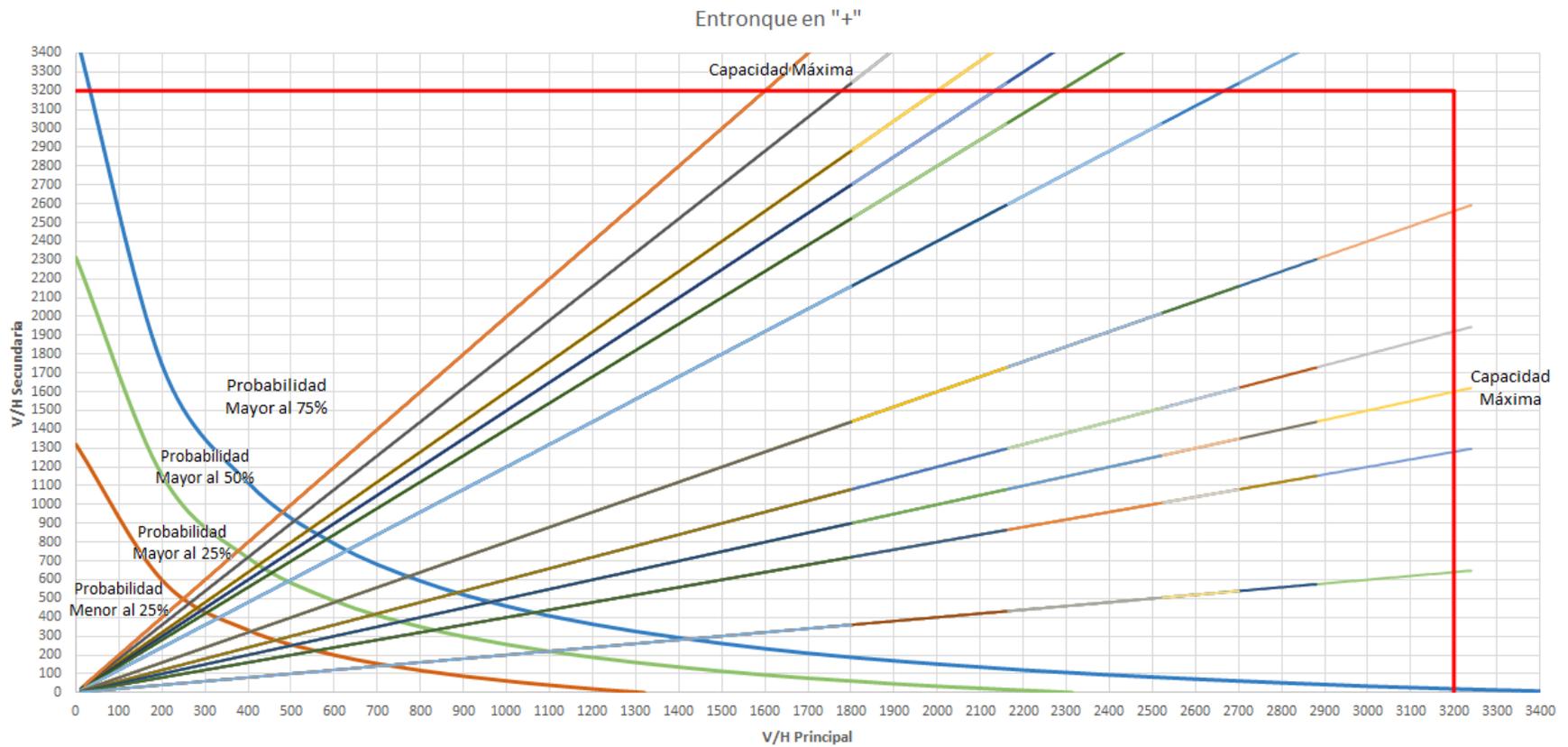


Figura 4.7. Modelación de la probabilidad de *Poisson* para el entronque en “+” con sus límites.

Fuente: Elaboración propia

IV.4 Validación con los estudios de caso

La figura 4.6 y 4.7 nos permite tener una frontera de probabilidades del 25, 50 y 75%, mediante la cual podemos visualizar si los estudios de caso analizados se consideran peligrosos de acuerdo al límite establecido, aunque esta justificación se debe complementar con estudios de accidentes en el lugar y así contar con una validación de la metodología propuesta.

De esta manera para la intersección en “T” y “+”, se convirtieron los volúmenes de tránsito de acuerdo a su clasificación vehicular en vehículos ligeros por carril para poder entrar a las figuras 4.6 y 4.7.

Caso 1. Entronque en “T”.

- Vialidad principal
 - Tasa de flujo equivalente (V_p) = 1544 Vehículos ligeros/hora/carril.
- Vialidad secundaria
 - Tasa de flujo equivalente (V_s) = 1153 Vehículos ligeros/hora/carril.

Caso 2. Entronque en “+”.

- Vialidad principal
 - Tasa de flujo equivalente (V_p) = 1242 Vehículos ligeros/hora/carril.
- Vialidad secundaria
 - Tasa de flujo equivalente (V_s) = 777 Vehículos ligeros/hora/carril.

Al superponer las líneas de intersección en ambas gráficas, tanto de la vialidad principal como de la secundaria, se obtuvieron las figuras 4.8 y 4.9, donde se pueden visualizar si el caso de estudio puede ser considerado como una intersección alta probabilidad de ocurrencia de accidentes.

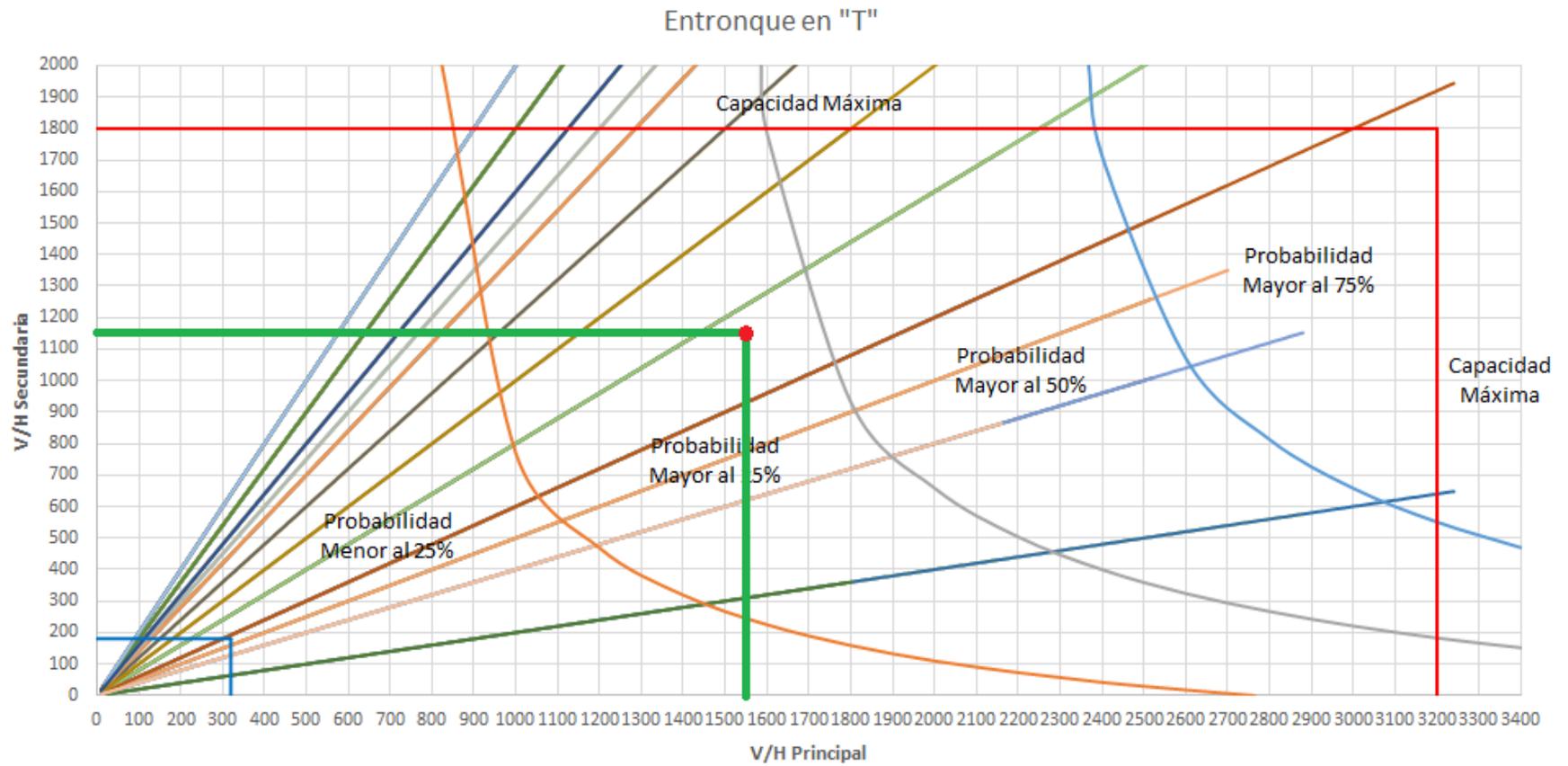


Figura 4.8. Validación de la modelación de la probabilidad de *Poisson* para el entronque en "T".

Fuente: Elaboración propia

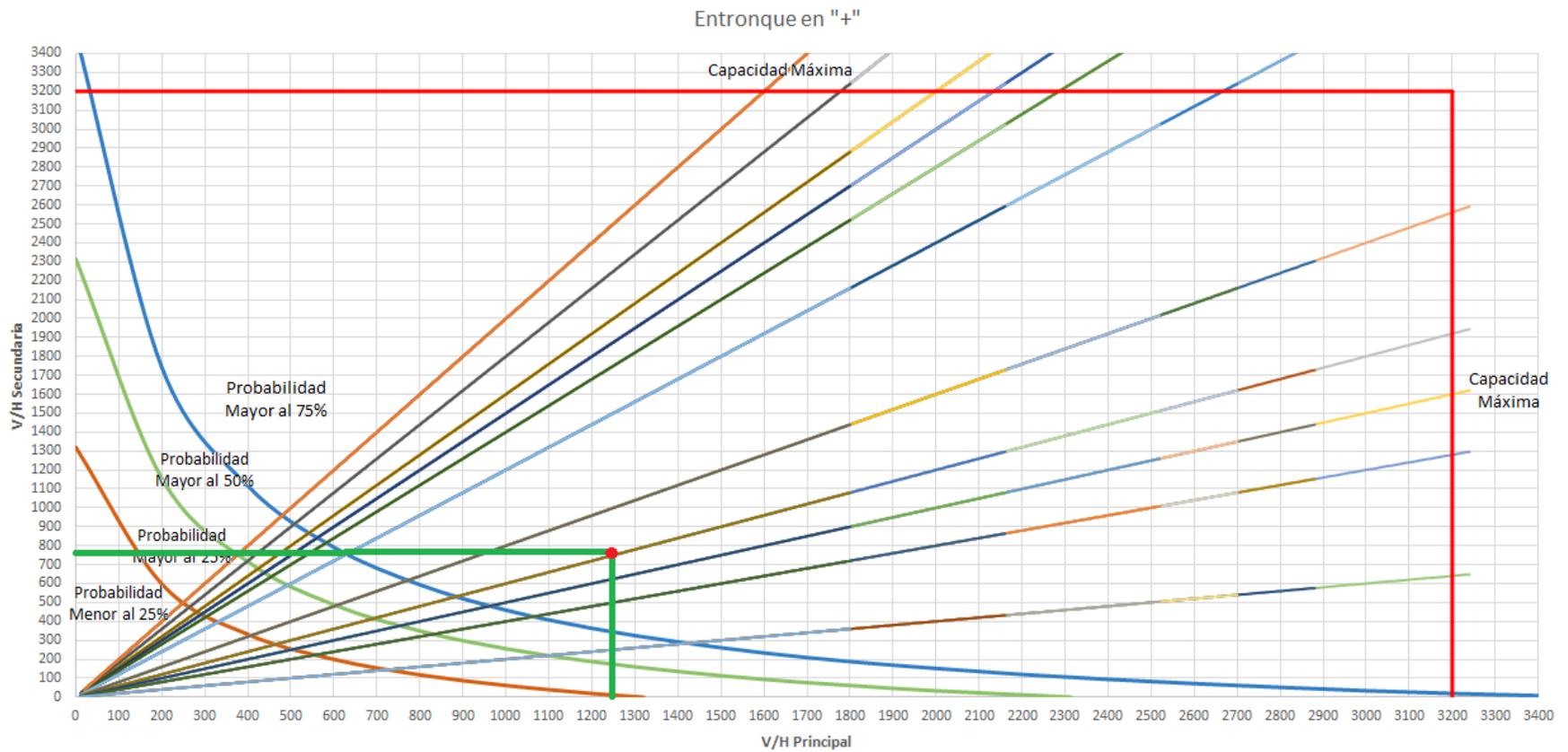


Figura 4.9. Validación de la modelación de la probabilidad de *Poisson* para el entronque en “+”

Fuente: Elaboración propia

IV.5 Indicador de siniestralidad.

Caso 1. Entronque en "T" (Carretera 400 y 420).

Cuadro 4.1. Tabla de accidentalidad en el entronque en "T".

Año 2009			
Causa de accidente	Accidentes	Lesionados	Fallecidos
Velocidad Excesiva o inmoderada	1	1	0
Imprudencia	1	0	0
Total	2	1	0

Año 2010			
Causa de accidente	Accidentes	Lesionados	Fallecidos
No determinado	2	1	0
Imprudencia	3	0	0
Total	5	1	0

Año 2011			
Causa de accidente	Accidentes	Lesionados	Fallecidos
Velocidad Excesiva o inmoderada	2	0	1
Imprudencia	1	0	0
Total	3	0	1

Año 2012			
Causa de accidente	Accidentes	Lesionados	Fallecidos
Imprudencia	2	2	0
Total	2	2	0

Año 2013			
Causa de accidente	Accidentes	Lesionados	Fallecidos
Velocidad Excesiva o inmoderada	3	0	0
Falta de distancia de seguridad	1	0	0
Invasión de carril	2	1	0
Virar indebidamente	1	0	0
Total	7	1	0

Fuente: Policía estatal.

Indicador de accidentalidad en cientos para el último año:

$$\left(\frac{7}{365}\right) * (100) = 1.92$$

Caso 2. Entronque en “+” (Carretera 200 y 210).

Cuadro 4.2. Tabla de accidentalidad en el entronque en “+”.

Año 2009			
Causa de accidente	Accidentes	Lesionados	Fallecidos
Velocidad Excesiva o inmoderada	2	0	0
Imprudencia	1	0	0
Invasión de carril	1	2	0
No determinado	2	0	0
Total	6	2	0

Año 2010			
Causa de accidente	Accidentes	Lesionados	Fallecidos
No ceder el paso	1	1	0
Imprudencia	5	1	1
Invasión de carril	3	1	0
No determinado	1	0	0
Total	10	3	1

Año 2011			
Causa de accidente	Accidentes	Lesionados	Fallecidos
Imprudencia	1	0	0
Total	1	0	0

Año 2012			
Causa de accidente	Accidentes	Lesionados	Fallecidos
Velocidad Excesiva o inmoderada	1	0	0
Imprudencia	1	0	0
Invasión de carril	3	1	0
Falta de distancia de seguridad	2	0	0
No ceder el paso	1	0	0
Total	8	1	0

Año 2013			
Causa de accidente	Accidentes	Lesionados	Fallecidos
No ceder el paso	2	0	0
Velocidad excesiva o inmoderada	2	2	0
Invasión de carril	2	2	0

Mal estacionado	1	0	0
Total	7	4	0

Fuente: Policía estatal.

Indicador de accidentalidad en cientos para el último año:

$$\left(\frac{7}{365}\right) * (100) = 1.92$$

Como podemos ver el número de accidentes en las intersecciones se ha ido incrementando con el tiempo y con esto el número de lesionados, debido quizás al aumento en el volumen vehicular que pasa por las intersecciones; sumándole a estos, los accidentes de los cuales no se tiene registro por parte de las autoridades.

IV.6 Discusión de resultados

En la figura 4.8, se puede observar en el diagrama, para nuestro caso de estudio 1, correspondiente al entronque en “T”, se encuentra en un nivel de operación segura, dado que el volumen vehicular actual se tiene una probabilidad de ocurrencia de accidentes menor del 50%.

Mientras que en la figura 4.9 se puede observar en el diagrama, para el caso de estudio 2 del entronque en “+”, con el volumen vehicular actual la operación de la intersección ya no se puede considerar segura, los resultados muestran una probabilidad de ocurrencia de accidentes mayor al 50%.

De esta manera se puede observar claramente dentro de un límite establecido del 50% como se comportan las intersecciones conforme a los volúmenes de tránsito que circulan en ella y poder inferir que se pueden encontrar en un nivel de operación poca segura y con ello poder justificar la mejora de la intersección mediante la construcción de un paso a desnivel para separar los flujos y evitar los conflictos entre los diferentes movimientos que prevalecen en las intersecciones a nivel.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a la hipótesis planteada con la distribución de probabilidades de *Poisson* se pudo determinar la probabilidad de ocurrencias de que dos vehículos se encontraran en una intersección, ligando las características de operación del tránsito y de la vía, obteniendo una metodología la cual permite justificar la necesidad de intersecciones a desnivel en carreteras basados en la probabilidad de ocurrencia de que dos vehículos se encuentren en la intersección.

De acuerdo al objetivo propuesto se pudo desarrollar con esto una metodología la cual nos ayuda para justificar una intersección a desnivel en carreteras, incluyendo las principales características del tránsito, de la vía y de la probabilidad de ocurrencia de accidentes viales.

La seguridad del conductor depende, es gran parte, de su intuición y de su habilidad para desplazarse normalmente en las vías, basándose en sus características físicas y psicológicas, sin embargo, es responsabilidad de los organismos operadores de los sistemas viales y de especialistas en esta área, realizar investigaciones que tiendan en proporcionarle al conductor, mejores niveles de seguridad y comodidad, tales como el modelo desarrollado y que se propone para ser utilizado como una herramienta de ayuda para la toma de decisiones.

El modelo desarrollado conforme a la distribución de *Poisson*, se espera sea una herramienta técnica para que los organismos administradores de carreteras puedan mediante acciones preventivas realizar la justificación de la construcción de entronques a desnivel.

Las gráficas nos proporcionan una idea del comportamiento del tránsito, de la probabilidad de que ocurra un accidente en la intersección a distintos volúmenes de tráfico, permitiéndonos con esto saber cuándo una vialidad está o va a presentar problemas de accidentes.

La utilización de la distribución probabilística de *Poisson* maneja las siguientes variables: volumen de tránsito vehicular y tiempos de maniobras

principalmente. Proporcionándonos con esto una idea de la interacción de los vehículos en un entronque y de la probabilidad de que ocurra un accidente, sin embargo, además de este método propuesto, es conveniente hacer un minucioso análisis de los accidentes, que permita validar el modelo y la toma de decisiones.

Al aplicar el modelo en las intersecciones que actualmente están en operación se podrá definir la probabilidad de ocurrencia en las intersecciones, permitiendo sugerir con esto una justificación técnica preventiva para que una intersección a nivel puede pasar a una a desnivel en función de probabilidades de ocurrencia de accidentes, sin que estos lleguen a materializarse, pensando en los ahorros que representan los daños materiales y los costos de las vidas humanas o los traumatismos derivados de los accidentes viales.

Las acciones a favor de la seguridad vial deben incluir en forma destacada la detención sistemática de los sitios con mayor incidencia de accidentes, a fin de estudiarlos y eliminar estos sitios de alta peligrosidad.

Con la información operacional y de las variables del tránsito de las intersecciones se podrán evaluar las tendencias y pronósticos de los parámetros relacionados con la circulación vial, y con estos dar un seguimiento periódico a las intersecciones, principalmente aquellas que estén a punto de generar una alta siniestralidad.

Esta metodología aplica un precedente como una herramienta técnica preventiva de la accidentalidad en los entronques, pudiéndose con esto seguir investigando el tipo de accidentes que se presentan, así como sus causas, para con esto aplicarlo al modelo y poder pulirlo más a detalle en cada caso en particular de estudio y con esto nos arroje resultados más precisos y certeros del cuando en una intersección se van a presentar problemas de accidentes.

Pudiéndose estudiar con esta metodología también cuando es que resulta necesaria la canalización de los distintos flujos vehiculares en un entronque a nivel, para con esto reducir al mínimo los conflictos que se generan cuando los volúmenes de tránsito comienzan a incrementarse en las intersecciones.

LITERATURA CITADA

- American Association of State Highway and Transportation (2011). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington, DC. USA
- Box Paul, Oppenlander Joseph (1976). *Manual de estudios de ingeniería de tránsito*. Asociación Mexicana de Caminos, A.C. Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. (México). 4ta Edición.
- Cal y Mayor Rafael (1998). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Ed. Alfa & Omega. 7ª edición.
- Chavarría, J., Mendoza, A., Mayoral, E. (1996). Algunas medidas para mejorar la seguridad vial en las carreteras nacionales. Instituto mexicano del transporte. Reporte técnico. México.
- Commission for global road safety (2011). Make road safe, a new priority for sustainable development. Commission for global road safety. United Kingdom.
- Cuevas, A., Gómez, N., Villegas, N., Mayoral, E., Mendoza, A. (2013). *Anuario Estadístico de accidentes en carreteras federales (2010)*. Instituto mexicano del transporte. Reporte técnico. México.
- Cuevas, A., Mayoral, E., Mendoza, A. (2011). Definición de indicadores de seguridad vial en la red carretera federal. Instituto mexicano del transporte. Reporte técnico. México.
- De Pauw, E.; Daniels, S.; Brijs, T.; Hermans, E.; Wets, G. Transportation Research Institute, Hasselt University (2013). Safety effects of an extensive black spot treatment programme in Flanders-Belgium. Belgica
- Elvik, R. (2007). State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks (TOI report No. 883/2007).

Oslo: Institute of Transport Economics. Norwegian Centre for Transport Research.

Florida Department of Transportation (2007). Florida intersection design guide "For New Construction and Major Reconstruction of At-Grade Intersections on the State Highway System.

Gallegos, R. (2010). Diseño Geométrico. Diplomado en Ingeniería. México.

Highway Capacity Manual (2010). Transportation Research Board. Washington. D.C.

Institute of Transportation Engineers (1976). Manual of Traffic Engineering Studies Virginia. U.S.A.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2012). Perfil estatal de Querétaro. Reporte técnico. México.

Jimenez, M. (2011). Problemática en vialidades. Universidad de Chile. Chile.

Ladrón De Guevara, F.; Washington S. Oh, J. (2004). Forecasting crashes at the planning level. Simultaneous Negative Binomial Crash Model Applied in Tucson, Arizona. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1987, TRB, National Research Council, Washington D.C.

Larson, Larry R.; Mannering Fred L. (2011). Method for prioritizing intersection improvements. United States. Federal Highway Administration. Washington DC.

Mayoral, E., Contreras, A., Chavarría, J., Mendoza, A., (2001). Auditorias en seguridad carretera, Procedimientos y prácticas. Instituto mexicano del transporte. Reporte técnico. Sanfandila, México.

Mendoza Sánchez, J.F. (2012) Apuntes de Ingeniería de Tránsito. Maestría en Ingeniería de Vías Terrestres. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.

- M.O.P.U. (1987) Recomendaciones para el proyecto de intersecciones. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
- Organización Mundial de la Salud (2009). Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial. Ginebra, Suiza.
- Schwar Johannes, Puy Jose (1975). Métodos estadísticos en ingeniería de tránsito. Representaciones y servicios de ingeniería, S.A. México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1991). Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. México, DF.
- Services d'études techniques des routes et autoroutes (2002). The design of interurban intersections on major roads. Francia
- Timaná, J. (2005). Técnica de análisis de accidentes de tránsito: Seguridad vial. Universidad de Piura. Lima.
- Torres, A., Torres, F., Pardillo, J. (2010). Modelo de clasificación del riesgo en intersecciones rurales en "T" y validación del tiempo de evasión como medición alternativa de la seguridad de tránsito en intersecciones. Revista Ingeniería en Construcción. Vol.25 No.3 Santiago de Chile, Chile.
- Transportation Research Board. (2010). Highway Capacity Manual. Fifth edition. Washington, D.C.
- Zhang Lin, Prevedouros Panos (2007). Signalized intersection level of service Incorporating safety risk. Transportation Research Board of the National Academies. U.S.A.

APÉNDICE

APÉNDICE 1.

Se trataron de recrear los las distintas combinaciones para los distintos flujos vehiculares que se podrían presentar en la intersección, en donde:

- 1 = Vehículos en la vialidad principal carril derecho.
- 2 = Vehículos en la vialidad principal carril izquierdo.
- 3 = Vehículos totales en la vialidad principal.
- 4 = Vehículos en la vialidad secundaria carril derecho.
- 5 = Vehículos en la vialidad secundaria carril izquierdo.
- 6 = Vehículos totales en la vialidad secundaria.

Para el entronque en “T”, tenemos:

Combinaciones
1=2-3<4
1=2-3>4
1=2-3=4
1<2-3<4
1<2-3>4
1<2-3=4
1>2-3<4
1>2-3>4
1>2-3=4

Porcentajes					
0 - 20	20 - 0	40 - 0	50 - 0	60 - 0	80 - 0
0 - 40	20 - 20	40 - 20	50 - 20	60 - 20	80 - 20
0 - 50	20 - 40	40 - 40	50 - 40	60 - 40	80 - 40
0 - 60	20 - 50	40 - 50	50 - 50	60 - 50	80 - 50
0 - 80	20 - 60	40 - 60	50 - 60	60 - 60	80 - 60
0 - 100	20 - 80	40 - 80	50 - 80	60 - 80	80 - 80
	20 - 100	40 - 100	50 - 100	60 - 100	80 - 100

Para el entronque en “+”, tenemos:

Combinaciones						
1=2 3=6 4=5	1=2 3<6 4=5	1<2 3<6 4=5	1=2 3<6 4<5	1>2 3>6 4<5	1<2 3>6 4>5	1<2 3>6 4=5
1=2 3=6 4>5	1>2 3=6 4=5	1<2 3<6 4>5	1>2 3<6 4<5	1>2 3=6 4>5	1=2 3<6 4>5	1>2 3=6 4<5
1=2 3=6 4<5	1<2 3=6 4=5	1<2 3=6 4<5	1>2 3>6 4>5	1>2 3<6 4>5	1=2 3>6 4<5	1>2 3<6 4=5
1=2 3>6 4=5	1<2 3<6 4<5	1<2 3>6 4<5	1>2 3>6 4=5	1=2 3>6 4>5	1<2 3=6 4>5	

PORCENTAJES						
0 - 0 - 20	0 - 20 - 20	0 - 40 - 20	0 - 50 - 20	0 - 60 - 20	0 - 80 - 20	0 - 100 - 20
0 - 0 - 40	0 - 20 - 40	0 - 40 - 40	0 - 50 - 40	0 - 60 - 40	0 - 80 - 40	0 - 100 - 40
0 - 0 - 50	0 - 20 - 50	0 - 40 - 50	0 - 50 - 50	0 - 60 - 50	0 - 80 - 50	0 - 100 - 50
0 - 0 - 60	0 - 20 - 60	0 - 40 - 60	0 - 50 - 60	0 - 60 - 60	0 - 80 - 60	0 - 100 - 60
0 - 0 - 80	0 - 20 - 80	0 - 40 - 80	0 - 50 - 80	0 - 60 - 80	0 - 80 - 80	0 - 100 - 80
0 - 0 - 100	0 - 20 - 100	0 - 40 - 100	0 - 50 - 100	0 - 60 - 100	0 - 80 - 100	0 - 100 - 100
20 - 0 - 0	20 - 20 - 0	20 - 40 - 0	20 - 50 - 0	20 - 60 - 0	20 - 80 - 0	20 - 100 - 0
20 - 0 - 20	20 - 20 - 20	20 - 40 - 20	20 - 50 - 20	20 - 60 - 20	20 - 80 - 20	20 - 100 - 20
20 - 0 - 40	20 - 20 - 40	20 - 40 - 40	20 - 50 - 40	20 - 60 - 40	20 - 80 - 40	20 - 100 - 40
20 - 0 - 50	20 - 20 - 50	20 - 40 - 50	20 - 50 - 50	20 - 60 - 50	20 - 80 - 50	20 - 100 - 50
20 - 0 - 60	20 - 20 - 60	20 - 40 - 60	20 - 50 - 60	20 - 60 - 60	20 - 80 - 60	20 - 100 - 60
20 - 0 - 80	20 - 20 - 80	20 - 40 - 80	20 - 50 - 80	20 - 60 - 80	20 - 80 - 80	20 - 100 - 80
20 - 0 - 100	20 - 20 - 100	20 - 40 - 100	20 - 50 - 100	20 - 60 - 100	20 - 80 - 100	20 - 100 - 100
40 - 0 - 0	40 - 20 - 0	40 - 40 - 0	40 - 50 - 0	40 - 60 - 0	40 - 80 - 0	40 - 100 - 0
40 - 0 - 20	40 - 20 - 20	40 - 40 - 20	40 - 50 - 20	40 - 60 - 20	40 - 80 - 20	40 - 100 - 20
40 - 0 - 40	40 - 20 - 40	40 - 40 - 40	40 - 50 - 40	40 - 60 - 40	40 - 80 - 40	40 - 100 - 40
40 - 0 - 50	40 - 20 - 50	40 - 40 - 50	40 - 50 - 50	40 - 60 - 50	40 - 80 - 50	40 - 100 - 50
40 - 0 - 60	40 - 20 - 60	40 - 40 - 60	40 - 50 - 60	40 - 60 - 60	40 - 80 - 60	40 - 100 - 60
40 - 0 - 80	40 - 20 - 80	40 - 40 - 80	40 - 50 - 80	40 - 60 - 80	40 - 80 - 80	40 - 100 - 80
40 - 0 - 100	40 - 20 - 100	40 - 40 - 100	40 - 50 - 100	40 - 60 - 100	40 - 80 - 100	40 - 100 - 100
50 - 0 - 0	50 - 20 - 0	50 - 40 - 0	50 - 50 - 0	50 - 60 - 0	50 - 80 - 0	50 - 100 - 0
50 - 0 - 20	50 - 20 - 20	50 - 40 - 20	50 - 50 - 20	50 - 60 - 20	50 - 80 - 20	50 - 100 - 20
50 - 0 - 40	50 - 20 - 40	50 - 40 - 40	50 - 50 - 40	50 - 60 - 40	50 - 80 - 40	50 - 100 - 40
50 - 0 - 50	50 - 20 - 50	50 - 40 - 50	50 - 50 - 50	50 - 60 - 50	50 - 80 - 50	50 - 100 - 50
50 - 0 - 60	50 - 20 - 60	50 - 40 - 60	50 - 50 - 60	50 - 60 - 60	50 - 80 - 60	50 - 100 - 60
50 - 0 - 80	50 - 20 - 80	50 - 40 - 80	50 - 50 - 80	50 - 60 - 80	50 - 80 - 80	50 - 100 - 80
50 - 0 - 100	50 - 20 - 100	50 - 40 - 100	50 - 50 - 100	50 - 60 - 100	50 - 80 - 100	50 - 100 - 100
60 - 0 - 0	60 - 20 - 0	60 - 40 - 0	60 - 50 - 0	60 - 60 - 0	60 - 80 - 0	60 - 100 - 0
60 - 0 - 20	60 - 20 - 20	60 - 40 - 20	60 - 50 - 20	60 - 60 - 20	60 - 80 - 20	60 - 100 - 20
60 - 0 - 40	60 - 20 - 40	60 - 40 - 40	60 - 50 - 40	60 - 60 - 40	60 - 80 - 40	60 - 100 - 40
60 - 0 - 50	60 - 20 - 50	60 - 40 - 50	60 - 50 - 50	60 - 60 - 50	60 - 80 - 50	60 - 100 - 50
60 - 0 - 60	60 - 20 - 60	60 - 40 - 60	60 - 50 - 60	60 - 60 - 60	60 - 80 - 60	60 - 100 - 60
60 - 0 - 80	60 - 20 - 80	60 - 40 - 80	60 - 50 - 80	60 - 60 - 80	60 - 80 - 80	60 - 100 - 80
60 - 0 - 100	60 - 20 - 100	60 - 40 - 100	60 - 50 - 100	60 - 60 - 100	60 - 80 - 100	60 - 100 - 100
80 - 0 - 0	80 - 20 - 0	80 - 40 - 0	80 - 50 - 0	80 - 60 - 0	80 - 80 - 0	80 - 100 - 0
80 - 0 - 20	80 - 20 - 20	80 - 40 - 20	80 - 50 - 20	80 - 60 - 20	80 - 80 - 20	80 - 100 - 20
80 - 0 - 40	80 - 20 - 40	80 - 40 - 40	80 - 50 - 40	80 - 60 - 40	80 - 80 - 40	80 - 100 - 40
80 - 0 - 50	80 - 20 - 50	80 - 40 - 50	80 - 50 - 50	80 - 60 - 50	80 - 80 - 50	80 - 100 - 50
80 - 0 - 60	80 - 20 - 60	80 - 40 - 60	80 - 50 - 60	80 - 60 - 60	80 - 80 - 60	80 - 100 - 60

80 - 0 - 80	80 - 20 - 80	80 - 40 - 80	80 - 50 - 80	80 - 60 - 80	80 - 80 - 80	80 - 100 - 80
80 - 0 - 100	80 - 20 - 100	80 - 40 - 100	80 - 50 - 100	80 - 60 - 100	80 - 80 - 100	80 - 100 - 100
100 - 0 - 0	100 - 20 - 0	100 - 40 - 0	100 - 50 - 0	100 - 60 - 0	100 - 80 - 0	100 - 100 - 0
100 - 0 - 20	100 - 20 - 20	100 - 40 - 20	100 - 50 - 20	100 - 60 - 20	100 - 80 - 20	100 - 100 - 20
100 - 0 - 40	100 - 20 - 40	100 - 40 - 40	100 - 50 - 40	100 - 60 - 40	100 - 80 - 40	100 - 100 - 40
100 - 0 - 50	100 - 20 - 50	100 - 40 - 50	100 - 50 - 50	100 - 60 - 50	100 - 80 - 50	100 - 100 - 50
100 - 0 - 60	100 - 20 - 60	100 - 40 - 60	100 - 50 - 60	100 - 60 - 60	100 - 80 - 60	100 - 100 - 60
100 - 0 - 80	100 - 20 - 80	100 - 40 - 80	100 - 50 - 80	100 - 60 - 80	100 - 80 - 80	100 - 100 - 80
100 - 0 - 100	100 - 20 - 100	100 - 40 - 100	100 - 50 - 100	100 - 60 - 100	100 - 80 - 100	100 - 100 - 100

APÉNDICE 2.

PROBABILIDADES

1=2-3>4 100-60

1	2	3	4									
1		0.6										
VHMD PRINCIPAL			Vialidad Secun- daria	Probabilidad de la secundaria con principal				Probabilidad vuelta izq principal			Probabilidad TOTAL	
Carril Der.	Carril Izq.	Total		Ppal. Der.	Ppal. Izq.	Vialidad Secundaria	P. Total Secu con Ppal.	Ppal. Carril Der.	Vuelta Carril Izq.	P. Total Ppales		
10	10	20	12	0.00277	0.00277	0.02143	0.00012	0.00277	0.01105	0.00003	0.00015	
15	15	30	18	0.00416	0.00416	0.03198	0.00027	0.00416	0.01653	0.00007	0.00033	
20	20	40	24	0.00554	0.00554	0.04241	0.00047	0.00554	0.02198	0.00012	0.00059	
25	25	50	30	0.00692	0.00692	0.05273	0.00073	0.00692	0.02740	0.00019	0.00092	
30	30	60	36	0.00830	0.00830	0.06293	0.00104	0.00830	0.03278	0.00027	0.00132	
35	35	70	42	0.00968	0.00968	0.07303	0.00141	0.00968	0.03814	0.00037	0.00178	
40	40	80	48	0.01105	0.01105	0.08302	0.00183	0.01105	0.04347	0.00048	0.00231	
45	45	90	54	0.01242	0.01242	0.09290	0.00231	0.01242	0.04877	0.00061	0.00291	
50	50	100	60	0.01379	0.01379	0.10267	0.00283	0.01379	0.05404	0.00075	0.00358	
55	55	110	66	0.01516	0.01516	0.11234	0.00341	0.01516	0.05928	0.00090	0.00431	
60	60	120	72	0.01653	0.01653	0.12190	0.00403	0.01653	0.06449	0.00107	0.00510	
65	65	130	78	0.01789	0.01789	0.13137	0.00470	0.01789	0.06968	0.00125	0.00595	
70	70	140	84	0.01926	0.01926	0.14073	0.00542	0.01926	0.07483	0.00144	0.00686	
75	75	150	90	0.02062	0.02062	0.14998	0.00618	0.02062	0.07996	0.00165	0.00783	
80	80	160	96	0.02198	0.02198	0.15914	0.00699	0.02198	0.08505	0.00187	0.00886	
85	85	170	102	0.02333	0.02333	0.16820	0.00785	0.02333	0.09012	0.00210	0.00995	
90	90	180	108	0.02469	0.02469	0.17717	0.00875	0.02469	0.09516	0.00235	0.01110	
95	95	190	114	0.02604	0.02604	0.18603	0.00969	0.02604	0.10018	0.00261	0.01230	
100	100	200	120	0.02740	0.02740	0.19480	0.01067	0.02740	0.10516	0.00288	0.01355	
105	105	210	126	0.02875	0.02875	0.20348	0.01170	0.02875	0.11012	0.00317	0.01486	
110	110	220	132	0.03009	0.03009	0.21206	0.01276	0.03009	0.11505	0.00346	0.01623	
115	115	230	138	0.03144	0.03144	0.22055	0.01387	0.03144	0.11995	0.00377	0.01764	
120	120	240	144	0.03278	0.03278	0.22895	0.01501	0.03278	0.12483	0.00409	0.01910	
125	125	250	150	0.03413	0.03413	0.23726	0.01619	0.03413	0.12968	0.00443	0.02062	
130	130	260	156	0.03547	0.03547	0.24547	0.01741	0.03547	0.13450	0.00477	0.02218	
135	135	270	162	0.03681	0.03681	0.25360	0.01867	0.03681	0.13929	0.00513	0.02379	
140	140	280	168	0.03814	0.03814	0.26165	0.01996	0.03814	0.14406	0.00549	0.02545	
145	145	290	174	0.03948	0.03948	0.26960	0.02129	0.03948	0.14880	0.00587	0.02716	
150	150	300	180	0.04081	0.04081	0.27747	0.02265	0.04081	0.15352	0.00627	0.02891	

155	155	310	186	0.04214	0.04214	0.28526	0.02404	0.04214	0.15821	0.00667	0.03071
160	160	320	192	0.04347	0.04347	0.29296	0.02547	0.04347	0.16287	0.00708	0.03255
165	165	330	198	0.04480	0.04480	0.30058	0.02693	0.04480	0.16751	0.00750	0.03444
170	170	340	204	0.04612	0.04612	0.30811	0.02842	0.04612	0.17212	0.00794	0.03636
175	175	350	210	0.04745	0.04745	0.31557	0.02995	0.04745	0.17671	0.00838	0.03833
180	180	360	216	0.04877	0.04877	0.32294	0.03150	0.04877	0.18127	0.00884	0.04034
185	185	370	222	0.05009	0.05009	0.33024	0.03308	0.05009	0.18581	0.00931	0.04239
190	190	380	228	0.05141	0.05141	0.33745	0.03470	0.05141	0.19032	0.00978	0.04448
195	195	390	234	0.05273	0.05273	0.34459	0.03634	0.05273	0.19480	0.01027	0.04661
200	200	400	240	0.05404	0.05404	0.35166	0.03801	0.05404	0.19926	0.01077	0.04878
205	205	410	246	0.05535	0.05535	0.35864	0.03970	0.05535	0.20370	0.01128	0.05098
210	210	420	252	0.05666	0.05666	0.36555	0.04143	0.05666	0.20811	0.01179	0.05322
215	215	430	258	0.05797	0.05797	0.37239	0.04318	0.05797	0.21250	0.01232	0.05550
220	220	440	264	0.05928	0.05928	0.37915	0.04495	0.05928	0.21686	0.01286	0.05781
225	225	450	270	0.06059	0.06059	0.38584	0.04675	0.06059	0.22120	0.01340	0.06016
230	230	460	276	0.06189	0.06189	0.39246	0.04858	0.06189	0.22551	0.01396	0.06254
235	235	470	282	0.06319	0.06319	0.39900	0.05043	0.06319	0.22980	0.01452	0.06495
240	240	480	288	0.06449	0.06449	0.40548	0.05230	0.06449	0.23407	0.01510	0.06740
245	245	490	294	0.06579	0.06579	0.41189	0.05420	0.06579	0.23832	0.01568	0.06988
250	250	500	300	0.06709	0.06709	0.41822	0.05612	0.06709	0.24253	0.01627	0.07239
255	255	510	306	0.06838	0.06838	0.42449	0.05806	0.06838	0.24673	0.01687	0.07493
260	260	520	312	0.06968	0.06968	0.43069	0.06002	0.06968	0.25090	0.01748	0.07750
265	265	530	318	0.07097	0.07097	0.43683	0.06200	0.07097	0.25505	0.01810	0.08010
270	270	540	324	0.07226	0.07226	0.44289	0.06400	0.07226	0.25918	0.01873	0.08273
275	275	550	330	0.07354	0.07354	0.44890	0.06603	0.07354	0.26329	0.01936	0.08539
280	280	560	336	0.07483	0.07483	0.45483	0.06807	0.07483	0.26737	0.02001	0.08808
285	285	570	342	0.07611	0.07611	0.46071	0.07013	0.07611	0.27143	0.02066	0.09079
290	290	580	348	0.07740	0.07740	0.46652	0.07221	0.07740	0.27546	0.02132	0.09353
295	295	590	354	0.07868	0.07868	0.47227	0.07431	0.07868	0.27948	0.02199	0.09630
300	300	600	360	0.07996	0.07996	0.47795	0.07643	0.07996	0.28347	0.02266	0.09910
305	305	610	366	0.08123	0.08123	0.48358	0.07856	0.08123	0.28744	0.02335	0.10191
310	310	620	372	0.08251	0.08251	0.48914	0.08072	0.08251	0.29139	0.02404	0.10476
315	315	630	378	0.08378	0.08378	0.49465	0.08288	0.08378	0.29531	0.02474	0.10763
320	320	640	384	0.08505	0.08505	0.50009	0.08507	0.08505	0.29922	0.02545	0.11052
325	325	650	390	0.08632	0.08632	0.50548	0.08727	0.08632	0.30310	0.02616	0.11343
330	330	660	396	0.08759	0.08759	0.51081	0.08948	0.08759	0.30696	0.02689	0.11637
335	335	670	402	0.08886	0.08886	0.51608	0.09171	0.08886	0.31080	0.02762	0.11933
340	340	680	408	0.09012	0.09012	0.52129	0.09396	0.09012	0.31462	0.02835	0.12231
345	345	690	414	0.09138	0.09138	0.52645	0.09622	0.09138	0.31841	0.02910	0.12532
350	350	700	420	0.09265	0.09265	0.53155	0.09849	0.09265	0.32219	0.02985	0.12834
355	355	710	426	0.09390	0.09390	0.53660	0.10078	0.09390	0.32595	0.03061	0.13139

360	360	720	432	0.09516	0.09516	0.54159	0.10308	0.09516	0.32968	0.03137	0.13445
365	365	730	438	0.09642	0.09642	0.54653	0.10539	0.09642	0.33339	0.03215	0.13754
370	370	740	444	0.09767	0.09767	0.55142	0.10772	0.09767	0.33709	0.03292	0.14064
375	375	750	450	0.09892	0.09892	0.55625	0.11005	0.09892	0.34076	0.03371	0.14376
380	380	760	456	0.10018	0.10018	0.56103	0.11240	0.10018	0.34441	0.03450	0.14691
385	385	770	462	0.10142	0.10142	0.56576	0.11476	0.10142	0.34804	0.03530	0.15006
390	390	780	468	0.10267	0.10267	0.57044	0.11714	0.10267	0.35166	0.03611	0.15324
395	395	790	474	0.10392	0.10392	0.57507	0.11952	0.10392	0.35525	0.03692	0.15644
400	400	800	480	0.10516	0.10516	0.57965	0.12191	0.10516	0.35882	0.03773	0.15965
405	405	810	486	0.10640	0.10640	0.58418	0.12432	0.10640	0.36237	0.03856	0.16287
410	410	820	492	0.10764	0.10764	0.58866	0.12673	0.10764	0.36590	0.03939	0.16612
415	415	830	498	0.10888	0.10888	0.59309	0.12915	0.10888	0.36942	0.04022	0.16938
420	420	840	504	0.11012	0.11012	0.59748	0.13159	0.11012	0.37291	0.04106	0.17265
425	425	850	510	0.11135	0.11135	0.60181	0.13403	0.11135	0.37639	0.04191	0.17594
430	430	860	516	0.11259	0.11259	0.60610	0.13648	0.11259	0.37984	0.04276	0.17924
435	435	870	522	0.11382	0.11382	0.61035	0.13894	0.11382	0.38328	0.04362	0.18256
440	440	880	528	0.11505	0.11505	0.61455	0.14140	0.11505	0.38669	0.04449	0.18589
445	445	890	534	0.11628	0.11628	0.61870	0.14388	0.11628	0.39009	0.04536	0.18924
450	450	900	540	0.11750	0.11750	0.62281	0.14636	0.11750	0.39347	0.04623	0.19260
455	455	910	546	0.11873	0.11873	0.62687	0.14885	0.11873	0.39683	0.04711	0.19597
460	460	920	552	0.11995	0.11995	0.63089	0.15135	0.11995	0.40017	0.04800	0.19935
465	465	930	558	0.12117	0.12117	0.63487	0.15386	0.12117	0.40349	0.04889	0.20275
470	470	940	564	0.12239	0.12239	0.63880	0.15637	0.12239	0.40680	0.04979	0.20616
475	475	950	570	0.12361	0.12361	0.64270	0.15889	0.12361	0.41009	0.05069	0.20958
480	480	960	576	0.12483	0.12483	0.64655	0.16141	0.12483	0.41335	0.05160	0.21301
485	485	970	582	0.12604	0.12604	0.65035	0.16394	0.12604	0.41660	0.05251	0.21645
490	490	980	588	0.12725	0.12725	0.65412	0.16648	0.12725	0.41984	0.05343	0.21991
495	495	990	594	0.12847	0.12847	0.65785	0.16902	0.12847	0.42305	0.05435	0.22337
500	500	1000	600	0.12968	0.12968	0.66153	0.17157	0.12968	0.42625	0.05527	0.22684
505	505	1010	606	0.13088	0.13088	0.66518	0.17412	0.13088	0.42943	0.05620	0.23033
510	510	1020	612	0.13209	0.13209	0.66879	0.17668	0.13209	0.43259	0.05714	0.23382
515	515	1030	618	0.13329	0.13329	0.67236	0.17924	0.13329	0.43573	0.05808	0.23732
520	520	1040	624	0.13450	0.13450	0.67589	0.18181	0.13450	0.43886	0.05902	0.24083
525	525	1050	630	0.13570	0.13570	0.67938	0.18438	0.13570	0.44196	0.05997	0.24436
530	530	1060	636	0.13690	0.13690	0.68284	0.18696	0.13690	0.44506	0.06093	0.24788
535	535	1070	642	0.13810	0.13810	0.68625	0.18954	0.13810	0.44813	0.06188	0.25142
540	540	1080	648	0.13929	0.13929	0.68963	0.19212	0.13929	0.45119	0.06285	0.25497
545	545	1090	654	0.14049	0.14049	0.69298	0.19471	0.14049	0.45423	0.06381	0.25852
550	550	1100	660	0.14168	0.14168	0.69629	0.19730	0.14168	0.45725	0.06478	0.26208
555	555	1110	666	0.14287	0.14287	0.69956	0.19989	0.14287	0.46026	0.06576	0.26565
560	560	1120	672	0.14406	0.14406	0.70280	0.20249	0.14406	0.46325	0.06674	0.26923

565	565	1130	678	0.14525	0.14525	0.70600	0.20509	0.14525	0.46622	0.06772	0.27281
570	570	1140	684	0.14643	0.14643	0.70917	0.20769	0.14643	0.46918	0.06870	0.27640
575	575	1150	690	0.14762	0.14762	0.71230	0.21030	0.14762	0.47212	0.06969	0.27999
580	580	1160	696	0.14880	0.14880	0.71540	0.21291	0.14880	0.47505	0.07069	0.28359
585	585	1170	702	0.14998	0.14998	0.71847	0.21552	0.14998	0.47795	0.07169	0.28720
590	590	1180	708	0.15116	0.15116	0.72150	0.21813	0.15116	0.48085	0.07269	0.29082
595	595	1190	714	0.15234	0.15234	0.72450	0.22074	0.15234	0.48372	0.07369	0.29443
600	600	1200	720	0.15352	0.15352	0.72747	0.22336	0.15352	0.48658	0.07470	0.29806
605	605	1210	726	0.15469	0.15469	0.73040	0.22598	0.15469	0.48943	0.07571	0.30169
610	610	1220	732	0.15587	0.15587	0.73331	0.22860	0.15587	0.49226	0.07673	0.30532
615	615	1230	738	0.15704	0.15704	0.73618	0.23122	0.15704	0.49507	0.07774	0.30896
620	620	1240	744	0.15821	0.15821	0.73903	0.23384	0.15821	0.49787	0.07877	0.31261
625	625	1250	750	0.15938	0.15938	0.74184	0.23646	0.15938	0.50065	0.07979	0.31625
630	630	1260	756	0.16054	0.16054	0.74462	0.23909	0.16054	0.50341	0.08082	0.31991
635	635	1270	762	0.16171	0.16171	0.74737	0.24171	0.16171	0.50617	0.08185	0.32356
640	640	1280	768	0.16287	0.16287	0.75009	0.24434	0.16287	0.50890	0.08289	0.32722
645	645	1290	774	0.16403	0.16403	0.75279	0.24696	0.16403	0.51162	0.08392	0.33089
650	650	1300	780	0.16519	0.16519	0.75545	0.24959	0.16519	0.51433	0.08496	0.33455
655	655	1310	786	0.16635	0.16635	0.75808	0.25222	0.16635	0.51702	0.08601	0.33823
660	660	1320	792	0.16751	0.16751	0.76069	0.25485	0.16751	0.51969	0.08705	0.34190
665	665	1330	798	0.16866	0.16866	0.76327	0.25747	0.16866	0.52236	0.08810	0.34558
670	670	1340	804	0.16982	0.16982	0.76582	0.26010	0.16982	0.52500	0.08916	0.34926
675	675	1350	810	0.17097	0.17097	0.76834	0.26273	0.17097	0.52763	0.09021	0.35294
680	680	1360	816	0.17212	0.17212	0.77084	0.26536	0.17212	0.53025	0.09127	0.35662
685	685	1370	822	0.17327	0.17327	0.77331	0.26798	0.17327	0.53285	0.09233	0.36031
690	690	1380	828	0.17442	0.17442	0.77575	0.27061	0.17442	0.53544	0.09339	0.36400
695	695	1390	834	0.17556	0.17556	0.77817	0.27324	0.17556	0.53801	0.09446	0.36769
700	700	1400	840	0.17671	0.17671	0.78056	0.27586	0.17671	0.54057	0.09552	0.37139
705	705	1410	846	0.17785	0.17785	0.78292	0.27849	0.17785	0.54312	0.09659	0.37508
710	710	1420	852	0.17899	0.17899	0.78526	0.28111	0.17899	0.54565	0.09767	0.37878
715	715	1430	858	0.18013	0.18013	0.78758	0.28373	0.18013	0.54817	0.09874	0.38248
720	720	1440	864	0.18127	0.18127	0.78986	0.28636	0.18127	0.55067	0.09982	0.38618
725	725	1450	870	0.18241	0.18241	0.79213	0.28898	0.18241	0.55316	0.10090	0.38988
730	730	1460	876	0.18354	0.18354	0.79437	0.29160	0.18354	0.55564	0.10198	0.39358
735	735	1470	882	0.18467	0.18467	0.79658	0.29422	0.18467	0.55810	0.10307	0.39728
740	740	1480	888	0.18581	0.18581	0.79878	0.29683	0.18581	0.56055	0.10415	0.40099
745	745	1490	894	0.18694	0.18694	0.80094	0.29945	0.18694	0.56298	0.10524	0.40469
750	750	1500	900	0.18806	0.18806	0.80309	0.30206	0.18806	0.56540	0.10633	0.40839
755	755	1510	906	0.18919	0.18919	0.80521	0.30468	0.18919	0.56781	0.10742	0.41210
760	760	1520	912	0.19032	0.19032	0.80731	0.30729	0.19032	0.57020	0.10852	0.41581
765	765	1530	918	0.19144	0.19144	0.80939	0.30990	0.19144	0.57259	0.10962	0.41951

770	770	1540	924	0.19256	0.19256	0.81144	0.31250	0.19256	0.57495	0.11071	0.42322
775	775	1550	930	0.19368	0.19368	0.81347	0.31511	0.19368	0.57731	0.11181	0.42692
780	780	1560	936	0.19480	0.19480	0.81548	0.31771	0.19480	0.57965	0.11292	0.43063
785	785	1570	942	0.19592	0.19592	0.81747	0.32032	0.19592	0.58198	0.11402	0.43434
790	790	1580	948	0.19704	0.19704	0.81944	0.32292	0.19704	0.58429	0.11513	0.43804
795	795	1590	954	0.19815	0.19815	0.82138	0.32551	0.19815	0.58660	0.11623	0.44175
800	800	1600	960	0.19926	0.19926	0.82331	0.32811	0.19926	0.58889	0.11734	0.44545
805	805	1610	966	0.20037	0.20037	0.82521	0.33070	0.20037	0.59117	0.11845	0.44916
810	810	1620	972	0.20148	0.20148	0.82709	0.33329	0.20148	0.59343	0.11957	0.45286
815	815	1630	978	0.20259	0.20259	0.82896	0.33588	0.20259	0.59568	0.12068	0.45656
820	820	1640	984	0.20370	0.20370	0.83080	0.33847	0.20370	0.59792	0.12180	0.46026
825	825	1650	990	0.20480	0.20480	0.83262	0.34105	0.20480	0.60015	0.12291	0.46396
830	830	1660	996	0.20591	0.20591	0.83443	0.34363	0.20591	0.60237	0.12403	0.46766
835	835	1670	1002	0.20701	0.20701	0.83621	0.34621	0.20701	0.60457	0.12515	0.47136
840	840	1680	1008	0.20811	0.20811	0.83797	0.34878	0.20811	0.60676	0.12627	0.47506
845	845	1690	1014	0.20921	0.20921	0.83972	0.35135	0.20921	0.60894	0.12740	0.47875
850	850	1700	1020	0.21031	0.21031	0.84145	0.35392	0.21031	0.61110	0.12852	0.48244
855	855	1710	1026	0.21140	0.21140	0.84316	0.35649	0.21140	0.61326	0.12964	0.48614
860	860	1720	1032	0.21250	0.21250	0.84485	0.35906	0.21250	0.61540	0.13077	0.48983
865	865	1730	1038	0.21359	0.21359	0.84652	0.36162	0.21359	0.61753	0.13190	0.49352
870	870	1740	1044	0.21468	0.21468	0.84817	0.36417	0.21468	0.61965	0.13303	0.49720
875	875	1750	1050	0.21577	0.21577	0.84981	0.36673	0.21577	0.62176	0.13416	0.50089
880	880	1760	1056	0.21686	0.21686	0.85143	0.36928	0.21686	0.62385	0.13529	0.50457
885	885	1770	1062	0.21795	0.21795	0.85303	0.37183	0.21795	0.62594	0.13642	0.50825
890	890	1780	1068	0.21903	0.21903	0.85461	0.37438	0.21903	0.62801	0.13755	0.51193
895	895	1790	1074	0.22012	0.22012	0.85618	0.37692	0.22012	0.63007	0.13869	0.51561
900	900	1800	1080	0.22120	0.22120	0.85773	0.37946	0.22120	0.63212	0.13982	0.51928
905	905	1810	1086	0.22228	0.22228	0.85926	0.38199	0.22228	0.63416	0.14096	0.52295
910	910	1820	1092	0.22336	0.22336	0.86078	0.38452	0.22336	0.63619	0.14210	0.52662
915	915	1830	1098	0.22444	0.22444	0.86228	0.38705	0.22444	0.63820	0.14324	0.53029
920	920	1840	1104	0.22551	0.22551	0.86376	0.38958	0.22551	0.64021	0.14438	0.53395
925	925	1850	1110	0.22659	0.22659	0.86523	0.39210	0.22659	0.64220	0.14552	0.53762
930	930	1860	1116	0.22766	0.22766	0.86668	0.39462	0.22766	0.64418	0.14666	0.54128
935	935	1870	1122	0.22873	0.22873	0.86812	0.39714	0.22873	0.64615	0.14780	0.54493
940	940	1880	1128	0.22980	0.22980	0.86954	0.39965	0.22980	0.64811	0.14894	0.54859
945	945	1890	1134	0.23087	0.23087	0.87094	0.40216	0.23087	0.65006	0.15008	0.55224
950	950	1900	1140	0.23194	0.23194	0.87233	0.40466	0.23194	0.65200	0.15123	0.55589
955	955	1910	1146	0.23301	0.23301	0.87371	0.40716	0.23301	0.65393	0.15237	0.55953
960	960	1920	1152	0.23407	0.23407	0.87507	0.40966	0.23407	0.65585	0.15352	0.56317
965	965	1930	1158	0.23513	0.23513	0.87642	0.41215	0.23513	0.65775	0.15466	0.56681
970	970	1940	1164	0.23620	0.23620	0.87775	0.41464	0.23620	0.65965	0.15581	0.57045

975	975	1950	1170	0.23726	0.23726	0.87906	0.41713	0.23726	0.66153	0.15695	0.57408
980	980	1960	1176	0.23832	0.23832	0.88037	0.41961	0.23832	0.66341	0.15810	0.57771
985	985	1970	1182	0.23937	0.23937	0.88166	0.42209	0.23937	0.66527	0.15925	0.58134
990	990	1980	1188	0.24043	0.24043	0.88293	0.42456	0.24043	0.66713	0.16040	0.58496
995	995	1990	1194	0.24148	0.24148	0.88419	0.42703	0.24148	0.66897	0.16155	0.58858
1000	1000	2000	1200	0.24253	0.24253	0.88544	0.42950	0.24253	0.67081	0.16269	0.59219
1005	1005	2010	1206	0.24359	0.24359	0.88668	0.43196	0.24359	0.67263	0.16384	0.59581
1010	1010	2020	1212	0.24464	0.24464	0.88790	0.43442	0.24464	0.67444	0.16499	0.59942
1015	1015	2030	1218	0.24568	0.24568	0.88910	0.43688	0.24568	0.67625	0.16614	0.60302
1020	1020	2040	1224	0.24673	0.24673	0.89030	0.43933	0.24673	0.67804	0.16729	0.60662
1025	1025	2050	1230	0.24778	0.24778	0.89148	0.44178	0.24778	0.67983	0.16844	0.61022
1030	1030	2060	1236	0.24882	0.24882	0.89265	0.44422	0.24882	0.68160	0.16960	0.61382
1035	1035	2070	1242	0.24986	0.24986	0.89381	0.44666	0.24986	0.68336	0.17075	0.61741
1040	1040	2080	1248	0.25090	0.25090	0.89495	0.44909	0.25090	0.68512	0.17190	0.62099
1045	1045	2090	1254	0.25194	0.25194	0.89608	0.45153	0.25194	0.68686	0.17305	0.62458
1050	1050	2100	1260	0.25298	0.25298	0.89720	0.45395	0.25298	0.68860	0.17420	0.62816
1055	1055	2110	1266	0.25402	0.25402	0.89831	0.45638	0.25402	0.69032	0.17536	0.63173
1060	1060	2120	1272	0.25505	0.25505	0.89941	0.45880	0.25505	0.69204	0.17651	0.63530
1065	1065	2130	1278	0.25609	0.25609	0.90049	0.46121	0.25609	0.69374	0.17766	0.63887
1070	1070	2140	1284	0.25712	0.25712	0.90156	0.46362	0.25712	0.69544	0.17881	0.64243
1075	1075	2150	1290	0.25815	0.25815	0.90262	0.46603	0.25815	0.69713	0.17997	0.64599
1080	1080	2160	1296	0.25918	0.25918	0.90367	0.46843	0.25918	0.69881	0.18112	0.64955
1085	1085	2170	1302	0.26021	0.26021	0.90471	0.47083	0.26021	0.70047	0.18227	0.65310
1090	1090	2180	1308	0.26124	0.26124	0.90574	0.47322	0.26124	0.70213	0.18342	0.65665
1095	1095	2190	1314	0.26226	0.26226	0.90675	0.47561	0.26226	0.70378	0.18458	0.66019
1100	1100	2200	1320	0.26329	0.26329	0.90776	0.47800	0.26329	0.70543	0.18573	0.66373
1105	1105	2210	1326	0.26431	0.26431	0.90875	0.48038	0.26431	0.70706	0.18688	0.66726
1110	1110	2220	1332	0.26533	0.26533	0.90973	0.48276	0.26533	0.70868	0.18803	0.67079
1115	1115	2230	1338	0.26635	0.26635	0.91071	0.48513	0.26635	0.71029	0.18919	0.67432
1120	1120	2240	1344	0.26737	0.26737	0.91167	0.48750	0.26737	0.71190	0.19034	0.67784
1125	1125	2250	1350	0.26838	0.26838	0.91262	0.48987	0.26838	0.71350	0.19149	0.68136
1130	1130	2260	1356	0.26940	0.26940	0.91356	0.49223	0.26940	0.71508	0.19264	0.68487
1135	1135	2270	1362	0.27041	0.27041	0.91449	0.49458	0.27041	0.71666	0.19380	0.68838
1140	1140	2280	1368	0.27143	0.27143	0.91542	0.49694	0.27143	0.71823	0.19495	0.69188
1145	1145	2290	1374	0.27244	0.27244	0.91633	0.49928	0.27244	0.71979	0.19610	0.69538
1150	1150	2300	1380	0.27345	0.27345	0.91723	0.50163	0.27345	0.72134	0.19725	0.69888
1155	1155	2310	1386	0.27446	0.27446	0.91812	0.50397	0.27446	0.72289	0.19840	0.70237
1160	1160	2320	1392	0.27546	0.27546	0.91900	0.50630	0.27546	0.72442	0.19955	0.70585
1165	1165	2330	1398	0.27647	0.27647	0.91987	0.50863	0.27647	0.72595	0.20070	0.70934
1170	1170	2340	1404	0.27747	0.27747	0.92074	0.51096	0.27747	0.72747	0.20185	0.71281
1175	1175	2350	1410	0.27848	0.27848	0.92159	0.51328	0.27848	0.72898	0.20300	0.71628

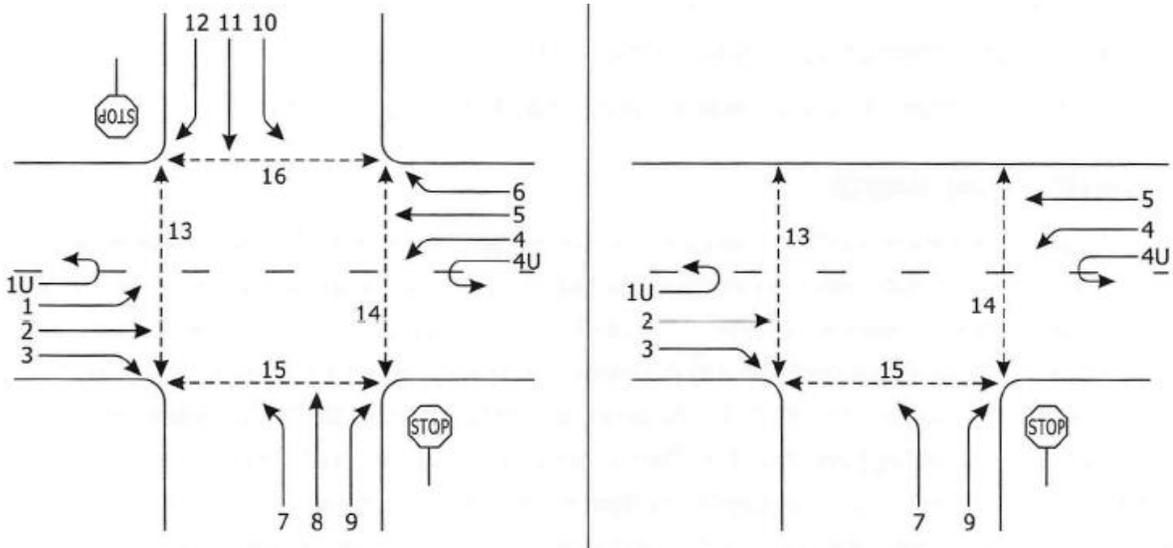
1180	1180	2360	1416	0.27948	0.27948	0.92244	0.51560	0.27948	0.73048	0.20415	0.71975
1185	1185	2370	1422	0.28048	0.28048	0.92327	0.51791	0.28048	0.73197	0.20530	0.72321
1190	1190	2380	1428	0.28148	0.28148	0.92410	0.52022	0.28148	0.73346	0.20645	0.72667
1195	1195	2390	1434	0.28247	0.28247	0.92492	0.52253	0.28247	0.73493	0.20760	0.73013
1200	1200	2400	1440	0.28347	0.28347	0.92573	0.52483	0.28347	0.73640	0.20875	0.73358
1205	1205	2410	1446	0.28446	0.28446	0.92653	0.52713	0.28446	0.73786	0.20989	0.73702
1210	1210	2420	1452	0.28546	0.28546	0.92732	0.52942	0.28546	0.73932	0.21104	0.74046
1215	1215	2430	1458	0.28645	0.28645	0.92810	0.53171	0.28645	0.74076	0.21219	0.74389
1220	1220	2440	1464	0.28744	0.28744	0.92888	0.53399	0.28744	0.74220	0.21334	0.74732
1225	1225	2450	1470	0.28843	0.28843	0.92964	0.53627	0.28843	0.74362	0.21448	0.75075
1230	1230	2460	1476	0.28941	0.28941	0.93040	0.53854	0.28941	0.74504	0.21563	0.75417
1235	1235	2470	1482	0.29040	0.29040	0.93115	0.54081	0.29040	0.74646	0.21677	0.75759
1240	1240	2480	1488	0.29139	0.29139	0.93189	0.54308	0.29139	0.74786	0.21792	0.76100
1245	1245	2490	1494	0.29237	0.29237	0.93263	0.54534	0.29237	0.74926	0.21906	0.76440
1250	1250	2500	1500	0.29335	0.29335	0.93335	0.54760	0.29335	0.75065	0.22020	0.76780
1255	1255	2510	1506	0.29433	0.29433	0.93407	0.54985	0.29433	0.75203	0.22135	0.77120
1260	1260	2520	1512	0.29531	0.29531	0.93478	0.55210	0.29531	0.75340	0.22249	0.77459
1265	1265	2530	1518	0.29629	0.29629	0.93548	0.55435	0.29629	0.75477	0.22363	0.77798
1270	1270	2540	1524	0.29727	0.29727	0.93618	0.55659	0.29727	0.75613	0.22477	0.78136
1275	1275	2550	1530	0.29824	0.29824	0.93687	0.55883	0.29824	0.75748	0.22591	0.78474
1280	1280	2560	1536	0.29922	0.29922	0.93755	0.56106	0.29922	0.75882	0.22705	0.78811
1285	1285	2570	1542	0.30019	0.30019	0.93822	0.56329	0.30019	0.76016	0.22819	0.79148
1290	1290	2580	1548	0.30116	0.30116	0.93889	0.56551	0.30116	0.76149	0.22933	0.79484
1295	1295	2590	1554	0.30213	0.30213	0.93954	0.56773	0.30213	0.76281	0.23047	0.79820
1300	1300	2600	1560	0.30310	0.30310	0.94020	0.56994	0.30310	0.76412	0.23160	0.80155
1305	1305	2610	1566	0.30407	0.30407	0.94084	0.57215	0.30407	0.76543	0.23274	0.80489
1310	1310	2620	1572	0.30503	0.30503	0.94148	0.57436	0.30503	0.76673	0.23388	0.80824
1315	1315	2630	1578	0.30600	0.30600	0.94211	0.57656	0.30600	0.76802	0.23501	0.81157
1320	1320	2640	1584	0.30696	0.30696	0.94273	0.57876	0.30696	0.76931	0.23615	0.81491
1325	1325	2650	1590	0.30792	0.30792	0.94335	0.58095	0.30792	0.77058	0.23728	0.81823
1330	1330	2660	1596	0.30888	0.30888	0.94396	0.58314	0.30888	0.77186	0.23841	0.82156
1335	1335	2670	1602	0.30984	0.30984	0.94456	0.58533	0.30984	0.77312	0.23954	0.82487
1340	1340	2680	1608	0.31080	0.31080	0.94516	0.58751	0.31080	0.77438	0.24068	0.82818
1345	1345	2690	1614	0.31176	0.31176	0.94575	0.58969	0.31176	0.77563	0.24181	0.83149
1350	1350	2700	1620	0.31271	0.31271	0.94634	0.59186	0.31271	0.77687	0.24294	0.83479
1355	1355	2710	1626	0.31366	0.31366	0.94691	0.59403	0.31366	0.77811	0.24406	0.83809
1360	1360	2720	1632	0.31462	0.31462	0.94749	0.59619	0.31462	0.77934	0.24519	0.84138
1365	1365	2730	1638	0.31557	0.31557	0.94805	0.59835	0.31557	0.78056	0.24632	0.84467
1370	1370	2740	1644	0.31652	0.31652	0.94861	0.60051	0.31652	0.78177	0.24745	0.84795
1375	1375	2750	1650	0.31747	0.31747	0.94916	0.60266	0.31747	0.78298	0.24857	0.85123
1380	1380	2760	1656	0.31841	0.31841	0.94971	0.60480	0.31841	0.78418	0.24970	0.85450

1385	1385	2770	1662	0.31936	0.31936	0.95025	0.60695	0.31936	0.78538	0.25082	0.85777
1390	1390	2780	1668	0.32031	0.32031	0.95079	0.60909	0.32031	0.78657	0.25194	0.86103
1395	1395	2790	1674	0.32125	0.32125	0.95132	0.61122	0.32125	0.78775	0.25306	0.86428
1400	1400	2800	1680	0.32219	0.32219	0.95185	0.61335	0.32219	0.78893	0.25419	0.86754
1405	1405	2810	1686	0.32313	0.32313	0.95236	0.61548	0.32313	0.79010	0.25531	0.87078
1410	1410	2820	1692	0.32407	0.32407	0.95288	0.61760	0.32407	0.79126	0.25642	0.87402
1415	1415	2830	1698	0.32501	0.32501	0.95339	0.61972	0.32501	0.79242	0.25754	0.87726
1420	1420	2840	1704	0.32595	0.32595	0.95389	0.62183	0.32595	0.79357	0.25866	0.88049
1425	1425	2850	1710	0.32688	0.32688	0.95438	0.62394	0.32688	0.79471	0.25978	0.88372
1430	1430	2860	1716	0.32782	0.32782	0.95488	0.62605	0.32782	0.79585	0.26089	0.88694
1435	1435	2870	1722	0.32875	0.32875	0.95536	0.62815	0.32875	0.79698	0.26201	0.89015
1440	1440	2880	1728	0.32968	0.32968	0.95584	0.63024	0.32968	0.79810	0.26312	0.89336
1445	1445	2890	1734	0.33061	0.33061	0.95632	0.63234	0.33061	0.79922	0.26423	0.89657
1450	1450	2900	1740	0.33154	0.33154	0.95679	0.63443	0.33154	0.80033	0.26534	0.89977
1455	1455	2910	1746	0.33247	0.33247	0.95725	0.63651	0.33247	0.80144	0.26645	0.90296
1460	1460	2920	1752	0.33339	0.33339	0.95772	0.63859	0.33339	0.80254	0.26756	0.90615
1465	1465	2930	1758	0.33432	0.33432	0.95817	0.64067	0.33432	0.80363	0.26867	0.90934
1470	1470	2940	1764	0.33524	0.33524	0.95862	0.64274	0.33524	0.80472	0.26978	0.91252
1475	1475	2950	1770	0.33617	0.33617	0.95907	0.64481	0.33617	0.80580	0.27088	0.91569
1480	1480	2960	1776	0.33709	0.33709	0.95951	0.64688	0.33709	0.80688	0.27199	0.91886
1485	1485	2970	1782	0.33801	0.33801	0.95994	0.64894	0.33801	0.80795	0.27309	0.92203
1490	1490	2980	1788	0.33893	0.33893	0.96038	0.65099	0.33893	0.80901	0.27420	0.92519
1495	1495	2990	1794	0.33984	0.33984	0.96080	0.65304	0.33984	0.81007	0.27530	0.92834
1500	1500	3000	1800	0.34076	0.34076	0.96123	0.65509	0.34076	0.81112	0.27640	0.93149
1505	1505	3010	1806	0.34167	0.34167	0.96164	0.65714	0.34167	0.81217	0.27750	0.93464
1510	1510	3020	1812	0.34259	0.34259	0.96206	0.65918	0.34259	0.81321	0.27860	0.93777
1515	1515	3030	1818	0.34350	0.34350	0.96247	0.66121	0.34350	0.81425	0.27969	0.94091
1520	1520	3040	1824	0.34441	0.34441	0.96287	0.66325	0.34441	0.81528	0.28079	0.94404
1525	1525	3050	1830	0.34532	0.34532	0.96327	0.66528	0.34532	0.81630	0.28189	0.94716
1530	1530	3060	1836	0.34623	0.34623	0.96367	0.66730	0.34623	0.81732	0.28298	0.95028
1535	1535	3070	1842	0.34714	0.34714	0.96406	0.66932	0.34714	0.81833	0.28407	0.95339
1540	1540	3080	1848	0.34804	0.34804	0.96444	0.67134	0.34804	0.81934	0.28516	0.95650
1545	1545	3090	1854	0.34895	0.34895	0.96483	0.67335	0.34895	0.82034	0.28626	0.95961
1550	1550	3100	1860	0.34985	0.34985	0.96521	0.67536	0.34985	0.82133	0.28734	0.96270
1555	1555	3110	1866	0.35075	0.35075	0.96558	0.67736	0.35075	0.82232	0.28843	0.96580
1560	1560	3120	1872	0.35166	0.35166	0.96595	0.67937	0.35166	0.82331	0.28952	0.96889
1565	1565	3130	1878	0.35256	0.35256	0.96632	0.68136	0.35256	0.82428	0.29061	0.97197
1570	1570	3140	1884	0.35345	0.35345	0.96668	0.68336	0.35345	0.82526	0.29169	0.97505
1575	1575	3150	1890	0.35435	0.35435	0.96704	0.68535	0.35435	0.82623	0.29277	0.97812
1580	1580	3160	1896	0.35525	0.35525	0.96740	0.68733	0.35525	0.82719	0.29386	0.98119
1585	1585	3170	1902	0.35614	0.35614	0.96775	0.68931	0.35614	0.82815	0.29494	0.98425

1590	1590	3180	1908	0.35704	0.35704	0.96810	0.69129	0.35704	0.82910	0.29602	0.98731
1595	1595	3190	1914	0.35793	0.35793	0.96844	0.69326	0.35793	0.83005	0.29710	0.99036
1600	1600	3200	1920	0.35882	0.35882	0.96878	0.69523	0.35882	0.83099	0.29817	0.99341
1605	1605	3210	1926	0.35971	0.35971	0.96912	0.69720	0.35971	0.83192	0.29925	0.99645
1610	1610	3220	1932	0.36060	0.36060	0.96945	0.69916	0.36060	0.83285	0.30033	0.99949
1615	1615	3230	1938	0.36149	0.36149	0.96978	0.70112	0.36149	0.83378	0.30140	1.00252

APÉNDICE 3.

Aforos Vehiculares.



Entronque en "T".

Vialidad Principal Carril Derecho.

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 400 A 400 (DE LA AUTOPISTA MÉXICO-QUERÉTARO AL IMT)
IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 2

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A 7:15	7:15 A 7:30	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30	8:30 A 8:45	8:45 A 9:00	9:00 A 9:15	9:15 A 9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	44	39	34	46	50	59	52	69	68	52
AP	6	12	7	15	16	12	13	6	12	9
B	10	5	4	1	4	2	1	2	0	3
C	3	3	5	1	4	8	8	10	6	9
M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	64	59	50	63	74	81	74	87	86	73
VOLUMEN HORARIO	236	246	268	292	316	328	320			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	14	18	20	23	22	19	22	22	26	15
AP	11	4	13	5	2	5	4	8	10	12
B	0	1	0	1	1	1	4	1	0	4
C	11	15	13	14	8	12	6	6	2	5
M	0	0	0	1	0	2	0	0	0	1
TOTAL X RANGO	36	38	46	44	33	39	36	37	38	37
VOLUMEN HORARIO	164	161	162	152	145	150	148			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	42	33	48	48	37	56	33	32	37	43
AP	13	8	19	17	17	23	21	24	16	14
B	2	2	1	5	1	5	1	2	2	5
C	2	2	4	6	6	2	5	5	2	4
M	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
TOTAL X RANGO	60	45	72	76	62	86	61	63	57	66
VOLUMEN HORARIO	253	255	296	285	272	267	247			

MOVIMIENTO: DE LA CARRETERA 400 A 420 (DE LA AUTOPISTA MÉXICO-QUERÉTARO AL PARQUE EL CIMATARIO)

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 3

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	68	11	12	11	18	10	23	16	16	11
AP	2	2	6	1	11	2	6	0	1	6

B	1	2	3	3	2	1	1	2	2	3
C	0	1	0	2	1	0	4	2	1	1
M	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	72	16	21	17	33	13	34	20	20	21
VOLUMEN HORARIO	126	87	84	97	100	87	95			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
RANGOS	12:00 A 12:15	12:15 A 12:30	12:30 A 12:45	12:45 A 13:00	13:00 A 13:15	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	22	10	21	16	18	19	24	40	35	21
AP	0	3	2	5	6	2	5	3	4	7
B	0	1	3	1	1	1	3	5	1	3
C	11	2	1	3	5	4	2	1	2	1
M	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2
TOTAL X RANGO	33	16	27	25	30	26	34	52	42	34
VOLUMEN HORARIO	101	98	108	115	142	154	162			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
RANGOS	17:30 A 17:45	17:45 A 18:00	18:00 A 18:15	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15	19:15 A 19:30	19:30 A 19:45	19:45 A 20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	36	45	75	118	137	168	106	82	44	27
AP	5	10	15	12	24	21	11	11	7	3
B	3	1	2	2	1	6	1	0	2	3
C	4	1	8	3	7	8	9	6	2	2
M	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	48	60	101	135	170	203	127	99	55	35
VOLUMEN HORARIO	344	466	609	635	599	484	316			

CÁLCULO DE VOLUMEN MÁXIMO HORARIO EN LA INTERSECCIÓN POR PERÍODO DE AFORO

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
VOLUMEN HORARIO	362	333	352	389	416	415	415			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
VOLUMEN HORARIO	265	259	270	267	287	304	310			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
VOLUMEN HORARIO	597	721	905	920	871	751	563			

Volumen Máximo Horario en la intersección.

PRIMER AFORO (de 7:00 a 9:30 hrs.)

PERÍODO	8:00 a 9:00 hrs.			
RANGOS	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30	8:30 A 8:45	8:45 A 9:00
VOLUMEN HORARIO	107	94	108	107

VHMD 416 DE 7:45 A 8:45 HORAS

N 4 periodos dentro la hora

q máx 108 vehículos

FHMD	0.963
-------------	--------------

SEGUNDO AFORO (de 12:00 a 14:30 hrs.)

PERÍODO	13:30 A 14:30			
RANGOS	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
VOLUMEN HORARIO	70	89	80	71

VHMD 310 DE 13:30 A 14:30 HORAS

N 4 períodos dentro la hora

q máx 89 vehículos

FHMD	0.871
-------------	--------------

TERCER AFORO (de 17:30 a 20:00 hrs.)

PERÍODO	18:15 a 19:15			
RANGOS	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15
VOLUMEN HORARIO	211	232	289	188

VHMD 920 DE 13:30 A 14:30 HORAS

N 4 períodos dentro la hora

q máx 289 vehículos

FHMD	0.796
-------------	--------------

Vialidad Principal Carril Izquierdo.

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 400 A 420 (DEL IMT HACIA LA AUTOPISTA MÉXICO-QUERÉTARO)
IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 5

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	38	36	66	80	50	39	32	36	33	26
AP	12	22	25	40	14	21	20	14	4	14
B	6	3	5	3	1	3	1	0	1	0
C	3	5	9	7	8	8	8	8	7	6
M	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	60	66	105	131	73	71	61	58	45	46
VOLUMEN HORARIO	362	375	380	336	263	235	210			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	23	13	15	23	27	24	26	27	22	19
AP	4	10	16	9	9	7	17	9	14	11
B	0	0	1	1	1	0	4	3	1	1
C	10	8	4	9	12	13	7	8	6	9
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	37	31	36	42	49	44	54	47	43	40
VOLUMEN HORARIO	146	158	171	189	194	188	184			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	60	60	54	45	34	33	39	32	13	24
AP	13	12	12	8	18	7	11	9	7	7
B	4	2	8	3	1	1	3	5	3	2

C	10	8	5	5	5	5	2	6	3	0
M	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0
TOTAL X RANGO	88	84	79	61	58	46	56	52	26	33
VOLUMEN HORARIO	312	282	244	221	212	180	167			

MOVIMIENTO: DE LA CARRETERA 420 A 400 (DEL PARQUE CIMATARIO HACIA LA AUTOPISTA)
IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 7

PERÍODO	7:00 A 9:30									
RANGOS	7:00 A 7:15	7:15 A 7:30	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30	8:30 A 8:45	8:45 A 9:00	9:00 A 9:15	9:15 A 9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	33	21	23	47	57	37	28	20	16	10
AP	12	12	16	33	15	13	9	2	3	4
B	2	1	2	5	2	3	0	2	1	1
C	1	1	1	4	3	1	6	3	5	2
M	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1
TOTAL X RANGO	50	35	42	90	77	54	43	27	25	18
VOLUMEN HORARIO	217	244	263	264	201	149	113			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
RANGOS	12:00 A 12:15	12:15 A 12:30	12:30 A 12:45	12:45 A 13:00	13:00 A 13:15	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	12	4	7	7	14	8	18	33	28	16
AP	2	3	1	4	1	2	4	2	4	7
B	2	1	1	1	3	1	4	2	6	2
C	3	5	2	5	5	1	4	4	4	3
M	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
TOTAL X RANGO	19	13	11	17	23	13	30	42	42	28
VOLUMEN HORARIO	60	64	64	83	108	127	142			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	6	9	10	7	9	5	9	9	13	2
AP	3	2	4	6	3	5	5	6	2	2
B	2	5	4	3	2	1	3	1	2	2
C	2	1	2	2	0	1	3	1	2	0
M	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
TOTAL X RANGO	13	18	20	18	14	12	20	18	19	6
VOLUMEN HORARIO	69	70	64	64	64	69	63			

CÁLCULO DE VOLUMEN MÁXIMO HORARIO EN LA INTERSECCIÓN POR PERÍODO DE AFORO

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
VOLUMEN HORARIO	579	619	643	600	464	384	323			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
VOLUMEN HORARIO	206	222	235	272	302	315	326			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
VOLUMEN HORARIO	381	352	308	285	276	249	230			

Volumen Máximo Horario en la intersección.

PRIMER AFORO (de 7:00 a 9:30 hrs.)

PERÍODO	7:45 a 8:45 hrs.			
RANGOS	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30
VOLUMEN HORARIO	147	221	150	125

VHMD 643 DE 7:45 A 8:45 HORAS

N 4 períodos dentro la hora

q máx 221 vehículos

FHMD	0.727
-------------	--------------

SEGUNDO AFORO (de 12:00 a 14:30 hrs.)

PERÍODO	13:30 A 14:30			
RANGOS	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
VOLUMEN HORARIO	84	89	85	68

VHMD 326 DE 13:30 A 14:30 HORAS

N 4 períodos dentro la hora

q máx 89 vehículos

FHMD	0.916
-------------	--------------

TERCER AFORO (de 17:30 a 20:00 hrs.)

PERÍODO	18:00 a 19:00			
RANGOS	17:30 A 17:45	17:45 A 18:00	18:00 A 18:15	18:15 A 18:30
VOLUMEN HORARIO	101	102	99	79

VHMD **381** DE 13:30 A 14:30 HORAS

N **4** períodos dentro la hora

q máx **102** vehículos

FHMD	0.934
------	--------------

Vialidad Secundaria Carril Derecho.

MOVIMIENTO: DE AV. CONSTITUYENTES A AV. PASTEUR (DEL PARQUE CIMATARIO HACIA LA AUTOPISTA)

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 4

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	33	21	23	47	57	37	28	20	16	10
AP	12	12	16	33	15	13	9	2	3	4
B	2	1	2	5	2	3	0	2	1	1
C	1	1	1	4	3	1	6	3	5	2
M	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1
TOTAL X RANGO	50	35	42	90	77	54	43	27	25	18
VOLUMEN HORARIO	217	244	263	264	201	149	113			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	12	4	7	7	14	8	18	33	28	16
AP	2	3	1	4	1	2	4	2	4	7
B	2	1	1	1	3	1	4	2	6	2
C	3	5	2	5	5	1	4	4	4	3
M	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
TOTAL X RANGO	19	13	11	17	23	13	30	42	42	28

VOLUMEN HORARIO	60	64	64	83	108	127	142
------------------------	----	----	----	----	-----	-----	-----

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	6	9	10	7	9	5	9	9	13	2
AP	3	2	4	6	3	5	5	6	2	2
B	2	5	4	3	2	1	3	1	2	2
C	2	1	2	2	0	1	3	1	2	0
M	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
TOTAL X RANGO	13	18	20	18	14	12	20	18	19	6
VOLUMEN HORARIO	69	70	64	64	64	69	63			

MOVIMIENTO: DE AV. CONSTITUYENTES A AV. CONSTITUYENTES (DEL PARQUE CIMATARIO HACIA EL IMT)

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 5

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	9	10	7	10	8	14	9	22	26	20
AP	2	3	0	2	3	1	1	5	2	2
B	1	2	0	1	1	1	0	4	2	0
C	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
TOTAL X RANGO	12	16	7	14	12	16	10	31	31	22
VOLUMEN HORARIO	49	49	49	52	69	88	94			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30

<u>VEHÍCULO</u>										
A	5	3	1	2	3	2	3	1	4	5
AP	0	1	3	1	4	4	0	6	3	0
B	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
C	2	1	1	2	1	2	1	2	3	2
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	7	5	5	5	8	8	5	9	10	7
VOLUMEN HORARIO	22	23	26	26	30	32	31			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	3	3	3	5	5	0	3	2	3	7
AP	2	2	3	2	6	0	0	2	0	2
B	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1
C	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1
M	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	5	5	7	8	12	1	5	5	3	11
VOLUMEN HORARIO	25	32	28	26	23	14	24			

CÁLCULO DE VOLUMEN MÁXIMO HORARIO EN LA INTERSECCIÓN POR PERÍODO DE AFORO

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
VOLUMEN HORARIO	266	293	312	316	270	237	207			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
VOLUMEN HORARIO	82	87	90	109	138	159	173			

PERÍODO	17:30 A 20:00										
RANGOS	17:30 A 17:45	17:45 A 18:00	18:00 A 18:15	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15	19:15 A 19:30	19:30 A 19:45	19:45 A 20:00	
VOLUMEN HORARIO	94	102	92	90	87	83	87				

Volumen Máximo Horario en la intersección.

PRIMER AFORO (de 7:00 a 9:30 hrs.)

PERÍODO	7:45 a 8:45 hrs.			
RANGOS	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30	8:30 A 8:45
VOLUMEN HORARIO	104	89	70	53

VHMD 316 DE 7:45 A 8:45 HORAS

N 4 períodos dentro la hora

q máx 104 vehículos

FHMD	0.760
-------------	--------------

SEGUNDO AFORO (de 12:00 a 14:30 hrs.)

PERÍODO	13:30 A 14:30			
RANGOS	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
VOLUMEN HORARIO	35	51	52	35

VHMD 173 DE 13:30 A 14:30 HORAS

N 4 períodos dentro la hora

q máx 52 vehículos

FHMD	0.832
------	-------

TERCER AFORO (de 17:30 a 20:00 hrs.)

PERÍODO	18:00 a 19:00			
RANGOS	17:45 A 18:00	18:00 A 18:15	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45
VOLUMEN HORARIO	23	27	26	26

VHMD **102** **DE 13:30 A 14:30 HORAS**

N **4** **períodos dentro la hora**

q máx **27** **vehículos**

FHMD	0.944
------	-------

Vialidad Secundaria Carril Izquierdo.

MOVIMIENTO: DE LA CARRETERA 400 A 420 (DE LA AUTOPISTA MÉXICO-QUERÉTARO AL PARQUE EL CIMATARIO)

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 3

PERÍODO	7:00 A 9:30									
RANGOS	7:00 A 7:15	7:15 A 7:30	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30	8:30 A 8:45	8:45 A 9:00	9:00 A 9:15	9:15 A 9:30
<i>VEHÍCULO</i>										
A	68	11	12	11	18	10	23	16	16	11
AP	2	2	6	1	11	2	6	0	1	6
B	1	2	3	3	2	1	1	2	2	3
C	0	1	0	2	1	0	4	2	1	1
M	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	72	16	21	17	33	13	34	20	20	21
VOLUMEN HORARIO	126	87	84	97	100	87	95			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	22	10	21	16	18	19	24	40	35	21
AP	0	3	2	5	6	2	5	3	4	7
B	0	1	3	1	1	1	3	5	1	3
C	11	2	1	3	5	4	2	1	2	1
M	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2
TOTAL X RANGO	33	16	27	25	30	26	34	52	42	34
VOLUMEN HORARIO	101	98	108	115	142	154	162			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	36	45	75	118	137	168	106	82	44	27
AP	5	10	15	12	24	21	11	11	7	3
B	3	1	2	2	1	6	1	0	2	3
C	4	1	8	3	7	8	9	6	2	2
M	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	48	60	101	135	170	203	127	99	55	35
VOLUMEN HORARIO	344	466	609	635	599	484	316			

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 400 A 420 (DEL IMT HACIA EL PARQUE CIMATARIO)
IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 4

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	4	3	4	5	2	2	5	3	2	2
AP	3	1	2	8	2	2	4	5	1	4
B	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0
C	0	0	0	2	0	2	0	0	0	2

M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	8	4	6	17	4	8	9	8	3	8
VOLUMEN HORARIO	35	31	35	38	29	28	28			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A 12:15	12:15 A 12:30	12:30 A 12:45	12:45 A 13:00	13:00 A 13:15	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	4	5	3	2	5	4	10	9	5	2
AP	1	2	1	0	1	4	4	10	0	0
B	0	1	0	0	0	3	2	2	0	1
C	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1
M	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	7	9	5	2	9	13	17	22	6	4
VOLUMEN HORARIO	23	25	29	41	61	58	49			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A 17:45	17:45 A 18:00	18:00 A 18:15	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15	19:15 A 19:30	19:30 A 19:45	19:45 A 20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	20	30	23	23	24	22	11	16	8	7
AP	5	5	4	2	4	1	2	0	1	0
B	0	5	4	2	0	1	0	1	0	0
C	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
M	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	25	42	31	27	28	24	13	18	10	8
VOLUMEN HORARIO	125	128	110	92	83	65	49			

CÁLCULO DE VOLUMEN MÁXIMO HORARIO EN LA INTERSECCIÓN POR PERÍODO DE AFORO

PERÍODO	7:00 A 9:30									
RANGOS	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
VOLUMEN HORARIO	161	118	119	135	129	115	123			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
RANGOS	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
VOLUMEN HORARIO	124	123	137	156	203	212	211			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
RANGOS	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
VOLUMEN HORARIO	469	594	719	727	682	549	365			

Volumen Máximo Horario en la intersección.

PRIMER AFORO (de 7:00 a 9:30 hrs.)

PERÍODO	7:45 a 8:45 hrs.			
RANGOS	7:00 A 7:15	7:15 A 7:30	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00
VOLUMEN HORARIO	80	20	27	34

VHMD **161** DE 7:45 A 8:45 HORAS

N **4** períodos dentro la hora

q máx **80** vehículos

FHMD	0.503
------	--------------

SEGUNDO AFORO (de 12:00 a 14:30 hrs.)

PERÍODO	13:30 A 14:30			
RANGOS	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15
VOLUMEN HORARIO	39	51	74	48

VHMD **211** DE 13:30 A 14:30 HORAS

N **4** períodos dentro la hora

q máx **74** vehículos

FHMD	0.713
------	--------------

TERCER AFORO (de 17:30 a 20:00 hrs.)

PERÍODO	18:00 a 19:00			
RANGOS	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:45
VOLUMEN HORARIO	162	198	227	140

VHMD **727** DE 13:30 A 14:30 HORAS

N **4** períodos dentro la hora

q máx **227** vehículos

FHMD	0.801
------	--------------

Entronque en “+”.

Vialidad Principal Carril Derecho.

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 200 A CARRETERA 20 (DE LOS ARCOS AL AEROPUERTO).
IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 5

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	19	39	46	68	50	30	34	35	30	22
AP	2	8	14	8	10	10	13	19	8	6
B	2	2	3	4	2	4	3	2	2	5
C	1	2	1	6	2	1	6	3	4	6
M	0	2	0	3	1	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	24	53	64	89	65	45	56	59	44	39
VOLUMEN HORARIO	230	271	263	255	225	204	198			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	18	13	22	30	22	23	28	32	18	20
AP	6	8	8	15	9	19	7	15	15	8
B	2	0	2	3	2	2	3	3	2	1
C	2	3	4	2	7	3	6	5	2	5
M	0	0	1	2	1	1	0	1	1	2
TOTAL X RANGO	28	24	37	52	41	48	44	56	38	36
VOLUMEN HORARIO	141	154	178	185	189	186	174			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	25	23	23	25	30	28	30	30	28	17

AP	11	18	14	14	12	11	16	13	9	11
B	2	1	2	3	2	3	3	2	3	2
C	4	2	1	4	3	0	0	1	0	0
M	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	42	44	43	47	47	42	49	46	40	30
VOLUMEN HORARIO	176	181	179	185	184	177	165			

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 210 A 200 (DE AUTOPISTA A AEROPUERTO).
IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 12

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	13	26	37	56	24	39	23	27	18	18
AP	1	3	13	15	7	16	6	7	11	13
B	4	1	3	5	3	1	6	3	2	0
C	4	4	6	7	4	8	6	2	6	7
M	1	0	0	0	1	2	1	1	0	1
TOTAL X RANGO	23	34	59	83	39	66	42	40	37	39
VOLUMEN HORARIO	199	215	247	230	187	185	158			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	21	19	24	29	25	29	28	27	26	15
AP	9	15	13	9	3	5	7	16	12	5
B	0	3	1	2	1	3	4	4	4	1
C	8	15	6	7	6	4	13	4	3	3
M	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
TOTAL X RANGO	39	53	44	47	35	41	52	51	46	24
VOLUMEN HORARIO	183	179	167	175	179	190	173			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A 17:45	17:45 A 18:00	18:00 A 18:15	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15	19:15 A 19:30	19:30 A 19:45	19:45 A 20:00
RANGOS										
VEHÍCULO										
A	27	22	25	31	41	27	37	29	27	20
AP	11	13	15	15	16	21	29	11	4	12
B	2	3	7	1	0	2	7	1	3	1
C	7	5	6	5	5	8	5	3	2	4
M	1	0	3	1	1	1	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	48	43	56	53	63	59	78	44	36	37
VOLUMEN HORARIO	200	215	231	253	244	217	195			

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 210 A 200 (DE AMAZCALA A AEROPUERTO).
IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 7

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A 7:15	7:15 A 7:30	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30	8:30 A 8:45	8:45 A 9:00	9:00 A 9:15	9:15 A 9:30
RANGOS										
VEHÍCULO										
A	3	7	5	4	1	5	1	1	1	2
AP	1	1	4	2	3	2	1	5	1	1
B	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0
C	0	0	2	1	3	2	19	2	2	7
M	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	4	10	12	7	8	10	21	8	4	10
VOLUMEN HORARIO	33	37	37	46	47	43	43			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A 12:15	12:15 A 12:30	12:30 A 12:45	12:45 A 13:00	13:00 A 13:15	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
RANGOS										
VEHÍCULO										
A	2	3	3	1	0	4	3	4	1	5
AP	0	1	3	1	3	2	4	1	5	1
B	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1

C	3	1	7	3	5	7	3	6	5	8
M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
TOTAL X RANGO	5	5	13	6	9	13	11	12	11	16
VOLUMEN HORARIO	29	33	41	39	45	47	50			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
RANGOS	17:30 A 17:45	17:45 A 18:00	18:00 A 18:15	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15	19:15 A 19:30	19:30 A 19:45	19:45 A 20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	3	0	2	5	4	1	7	9	6	2
AP	2	5	3	2	3	1	2	8	1	4
B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	1	0	0	1	0	0	2	3	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	5	7	5	7	8	2	9	19	10	6
VOLUMEN HORARIO	24	27	22	26	38	40	44			

CÁLCULO DE VOLUMEN MÁXIMO HORARIO EN LA INTERSECCIÓN POR PERÍODO DE AFORO

PERÍODO	7:00 A 9:30									
RANGOS	7:00 A 7:15	7:15 A 7:30	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30	8:30 A 8:45	8:45 A 9:00	9:00 A 9:15	9:15 A 9:30
VOLUMEN HORARIO	462	523	547	531	459	432	399			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
RANGOS	12:00 A 12:15	12:15 A 12:30	12:30 A 12:45	12:45 A 13:00	13:00 A 13:15	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
VOLUMEN HORARIO	353	366	386	399	413	423	397			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
VOLUMEN HORARIO	400	423	432	464	466	434	404			

Volumen Máximo Horario en la intersección.

PRIMER AFORO (de 7:00 a 9:30 hrs.)

PERÍODO	7:30 A 8:30			
RANGOS	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30
VOLUMEN HORARIO	135	179	112	121

VHMD 547 DE 7:30 A 8:30 HORAS

N 4 períodos dentro la hora

q máx 179 vehículos

FHMD	0.764
-------------	--------------

SEGUNDO AFORO (de 12:00 a 14:30 hrs.)

PERÍODO	13:30 A 14:30			
RANGOS	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15
VOLUMEN HORARIO	102	107	119	95

VHMD 423 DE 13:30 A 14:30 HORAS

N 4 períodos dentro la hora

q máx 119 vehículos

FHMD	0.889
-------------	--------------

TERCER AFORO (de 17:30 a 20:00 hrs.)

PERÍODO	18:15 a 19:15			
RANGOS	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15	19:15 A 19:30
VOLUMEN HORARIO	118	103	136	109

VHMD **357** **DE 13:30 A 14:30 HORAS**

N **4** **períodos dentro la hora**

q máx **136** **vehículos**

FHMD	0.656
-------------	--------------

Vialidad Principal Carril Izquierdo.

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 200 A 210 (DE AEROPUERTO A AUTOPISTA).
IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 1

PERÍODO	7:00 A 9:30									
RANGOS	7:00 A 7:15	7:15 A 7:30	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30	8:30 A 8:45	8:45 A 9:00	9:00 A 9:15	9:15 A 9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	10	25	29	26	23	23	27	16	24	15
AP	8	13	19	25	18	12	11	17	9	7
B	1	2	3	4	2	1	3	0	3	0
C	2	2	5	5	4	5	7	6	3	3
M	1	1	0	0	3	0	2	0	0	1
TOTAL X RANGO	22	43	56	60	50	41	50	39	39	26
VOLUMEN HORARIO	181	209	207	201	180	169	154			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	17	16	18	17	34	21	20	20	28	22
AP	13	12	9	14	11	13	12	13	11	16
B	2	2	2	2	3	4	5	0	3	3
C	4	10	2	4	9	5	9	10	3	4
M	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0
TOTAL X RANGO	36	41	32	37	57	43	46	45	45	45
VOLUMEN HORARIO	146	167	169	183	191	179	181			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	21	24	20	38	25	38	28	28	25	20
AP	17	13	11	8	11	18	20	13	9	16
B	6	4	6	1	4	2	3	2	1	2
C	8	5	8	5	5	3	4	4	1	2
M	0	0	1	4	0	2	1	0	0	0
TOTAL X RANGO	52	46	46	56	45	63	56	47	36	40
VOLUMEN HORARIO	200	193	210	220	211	202	179			

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 200 A 200 (DE AEROPUERTO A LOS ARCOS).

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 2

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	20	34	31	37	30	40	31	16	28	17
AP	9	11	24	19	22	23	10	13	13	15
B	2	4	4	3	6	4	2	0	2	1
C	2	3	5	4	4	11	5	7	6	4

M	0	0	1	0	0	2	0	0	0	1
TOTAL X RANGO	33	52	65	63	62	80	48	36	49	38
VOLUMEN HORARIO	213	242	270	253	226	213	171			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
RANGOS	12:00 A 12:15	12:15 A 12:30	12:30 A 12:45	12:45 A 13:00	13:00 A 13:15	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	19	20	16	22	20	25	25	27	27	35
AP	11	16	13	8	5	14	13	10	15	20
B	2	2	1	1	2	2	3	2	0	5
C	3	4	4	3	3	1	7	5	5	4
M	0	1	0	2	1	0	1	2	1	1
TOTAL X RANGO	35	43	34	36	31	42	49	46	48	65
VOLUMEN HORARIO	148	144	143	158	168	185	208			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
RANGOS	17:30 A 17:45	17:45 A 18:00	18:00 A 18:15	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15	19:15 A 19:30	19:30 A 19:45	19:45 A 20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	31	36	47	80	66	56	56	54	48	38
AP	20	15	11	20	13	20	17	11	17	9
B	2	1	1	2	1	3	0	0	0	0
C	1	3	4	3	1	3	3	1	3	2
M	0	1	6	3	2	0	0	1	0	1
TOTAL X RANGO	54	56	69	108	83	82	76	67	68	50
VOLUMEN HORARIO	287	316	342	349	308	293	261			

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 200 A 210 (DE AEROPUERTO A AMAZCALA).

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 3

PERÍODO	7:00 A 9:30									
RANGOS	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	1	2	7	4	2	3	2	0	3	3
AP	1	0	2	1	2	1	2	1	0	2
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	1	1	1	3	0	0	7	4
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	2	2	10	6	5	7	4	1	10	9
VOLUMEN HORARIO	20	23	28	22	17	22	24			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
RANGOS	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	3	4	2	2	2	4	4	2	3	2
AP	1	2	4	3	0	1	2	2	1	1
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
C	2	0	2	6	5	5	6	4	3	8
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	6	6	8	11	7	10	12	8	7	12
VOLUMEN HORARIO	31	32	36	40	37	37	39			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
RANGOS	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	3	1	2	1	1	5	4	3	2	3
AP	0	0	0	0	0	4	2	1	1	1
B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0

M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	3	1	3	1	2	9	7	4	3	4
VOLUMEN HORARIO	8	7	15	19	22	23	18			

CÁLCULO DE VOLUMEN MÁXIMO HORARIO EN LA INTERSECCIÓN POR PERÍODO DE AFORO

PERÍODO	7:00 A 9:30									
RANGOS	7:00 A 7:15	7:15 A 7:30	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30	8:30 A 8:45	8:45 A 9:00	9:00 A 9:15	9:15 A 9:30
VOLUMEN HORARIO	414	474	505	476	423	404	349			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
RANGOS	12:00 A 12:15	12:15 A 12:30	12:30 A 12:45	12:45 A 13:00	13:00 A 13:15	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
VOLUMEN HORARIO	325	343	348	381	396	401	428			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
RANGOS	17:30 A 17:45	17:45 A 18:00	18:00 A 18:15	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15	19:15 A 19:30	19:30 A 19:45	19:45 A 20:00
VOLUMEN HORARIO	495	516	567	588	541	518	458			

Volumen Máximo Horario en la intersección.

PRIMER AFORO (de 7:00 a 9:30 hrs.)

PERÍODO	7:30 A 8:30			
RANGOS	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30
VOLUMEN HORARIO	131	129	117	128

VHMD 505 DE 7:30 A 8:30 HORAS

N 4 periodos dentro la hora

q máx **129** vehículos

FHMD	0.979
------	--------------

SEGUNDO AFORO (de 12:00 a 14:30 hrs.)

PERÍODO	13:30 A 14:30			
RANGOS	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
VOLUMEN HORARIO	107	99	100	122

VHMD **428** DE 13:30 A 14:30 HORAS

N **4** periodos dentro la hora

q máx **122** vehículos

FHMD	0.877
------	--------------

TERCER AFORO (de 17:30 a 20:00 hrs.)

PERÍODO	18:15 a 19:15			
RANGOS	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15
VOLUMEN HORARIO	165	130	154	139

VHMD **588** DE 13:30 A 14:30 HORAS

N **4** periodos dentro la hora

q máx **165** vehículos

FHMD	0.891
------	--------------

Vialidad Secundaria Carril Derecho.

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 210 A 200 (DE AUTOPISTA A LOS ARCOS).

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 10

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	12	24	25	28	29	31	22	28	15	18
AP	3	2	7	8	4	6	5	7	3	6
B	4	6	7	2	6	4	3	4	2	3
C	6	8	8	4	7	10	7	8	6	12
M	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
TOTAL X RANGO	25	40	48	42	47	51	37	47	26	40
VOLUMEN HORARIO	155	177	188	177	182	161	150			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	11	19	13	18	22	12	29	24	23	15
AP	5	4	8	8	10	4	7	4	8	5
B	1	5	3	3	3	5	5	4	2	2
C	16	11	4	6	4	5	6	8	8	4
M	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0
TOTAL X RANGO	33	41	28	36	39	26	48	41	41	26
VOLUMEN HORARIO	138	144	129	149	154	156	156			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	17	13	20	28	28	13	40	38	30	19
AP	5	5	8	12	7	7	7	5	8	4
B	5	4	8	1	5	3	4	4	4	8

C	4	3	0	5	2	1	1	2	2	2
M	1	1	2	1	0	1	1	2	1	0
TOTAL X RANGO	32	26	38	47	42	25	53	51	45	33
VOLUMEN HORARIO	143	153	152	167	171	174	182			

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 210 A 210 (DE AUTOPISTA A AMAZCALA).

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 11

PERÍODO	7:00 A 9:30									
RANGOS	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	2	3	2	15	1	3	4	4	3	3
AP	1	2	2	4	3	3	3	3	3	5
B	0	0	1	1	4	0	0	0	1	0
C	0	3	3	1	2	0	4	5	1	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	3	8	8	21	10	6	11	12	8	8
VOLUMEN HORARIO	40	47	45	48	39	37	39			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
RANGOS	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	3	2	0	2	3	5	3	1	3	3
AP	2	2	2	1	4	1	3	1	5	2
B	0	2	0	1	0	2	0	1	0	0
C	1	2	1	2	1	2	0	0	0	1
M	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
TOTAL X RANGO	6	8	3	7	8	10	6	3	9	7
VOLUMEN HORARIO	24	26	28	31	27	28	25			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	2	3	3	3	6	2	4	7	8	5
AP	3	2	7	3	2	3	1	3	1	0
B	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1
C	1	3	1	2	2	0	1	0	1	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	7	8	12	8	11	6	6	11	10	6
VOLUMEN HORARIO	35	39	37	31	34	33	33			

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 210 A 200 (DE AUTOPISTA A AEROPUERTO).

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 12

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	13	26	37	56	24	39	23	27	18	18
AP	1	3	13	15	7	16	6	7	11	13
B	4	1	3	5	3	1	6	3	2	0
C	4	4	6	7	4	8	6	2	6	7
M	1	0	0	0	1	2	1	1	0	1
TOTAL X RANGO	23	34	59	83	39	66	42	40	37	39
VOLUMEN HORARIO	199	215	247	230	187	185	158			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	21	19	24	29	25	29	28	27	26	15
AP	9	15	13	9	3	5	7	16	12	5
B	0	3	1	2	1	3	4	4	4	1
C	8	15	6	7	6	4	13	4	3	3

M	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
TOTAL X RANGO	39	53	44	47	35	41	52	51	46	24
VOLUMEN HORARIO	183	179	167	175	179	190	173			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
RANGOS	17:30 A 17:45	17:45 A 18:00	18:00 A 18:15	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15	19:15 A 19:30	19:30 A 19:45	19:45 A 20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	27	22	25	31	41	27	37	29	27	20
AP	11	13	15	15	16	21	29	11	4	12
B	2	3	7	1	0	2	7	1	3	1
C	7	5	6	5	5	8	5	3	2	4
M	1	0	3	1	1	1	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	48	43	56	53	63	59	78	44	36	37
VOLUMEN HORARIO	200	215	231	253	244	217	195			

CÁLCULO DE VOLUMEN MÁXIMO HORARIO EN LA INTERSECCIÓN POR PERÍODO DE AFORO

PERÍODO	7:00 A 9:30									
RANGOS	7:00 A 7:15	7:15 A 7:30	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30	8:30 A 8:45	8:45 A 9:00	9:00 A 9:15	9:15 A 9:30
VOLUMEN HORARIO	394	439	480	455	408	383	347			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
RANGOS	12:00 A 12:15	12:15 A 12:30	12:30 A 12:45	12:45 A 13:00	13:00 A 13:15	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
VOLUMEN HORARIO	345	349	324	355	360	374	354			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
RANGOS	17:30 A 17:45	17:45 A 18:00	18:00 A 18:15	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15	19:15 A 19:30	19:30 A 19:45	19:45 A 20:00

VOLUMEN HORARIO	378	407	420	451	449	424	410
------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Volumen Máximo Horario en la intersección.

PRIMER AFORO (de 7:00 a 9:30 hrs.)

PERÍODO	7:30 A 8:30			
RANGOS	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30
VOLUMEN HORARIO	115	146	96	123

VHMD 480 DE 7:30 A 8:30 HORAS

N 4 períodos dentro la hora

q máx 146 vehículos

FHMD	0.822
-------------	--------------

SEGUNDO AFORO (de 12:00 a 14:30 hrs.)

PERÍODO	13:30 A 14:30			
RANGOS	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15
VOLUMEN HORARIO	77	106	95	96

VHMD 374 DE 13:30 A 14:30 HORAS

N 4 períodos dentro la hora

q máx 106 vehículos

FHMD	0.882
-------------	--------------

TERCER AFORO (de 17:30 a 20:00 hrs.)

PERÍODO	18:15 a 19:15			
RANGOS	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15
VOLUMEN HORARIO	108	116	90	137

VHMD 451 DE 13:30 A 14:30 HORAS

N 4 períodos dentro la hora

q máx 137 vehículos

FHMD	0.823
-------------	--------------

Vialidad Secundaria Carril Izquierdo.

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 200 A 210 (DE LOS ARCOS A AUTOPISTA).

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 6

PERÍODO	7:00 A 9:30									
RANGOS	7:00 A 7:15	7:15 A 7:30	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30	8:30 A 8:45	8:45 A 9:00	9:00 A 9:15	9:15 A 9:30
	<u>VEHÍCULO</u>									
A	8	30	30	42	27	40	27	25	26	12
AP	0	4	5	7	9	8	3	7	11	2
B	2	4	1	3	2	2	1	1	2	0
C	0	2	5	8	4	9	12	4	9	7
M	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1
TOTAL X RANGO	10	41	41	61	42	60	44	38	48	22
VOLUMEN HORARIO	153	185	204	207	184	190	152			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
RANGOS	12:00 A 12:15	12:15 A 12:30	12:30 A 12:45	12:45 A 13:00	13:00 A 13:15	13:15 A 13:30	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
	<u>VEHÍCULO</u>									
A	9	15	12	16	24	13	27	27	27	24
AP	9	3	7	7	2	5	7	9	6	8

B	3	2	0	1	0	5	4	2	4	5
C	4	5	4	8	5	5	3	3	4	7
M	1	0	1	1	0	0	4	0	2	1
TOTAL X RANGO	26	25	24	33	31	28	45	41	43	45
VOLUMEN HORARIO	108	113	116	137	145	157	174			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
RANGOS	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	17	27	20	23	22	27	27	24	23	15
AP	1	8	7	7	8	6	9	5	7	2
B	1	6	2	1	3	3	2	2	2	2
C	2	4	1	2	0	1	2	2	0	0
M	0	1	2	1	3	1	4	0	1	4
TOTAL X RANGO	21	46	32	34	36	38	44	33	33	23
VOLUMEN HORARIO	133	148	140	152	151	148	133			

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 200 A 210 (DE AEROPUERTO A AUTOPISTA).

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 1

PERÍODO	7:00 A 9:30									
RANGOS	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	10	25	29	26	23	23	27	16	24	15
AP	8	13	19	25	18	12	11	17	9	7
B	1	2	3	4	2	1	3	0	3	0
C	2	2	5	5	4	5	7	6	3	3
M	1	1	0	0	3	0	2	0	0	1
TOTAL X RANGO	22	43	56	60	50	41	50	39	39	26
VOLUMEN HORARIO	181	209	207	201	180	169	154			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	17	16	18	17	34	21	20	20	28	22
AP	13	12	9	14	11	13	12	13	11	16
B	2	2	2	2	3	4	5	0	3	3
C	4	10	2	4	9	5	9	10	3	4
M	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0
TOTAL X RANGO	36	41	32	37	57	43	46	45	45	45
VOLUMEN HORARIO	146	167	169	183	191	179	181			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	21	24	20	38	25	38	28	28	25	20
AP	17	13	11	8	11	18	20	13	9	16
B	6	4	6	1	4	2	3	2	1	2
C	8	5	8	5	5	3	4	4	1	2
M	0	0	1	4	0	2	1	0	0	0
TOTAL X RANGO	52	46	46	56	45	63	56	47	36	40
VOLUMEN HORARIO	200	193	210	220	211	202	179			

MOVIMIENTO: DE CARRETERA 210 A 210 (DE AMAZCALA A AUTOPISTA)

IDENTIFICADOR DE MOVIMIENTO: 8

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	0	1	7	3	3	4	4	5	2	4
AP	0	0	2	3	3	3	1	2	1	0
B	0	0	2	0	2	1	1	0	1	0
C	0	1	0	1	3	3	3	1	3	3

M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL X RANGO	0	2	11	7	11	11	9	8	7	7
VOLUMEN HORARIO	20	31	40	38	39	35	31			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
RANGOS	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
<u>VEHÍCULO</u>										
A	2	2	4	4	4	8	6	6	5	5
AP	1	3	1	2	1	4	3	3	4	3
B	0	1	0	1	0	2	0	1	0	2
C	0	2	1	2	3	2	0	3	1	3
M	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
TOTAL X RANGO	3	8	6	9	8	17	9	14	10	13
VOLUMEN HORARIO	26	31	40	43	48	50	46			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
RANGOS	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
<u>VEHÍCULO</u>										
A	6	3	3	5	4	9	3	6	6	6
AP	2	9	4	0	3	6	2	1	9	2
B	1	1	1	0	0	2	2	0	0	1
C	2	1	0	2	5	0	0	0	1	0
M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
TOTAL X RANGO	12	14	8	7	12	17	7	7	16	11
VOLUMEN HORARIO	41	41	44	43	43	47	41			

CÁLCULO DE VOLUMEN MÁXIMO HORARIO EN LA INTERSECCIÓN POR PERÍODO DE AFORO

PERÍODO	7:00 A 9:30									
	7:00 A	7:15 A	7:30 A	7:45 A	8:00 A	8:15 A	8:30 A	8:45 A	9:00 A	9:15 A
RANGOS	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30
VOLUMEN HORARIO	354	425	451	446	403	394	337			

PERÍODO	12:00 A 14:30									
	12:00 A	12:15 A	12:30 A	12:45 A	13:00 A	13:15 A	13:30 A	13:45 A	14:00 A	14:15 A
RANGOS	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
VOLUMEN HORARIO	280	311	325	363	384	386	401			

PERÍODO	17:30 A 20:00									
	17:30 A	17:45 A	18:00 A	18:15 A	18:30 A	18:45 A	19:00 A	19:15 A	19:30 A	19:45 A
RANGOS	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
VOLUMEN HORARIO	374	382	394	415	405	397	353			

Volumen Máximo Horario en la intersección.

PRIMER AFORO (de 7:00 a 9:30 hrs.)

PERÍODO	7:30 A 8:30			
RANGOS	7:30 A 7:45	7:45 A 8:00	8:00 A 8:15	8:15 A 8:30
VOLUMEN HORARIO	108	128	103	112

VHMD 451 DE 7:30 A 8:30 HORAS

N 4 periodos dentro la hora

q máx 128 vehículos

FHMD	0.881
-------------	--------------

SEGUNDO AFORO (de 12:00 a 14:30 hrs.)

PERÍODO	13:30 A 14:30			
RANGOS	13:30 A 13:45	13:45 A 14:00	14:00 A 14:15	14:15 A 14:30
VOLUMEN HORARIO	100	100	98	103

VHMD **401** **DE 13:30 A 14:30 HORAS**

N **4** **períodos dentro la hora**

q máx **103** **vehículos**

FHMD	0.973
-------------	--------------

TERCER AFORO (de 17:30 a 20:00 hrs.)

PERÍODO	18:15 a 19:15			
RANGOS	18:15 A 18:30	18:30 A 18:45	18:45 A 19:00	19:00 A 19:15
VOLUMEN HORARIO	97	93	118	107

VHMD **415** **DE 13:30 A 14:30 HORAS**

N **4** **períodos dentro la hora**

q máx **118** **vehículos**

FHMD	0.879
-------------	--------------

APÉNDICE 4.

Cálculo de la Tasa de Flujo Equivalente. (Vehículos Ligeros).

$$V_p = \frac{V}{[(FHMD)(N)(f_{HV})(f_P)]}$$

V_p = Tasa de flujo equivalente (Vehículos ligeros/h/Carril).

V = Volumen horario por sentido (Vehículos mixtos/hora).

FHMD = Factor de la hora de máxima demanda.

N = Número de carriles por sentido.

f_{HV} = Factor de ajuste por presencia de vehículos pesados.

f_P = Factor de ajuste por tipo de conductores.

Entronque en "T".

Vialidad Principal Carril Derecho.

V_p =	616	1231
---------------------------	-----	-------------

V =	920
FHMD =	0.8
N =	2
f_{HV} =	0.93414292
f_P =	1

$f_{HV} = 0.93414292$

PT =	9.5
PB =	4.6
PR =	0
ET =	1.5
EB =	1.5
ER =	0

Vialidad Principal Carril Izquierdo.

V_p =	439	877
---------------------------	-----	------------

V =	643
FHMD =	0.8
N =	2

fHV =	0.91617041
fp =	1

fHV = 0.91617041

PT =	11.4
PB =	6.9
PR =	0
ET =	1.5
EB =	1.5
ER =	0

Vialidad Secundaria Carril Derecho.

Vp =	215	430
-------------	------------	------------

V =	316
FHMD =	0.8
N =	2
fHV =	0.91827365
fp =	1

fHV = 0.91827365

PT =	10.6
PB =	7.2
PR =	0
ET =	1.5
EB =	1.5
ER =	0

Vialidad Secundaria Carril Derecho.

Vp =	483	966
-------------	------------	------------

V =	727
FHMD =	0.8
N =	2
fHV =	0.94029149
fp =	1

fHV = 0.94029149

PT =	6.7
PB =	6
PR =	0
ET =	1.5
EB =	1.5
ER =	0

Entronque en “+”.
Vialidad Principal Carril Derecho.

Vp =	397	793
-------------	-----	------------

V =	547
FHMD =	0.764
N =	2
fHV =	0.90252708
fp =	1

fHV = 0.90252708

PT =	17
PB =	4.6
PR =	0
ET =	1.5
EB =	1.5
ER =	0

Vialidad Principal Carril Izquierdo.

Vp =	361	723
-------------	-----	------------

V =	588
FHMD =	0.891
N =	2
fHV =	0.91324201
fp =	1

fHV = 0.91324201

PT =	15.4
PB =	3.6
PR =	0
ET =	1.5
EB =	1.5
ER =	0

Vialidad Secundaria Carril Derecho.

Vp =	325	649
-------------	-----	------------

V =	480
FHMD =	0.822
N =	2
fHV =	0.89968511
fp =	1

fHV = 0.89968511

PT =	14.4
PB =	7.9
PR =	0
ET =	1.5
EB =	1.5
ER =	0

Vialidad Secundaria Carril Izquierdo.

Vp =	281	563
-------------	-----	------------

V =	451
FHMD =	0.881
N =	2
fHV =	0.90991811
fp =	1

fHV = 0.90991811

PT =	13.1
PB =	6.7

PR =	0
ET =	1.5
EB =	1.5
ER =	0

APÉNDICE 5.

Nivel de Servicio.

Estimación del PFFS (porcentaje de la velocidad a flujo libre).

Aplica sólo para los análisis de carreteras III. Se aplica la ecuación siguiente:

$$PFFS = \frac{ATS_d}{FFS}$$

La FFS puede ser estimada mediante la siguiente expresión:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

Donde:

FFS = Velocidad de flujo libre estimada (mi/h).

BFFS = Velocidad de flujo libre base (mi/h).

f_{LS} = Ajuste por ancho de carril y ancho de hombro (mi/h).

f_A = Ajuste por densidad de puntos de acceso (mi/h).

Estimación del ATS.

La velocidad promedio de viaje se obtiene de la velocidad a flujo libre, la tasa de flujo, el flujo opuesto a la dirección del viaje, el porcentaje de las zonas de no rebase.

De acuerdo a la ecuación siguiente:

$$ATS_d = FFS - 0.00776(v_{dATS} + v_{oATS}) - f_{npATS}$$

Donde:

ATS_d = Velocidad promedio de viaje en la dirección de análisis (mi/h).

FFS = Velocidad a flujo libre (mi/h).

V_{dATS} = Tasa de flujo para ATS determinado en la dirección de análisis (vl/h).

V_{dATS} = Tasa de flujo para ATS determinado en la dirección opuesta al análisis (vh/h).

F_{npATS} = Factor de ajuste para ATS de acuerdo a las zonas de no rebase en la dirección de análisis.

Ancho de Carril (ft)	Ancho del hombro (ft)			
	$\geq 0 < 2$	$\geq 2 < 4$	$\geq 4 < 6$	≥ 6
$\geq 9 < 10$	6.4	4.8	3.5	2.2
$\geq 10 < 11$	5.3	3.7	2.4	1.1
$\geq 11 < 12$	4.7	3.0	1.7	0.4
≥ 12	4.2	2.6	1.3	0.0

Factor de Ajuste por ancho de carril y hombro. (HCM, 2010).

Puntos de acceso por milla (Dos direcciones)	Reducción en FFS (mi/h)
0	0.0
10	2.5
20	5.0
30	7.5
40	10.0

Factor de Ajuste por densidad de puntos de acceso. (HCM, 2010).

Flujo de demanda opuesta vo(pc/h)	Porcentaje de zonas de no pasar				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS ≥ 65 mi/h					
≤ 100	1.1	2.2	2.8	3.0	3.1
200	2.2	3.3	3.0	4.0	4.2
400	1.6	2.3	2.7	2.8	2.9
600	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0
800	0.7	1.0	1.2	1.4	1.5
1,000	0.6	0.8	1.1	1.1	1.2
1,200	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1
1,400	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9
≥ 1,600	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
FFS ≥ 60 mi/h					
≤ 100	0.7	1.7	2.5	2.8	2.9
200	1.9	2.9	3.7	4.0	4.2
400	1.4	2.0	2.5	2.7	3.9
600	1.1	1.3	1.6	1.9	2.0
800	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4
1,000	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2
1,200	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1
1,400	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9
≥ 1,600	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
FFS ≥ 55 mi/h					
≤ 100	0.5	1.2	2.2	2.6	2.7
200	1.5	2.4	3.5	3.9	4.1
400	1.3	1.9	2.4	2.7	2.8
600	0.9	1.1	1.6	1.8	1.9
800	0.5	0.7	1.1	1.2	1.4
1,000	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1
1,200	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
1,400	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
≥ 1,600	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
FFS ≥ 50 mi/h					
≤ 100	0.2	0.7	1.9	2.4	2.5
200	1.2	2.0	3.3	3.9	4.0
400	1.1	1.6	2.2	2.6	2.7
600	0.6	0.9	1.4	1.7	1.9
800	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3
1,000	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1
1,200	0.4	0.4	0.7	0.8	1.0
1,400	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
≥ 1,600	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
FFS ≥ 45 mi/h					
≤ 100	0.1	0.4	1.7	2.2	2.4
200	0.9	1.6	3.1	3.8	4.0
400	0.9	0.5	2.0	2.5	2.7
600	0.4	0.3	1.3	1.7	1.8

800	0.3	0.3	0.8	1.1	1.2
1,000	0.3	0.3	0.6	0.8	1.1
1,200	0.3	0.3	0.6	0.7	1.0
1,400	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7
≥ 1,600	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6

Nota: La interpolación de f_{npATS} para el porcentaje de las zonas de no pasar, flujo de demanda y FFS para el más cercano a 0.1 es recomendado.

Factor de ajuste ATS para zonas de no pasar (f_{npATS}) (HMC, 2010).

LOS	Clase I <u>Carreteras</u>		Clase II	Clase II
	ATS (mi/h)	PTSF (%)	<u>Carreteras</u>	<u>Carreteras</u>
			PTSF (%)	PTSF (%)
A	> 55	≤ 35	≤ 40	> 91.7
B	> 50 – 55	> 35 – 50	> 40 – 55	> 83.3 – 91.7
C	> 45 – 50	> 50 – 65	> 55 – 70	> 75.0 – 83.3
D	> 40 – 45	> 65 – 80	> 70 – 85	> 66.7 – 75.0
E	≤ 40	> 80	> 85	≤ 66.7

LOS automóviles para carreteras de dos carriles (HMC, 2010).

Entronque en “T”.

Caso III. Para carreteras de dos carriles

PFFS =	0.59	0.59	0.73	0.73
	LOS E	LOS E	LOS C	LOS C
	Principal		Incorpora	
	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
ATSd =	24.03	24.03	30.75	30.65
FFS =	40.7		41.9	

	Principal	Incorpora
FFS =	40.7	41.9
BFFS =	48.5	49.7
fLS =	5.3	5.3
fA =	2.5	2.5

	Principal		Incorpora	
	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
ATSd =	24.03	24.03	30.75	30.65
FFS =	40.7		41.9	
Vd,ATS =	1232	878	431	967
Vo, ATS =	878	1232	967	431
Fnp, ATS =	0.3	0.3	0.3	0.4

Entronque en “+”.

Caso III. Para carreteras de dos carriles

PFFS =	0.71	0.71	0.70	0.70
	LOS D	LOS D	LOS D	LOS D
	Principal		Secundaria	
	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
ATSd =	29.41	29.41	22.79	22.89
FFS =	41.2		32.6	

	Principal	Secundaria
	Derecha	Derecha
FFS =	41.2	32.6
BFFS =	49	40.4
fLS =	5.3	5.3
fA =	2.5	2.5

ATSd =	29.41	29.41	22.79	22.89
--------	-------	-------	-------	-------

	Principal		Secundaria	
	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
FFS =	41.2		32.6	
Vd,ATS =	758	723	650	563
Vo, ATS =	723	758	563	650
Fnp, ATS =	0.3	0.3	0.4	0.3