



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA
DE LAS VÍAS TERRESTRES

**“Soluciones geométricas a desnivel para atender puntos de
conflicto en intersecciones de carreteras federales libres de
cuota”**

TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA
DE LAS VÍAS TERRESTRES

PRESENTA:

Ing. Jesús García Angón

ASESOR: Dr. Jaime Saavedra Rosales

MORELIA, MICH.

AGOSTO 2016.

Resumen

El presente trabajo, es consecuencia de la recopilación de información de varios proyectos de intersecciones a desnivel para dar solución a puntos de conflicto, dichos proyectos fueron revisados y aprobados en la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

En este trabajo se da a conocer la teoría existente en el tema de intersecciones a desnivel, los elementos de la ingeniería de tránsito que intervienen en los accidentes que se presentan en la infraestructura vial, se exponen los elementos necesario para justificar su construcción, se explica de manera breve los estudios de campo necesarios para dar una solución integral a la problemática de entrecruzamiento de vehículos que se generan en una intersección a nivel, se explican las consideraciones a tomar en cuenta en el proyecto que aumentan la seguridad vial, tales como la legislación, elementos geométricos y dispositivos de seguridad, se indican algunas de las normativas con las que se debe de cumplir para elaborar proyectos más seguros.

Asimismo, se explican cuatro casos reales en los que se implementaron soluciones a desnivel, con lo cual se pretende que los proyectistas que trabajan para las diferentes direcciones que componen la SCT o en proyectos donde se den soluciones a desnivel, les sirva como base y referencia cuando se enfrenten a casos similares.

Palabras clave:

SCT, Intersecciones, Accidentes, Geometría, legislación.

Abstract

This work is the result of gathering information from several projects overpasses to resolve points of conflict, such projects were reviewed and approved by the General Directorate of Technical Services (DGST) of the Secretariat of Communications and Transportation (SCT).

This paper discloses the existing theory on the subject of intersections, elements of traffic engineering involved in accidents that occur in road infrastructure, the need to justify its construction elements are exposed, explained briefly field studies necessary to provide a comprehensive solution to the problem of crossover vehicles that are generated at an intersection level, considerations to take into account in the project to increase road safety, such as legislation explains , geometric elements and safety devices, are some of the rules with which it must meet to develop safer projects.

In addition, four real cases in which solutions underpass, which is intended to designers working for different directions that make up the SCT or in projects where solutions overpasses are given, serve them as a basis and reference were implemented are explained when faced with similar cases

Introducción

El problema de la seguridad vial es un tema de gran relevancia, por razones humanitarias, económicas y de salud pública. En México, la seguridad vial es un aspecto importante de atender, es una responsabilidad gubernamental mantener una acción permanente para dar al problema ciertos márgenes de control.

Dentro del tema de seguridad vial, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y en particular la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), tiene a su cargo el Programa Nacional para la Atención a Puntos de Conflicto, dicho programa da atención a los accidentes de tránsito mediante la aplicación de medidas que inciden directamente en la infraestructura, las soluciones que se dan son: Instalación de señalamiento horizontal y vertical, modernización de entronques, repavimentación, rectificación de alineamiento, etc.

La presente investigación se enfoca en los proyectos de intersecciones a desnivel que la DGST ha planteado para solucionar y/o disminuir los accidentes en intersecciones a nivel. Se explica y analizan los estudios de ingeniería de tránsito necesarios para resolver de manera integral las problemáticas que se presentan en términos del mal diseño geométrico, inadecuado señalamiento, incorrecta operación, rebase de la capacidad vial, carencia de sistemas de contención de vehículos, etc.

Las intersecciones a desnivel son aquellas donde los conflictos de tránsito prácticamente desaparecen y quedan únicamente aquellos donde el impacto en un accidente de tránsito es mínimo. Sin embargo, para un país en desarrollo es muy difícil contar con un sistema vial conformado en su totalidad por este tipo de intersecciones.

Se realizó la revisión bibliográfica de intersecciones a desnivel, la cual permite tener un panorama sobre el estado del arte actual de las intersecciones a desnivel, la importancia de las intersecciones en un sistema vial y cómo éstas, si se descuidan, pueden contribuir a incrementar el índice de accidentes de tránsito.

Se analizan soluciones geométricas implementadas en proyectos reales para solucionar los movimientos direccionales que generan conflictos en una intersección; asimismo. Se analizan los anteproyectos que llevaron a la solución definitiva con sus pros y contras de cada uno, como son elementos técnicos, comparación de costos, problemas con el derecho de vía, etc.

Se finaliza con conclusiones y recomendaciones para la solución de puntos de conflicto, con lo cual se busca sugerir a los tomadores de decisiones ejemplo de solución cuando se enfrenten a situaciones similares a las expuestas en la presente investigación.

Objetivo General

Establecer una metodología, que contenga los lineamientos y especificaciones necesarios en la elaboración de soluciones geométricas a desnivel, para atender puntos de conflicto en entronques de carreteras federales libres de cuota.

Objetivos Particulares

- Generar un diagnóstico de la operación y funcionamiento de intersecciones que presentaron alto índice de accidentalidad.
- Establecer los requisitos generales que han de considerarse para el diseño de entronques a desnivel.
- Analizar soluciones geométricas a desnivel que se han dado en intersecciones de alto índice de accidentes.
- Dar recomendaciones en los proyectos de intersecciones a desnivel, como la implementación de sistemas de amortiguación de impacto, carriles de cambio de velocidad, señalamiento, entre otros que reduzcan la incidencia de accidentes en estos.

Justificación

El principal punto por el cual se justifica la investigación, es en cuanto a seguridad; según datos de la Secretaría de Salud, México ocupa el séptimo lugar en accidentes viales a nivel mundial, al año se registra un promedio de 24 mil muertes, a su vez la Policía Federal, indica que, de las causas de los accidentes en las carreteras federales, el 80% se deben al conductor, 7% al vehículo, 9% a los agentes naturales y el 4% al camino. En la publicación técnica No. 437 del Instituto Mexicano del Transporte “Propuesta metodológica para justificar la construcción de intersecciones a desnivel”, se menciona que la mayor incidencia de accidentes de tránsito, que ocurren en la red carretera federal de carreteras se presenta en intersecciones a nivel, algunos datos muestran que las colisiones en intersecciones comprenden aproximadamente el 40% de todos los accidentes de vehículos a motor. Los accidentes registrados en intersecciones y en su zona de influencia es significativamente superior a los presentados en el resto de la red carretera, debido a que la selección de la maniobra a realizar para elegir el itinerario a seguir y la ejecución de la misma se ejecuta en unos intervalos reducidos de espacio y de tiempo, aunado a la presencia de otros vehículos que realizan maniobras de trayectorias para otros itinerarios. Dado este alto porcentaje de accidentes, el presente trabajo aterriza en específico en proyectos mediante la implementación de intersecciones a desnivel ya que prácticamente en éstos los conflictos desaparecen y quedan únicamente aquellos donde el impacto en un accidente de tránsito es mínimo.

El presente se justifica desde el punto de vista de movilidad; las intersecciones a nivel son puntos críticos en cuanto a movilidad, la circulación por estos puntos se recorre a menor velocidad que en el resto de la carretera, en algunos casos, incluso se llega al alto total, lo que produce demoras, disminución en la capacidad y el nivel de servicio de los tramos

carreteros y por ende aumentos en los costos de operación vehicular (COV), al implementar intersecciones a desnivel, los conflictos de tránsito prácticamente desaparecen, se disminuyen los tiempos de traslado y los COV.

Se justifica en cuanto a costos; las intersecciones son puntos críticos en cuanto a costos, ya que ocupan una mayor superficie de la que buena parte no es aprovechada por los vehículos, tienen una mayor superficie pavimentada, necesitan unos costosos dispositivos para la ordenación y la regulación de la circulación (señalamiento, semáforos e iluminación), en estas se necesitan obras de paso para materializar el cruce (o cruces) a desnivel, la metodología presentada en la presente investigación da elementos para justificar la construcción de cruces a desnivel.

Índice general

| | |
|--|------|
| Resumen | i |
| Abstract..... | ii |
| Introducción | iii |
| Objetivo General..... | v |
| Objetivos Particulares..... | v |
| Justificación | vi |
| Índice general | viii |
| Índice de tablas y figuras | x |
| CAPITULO 1. Marco teórico | 1 |
| 1.1 Conflictos que se presentan en las intersecciones a nivel..... | 2 |
| 1.2 Justificación de la construcción de intersecciones a desnivel | 3 |
| 1.2.1 Tránsito y operación | 4 |
| 1.2.2. Condiciones del lugar | 5 |
| 1.2.3 Características de Operación | 5 |
| 1.2.4 Eliminación de Puntos de Conflicto | 6 |
| 1.2.5 Costos de operación..... | 6 |
| 1.3 Ventajas y desventajas de las intersecciones a desnivel | 7 |
| 1.3.1 Ventajas | 7 |
| 1.3.2. Desventajas..... | 8 |
| 1.4 Tipos de entronques a desnivel | 9 |
| 1.4.1 Intersecciones de tres ramas | 10 |
| 1.4.2 Intersecciones de cuatro ramas | 15 |
| 1.5 Selección de tipo de Intersección | 18 |
| 1.5.1 Planta, perfil y sección de los accesos..... | 20 |
| 1.5.2 Traslape de rutas..... | 22 |
| CAPÍTULO 2. Estudios básicos para el proyecto de puntos de conflicto | 23 |
| 2.1 Recopilación de información estadística de los accidentes | 23 |
| 2.2 Reunir datos con observaciones de campo..... | 24 |

| | |
|---|----|
| 2.3 Estudios de ingeniería de Tránsito | 25 |
| 2.4 Estudios Topográficos | 27 |
| 2.5 Otros estudios | 30 |
| CAPÍTULO 3. Consideraciones en el proyecto de intersecciones a desnivel que aumentan la seguridad vial. | 31 |
| 3.1 La clasificación vehicular y la seguridad vial | 32 |
| 3.2 Carriles de cambio de velocidad..... | 37 |
| 3.3 Señalamiento..... | 38 |
| 3.4 Sistemas de contención en intersecciones..... | 40 |
| CAPÍTULO 4. Auditoria de seguridad vial | 43 |
| 4.1 ASV en la intersección “EL NABO” | 44 |
| CAPÍTULO 5. Proyectos de entronques a desnivel implementados para solucionar puntos de conflicto..... | 53 |
| 5.1 Punto de conflicto intersección “Zacatelco” | 53 |
| 5.1.1 Alternativa de solución No. 1 | 56 |
| 5.1.2 Alternativa de solución No. 2..... | 57 |
| 5.2 Punto de conflicto intersección “Rayón” | 62 |
| 5.2.1 Alternativa de solución No. 1 | 65 |
| 5.2.2 Alternativa de solución No. 2 | 66 |
| 5.3 Punto de conflicto intersección boulevard Pijjijapan | 69 |
| 5.3.1 Alternativa de solución | 72 |
| 5.4 Punto de conflicto intersección Hidalgo del Parral, Chihuahua | 75 |
| 5.4.1 Alternativas de solución..... | 78 |
| CAPÍTULO 6. Conclusiones y Recomendaciones | 81 |
| Bibliografía..... | 83 |

Índice de tablas y figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Conflictos que se presentan en una intersección de 4 ramas..... | 3 |
| Figura 2. Intersecciones de tres ramas con una estructura | 12 |
| Figura 3. Intersecciones de tres ramas con estructuras múltiples | 13 |
| Figura 4. Intersección de tres ramas (tipo “t” o trompeta) | 14 |
| Figura 5. Proyecto semidireccional de una intersección de tres ramas | 14 |
| Figura 6. Intersección de cuatro ramas con rampas en un cuadrante | 15 |
| Figura 7. Arreglos convencionales de intersecciones de tipo diamante..... | 17 |
| Figura 8. Arreglos de intersecciones tipo diamante para reducir conflictos de tránsito | 17 |
| Figura 9. Tipos de tréboles | 18 |
| Figura 10. Vías laterales en el traslape de un camino principal y uno secundario | 22 |
| Figura 11. Vehículo de proyecto con los máximos pesos y dimensiones permitidos en México | 36 |
| Figura 12. Sistema de señalamiento a aplicar en un entronque | 39 |
| Figura 13. Amortiguadores de impacto en bifurcaciones de entronques | 40 |
| Figura 14. Ancho entre una barrera de contención y una pila de un puente. | 41 |
| Figura 15. Ubicación del entronque | 44 |
| Figura 16. Ubicación del entronque | 45 |
| Figura 17. Geometría de la intersección | 46 |
| Figura 18. Entrecruzamientos en zona de mayor conflicto | 47 |
| Figura 19. Apoyo de la estructura | 48 |
| Figura 20. 1ª Propuesta de solución a entrecruzamientos..... | 49 |
| Figura 21. Ubicación del PSV para realizar el movimiento El Nabo – Celaya | 50 |
| Figura 22. 2a Solución a los entrecruzamientos. | 51 |
| Figura 23. Localización del punto de conflicto | 53 |
| Figura 24. Movimientos direccionales con volúmenes de tránsito horarios .. | 54 |

| | |
|--|----|
| Figura 25. Problemática existente en la intersección..... | 55 |
| Figura 26. Alternativa de solución No. 1 | 57 |
| Figura 27. Alternativa de solución No. 2 | 58 |
| Figura 28. Diagrama de movimientos direccionales Alternativa No. 2 | 59 |
| Figura 29. Sección de construcción de la vialidad Puebla – Santa Ana Chiautempan..... | 59 |
| Figura 30. Señalamiento de la rama norte de la intersección | 60 |
| Figura 31. Señalamiento horizontal | 61 |
| Figura 32. Señalamiento horizontal bajo la estructura..... | 61 |
| Figura 33. Ubicación de la intersección en conflicto | 62 |
| Figura 34. Movimientos direccionales en el entronque Rayón..... | 63 |
| Figura 35. Alternativa de solución No. 1 | 65 |
| Figura 36. Alternativa de solución No. 2 | 66 |
| Figura 37. Solución definitiva en la rama Norte a Ciudad Hidalgo..... | 68 |
| Figura 38. Solución definitiva en rama Oeste | 69 |
| Figura 39. Localización del punto de conflicto | 70 |
| Figura 40. Movimientos direccionales que se presentan en la intersección . | 71 |
| Figura 41. Movimientos direccionales en la zona en conflicto | 71 |
| Figura 42. Movimientos direccionales al emplear un PSV como solución | 72 |
| Figura 43. Solución definitiva | 73 |
| Figura 44. Señalamiento definitivo..... | 74 |
| Figura 45. Localización del Punto de Conflicto | 75 |
| Figura 46. Sección geométrica de la vialidad principal | 75 |
| Figura 47. Planta general de la intersección..... | 77 |
| Figura 48. Movimientos direccionales de la intersección | 78 |
| Figura 49. Alternativa de solución mediante dos PIV..... | 79 |
| Figura 50. Señalamiento definitivo de la intersección | 80 |

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Conflictos en un Entronque..... | 2 |
| Tabla 2. Criterios de niveles de servicio para entronques | 27 |
| Tabla 3. Reducción de accidentes para diferentes tipos de proyectos | 32 |
| Tabla 4. Vehículos autorizados por tipo de camino | 34 |
| Tabla 5. Longitudes para carriles de aceleración..... | 37 |
| Tabla 6. Longitudes para carriles de desaceleración..... | 38 |

CAPITULO 1. Marco teórico

Se denomina Punto de conflicto, al punto donde han ocurrido cuatro o más accidentes en cada uno de los dos últimos años analizados y podrá ser curva, intersección, puente, cruce con vías férreas, etc., cuya longitud par el análisis será del orden de un kilómetro.

Uno de los sitios en los que se presentan más puntos de conflictos dentro de la infraestructura vial son las intersecciones, que conforme al manual de proyecto geométrico de carreteras de la SCT, se le denomina intersección al área donde dos o más vías terrestres se unen o cruzan; asimismo, considera dos tipos generales de intersecciones, los entronques que es la zona donde dos o más caminos se cruzan o unen, permitiendo la mezcla de las corrientes del tránsito y paso, a la zona donde dos vías terrestres se cruzan sin que puedan unirse las corrientes del tránsito. El cruce de caminos se puede dar a nivel o a desnivel.

Las intersecciones a nivel son las más simples: son aquellas en donde los volúmenes del tránsito no ameritan ningún trabajo especial más que el de nivelar las vialidades, redondear las esquinas y facilitar la visibilidad, para permitir que los vehículos pasen de un lado a otro. Cuando los volúmenes de tránsito y la importancia de los caminos lo ameritan, se hace uso de intersecciones canalizadas, permitiendo encauzar 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 los índices de accidentes de tránsito en éstas muestran que los volúmenes son demasiado altos para que coexistan al mismo nivel, por lo que se sugiere entonces que el intercambio en la misma intersección se realice en un nivel diferente.

1.1 Conflictos que se presentan en las intersecciones a nivel

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

Cuando un conductor se cambia de la ruta sobre la que ha venido manejando, encontrará necesario salir de la corriente de tránsito para entrar a una de diferente trayectoria, o tendrá que cruzar otras trayectorias.

En cualquier caso, que exista divergencia, convergencia, o cruce, existe un conflicto entre los usuarios que intervienen en las maniobras. Esto puede incluir a los usuarios cuyas trayectorias se unen, cruzan o separan, o puede abarcar a los vehículos que se aproximan al área de conflicto.

El área de conflicto abarca la zona de influencia en la cual los usuarios que se aproximan pueden causar trastornos a los demás conductores, debido a las maniobras realizadas en la intersección.

El número de conflictos que pueden desarrollarse en una intersección por tipo de maniobra, son los que se indican en la tabla 1. En ella se aprecia que en una intersección con cuatro ramas de doble circulación existen 32 conflictos, 16 de los cuales son los del tipo más peligroso o sea de cruce. Cuando se tiene una T o una Y ocurren únicamente 9 conflictos de los cuales sólo 3 incluyen maniobras de cruce.

Tabla 1. Conflictos en un Entronque

| NÚMERO DE RAMAS | NUMERO DE CONFLICTOS EN LOS MOVIMIENTOS DEL ENTRONQUE |
|-----------------|---|
|-----------------|---|

| DE DOBLE CIRCULACIÓN | POR TIPOS DE MANIOBRAS | | | |
|-------------------------|------------------------|--------------|-------------|-------|
| | CRUCE | CONVERGENCIA | DIVERGENCIA | TOTAL |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 9 |
| 4 | 16 | 8 | 8 | 32 |
| 5 | 49 | 15 | 15 | 79 |
| 6 | 124 | 24 | 24 | 172 |

Fuente: (SAHOP, 1977)

En la siguiente figura se ilustra una intersección de cuatro ramas, en la cual se presentan 32 conflictos.

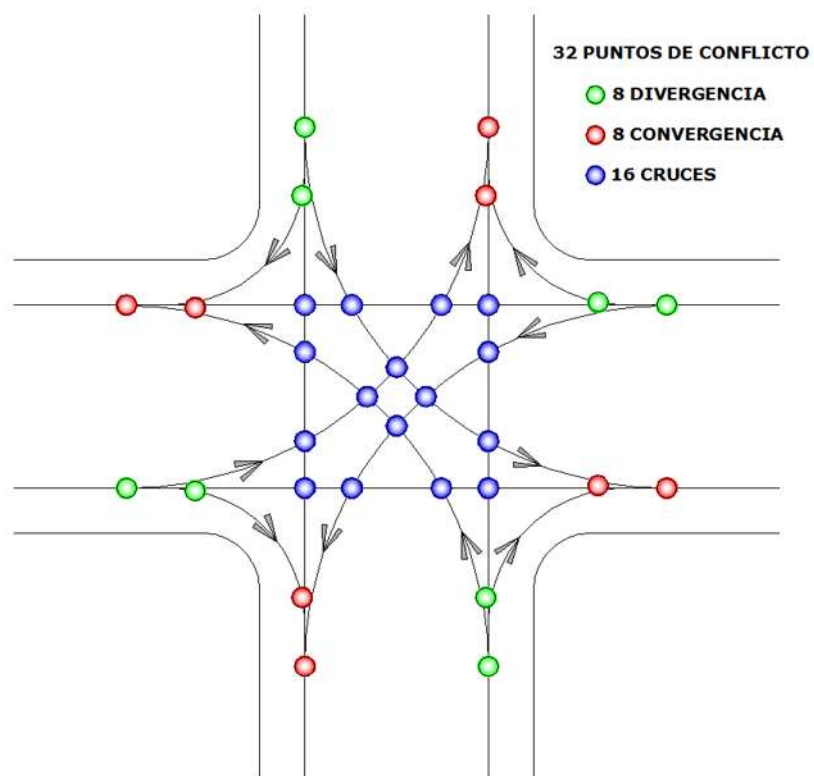


Figura 1. Conflictos que se presentan en una intersección de 4 ramas (SAHOP, 1977)

1.2 Justificación de la construcción de intersecciones a desnivel

Es obvio que una intersección a desnivel es una solución útil y adaptable en muchos problemas de intersecciones. Pero debido a su alto costo inicial su empleo se limita a aquellos casos en que pueda justificarse ese costo. Una enumeración de los requisitos que justifican una solución a desnivel es difícil y en algunos casos no pueden establecerse conclusiones. Sus objetivos principales son la disminución de los costos de operación del transporte y la reducción de los accidentes de tránsito, lo cual es motivo del presente trabajo; sin embargo, existen otros factores que hay que considerar, para justificar la construcción de una intersección a desnivel, mismos que se enlistan a continuación.

1.2.1 Tránsito y operación

El factor más importante que puede justificar una intersección a desnivel es el volumen de tránsito, aunque no puede determinarse con precisión el volumen de tránsito que justifique una intersección a desnivel, es una guía importante para tomar una decisión, especialmente cuando se conocen los movimientos direccionales. Si los volúmenes exceden la capacidad de un entronque a nivel, habría una justificación para una intersección a desnivel. El tipo de intersección a desnivel dependerá principalmente de la magnitud de los movimientos de vuelta y del tránsito en el camino secundario.

Desde el punto de vista de la operación y siempre que las condiciones lo permitan, es recomendable proyectar las intersecciones en una zona, de manera que proporcionen al conductor el mismo tipo de maniobra. A medida que se hacen más frecuentes y similares, el usuario se acostumbra a ellos y mejora grandemente la calidad de la operación. En aquellos lugares en que las intersecciones a desnivel no son frecuentes, se deberá asegurar una operación eficiente mediante un buen señalamiento y la vigilancia adecuada.

La presencia de un número considerable de autobuses y vehículos pesados, hace deseable una intersección a desnivel, ya que la eliminación de paradas y reducciones de velocidad para este tipo de vehículos, ayuda a conservar la capacidad de los caminos que se intersectan.

1.2.2. Condiciones del lugar

En algunos sitios, la intersección a desnivel, puede ser lo más económico. La topografía puede ser tal que se haga incosteable cualquier otro tipo de intersección que cumpla con las especificaciones. Cuando se tiene un terreno en lomerío, las intersecciones a desnivel generalmente se adaptan al terreno natural; los caminos directos pueden proyectarse con mejores características a niveles separados y al mismo tiempo se simplifica el proyecto de las rampas. El proyecto de las intersecciones a desnivel en terreno plano es sencillo, pero requiere pendientes desfavorables a la operación de los vehículos, a la vez que puede desmerecer la apariencia presentándose la necesidad de renivelar toda la zona de la intersección para obtener un paisaje adecuado.

Cuando la solución a nivel sea una glorieta muy complicada y de grandes dimensiones, puede reducirse el costo de adquisición del derecho de vía proyectando una intersección a desnivel, aunque debe mantenerse los accesos a las propiedades vecinas haciendo los ajustes necesarios a los perfiles de los enlaces.

1.2.3 Características de Operación

La decisión de establecer un control total de los accesos en una carretera, obliga necesariamente, a contar con pasos e intersecciones a desnivel.

Tomada la decisión, se llevarán a cabo estudios de los volúmenes de tránsito y movimientos direccionales con su clasificación vehicular, para determinar cuáles intersecciones serán a desnivel y cuáles pasos a desnivel, de acuerdo con la importancia de dichos volúmenes de tránsito; así como, cuáles intersecciones a nivel han de ser suprimidas.

1.2.4 Eliminación de Puntos de Conflicto

Independientemente de los volúmenes de tránsito, una alta incidencia de accidentes en una intersección a nivel, cuya reducción no es posible lograr con los métodos convencionales de señalamiento, semaforización o mejoras geométricas de la intersección, puede justificar un proyecto de una intersección a desnivel. La separación de niveles para los tránsitos directos disminuye la posibilidad de accidentes entre ellos, prevaleciendo una pequeña posibilidad de accidentes fuera de la calzada si el ancho de la estructura es reducido. Una intersección a desnivel reduce los conflictos entre el tránsito directo y el que da vuelta, sustituyéndolos por los menos peligrosos de incorporación y separación en las zonas de entrecruzamiento.

1.2.5 Costos de operación

Los costos por concepto de combustibles, lubricantes, llantas, reparaciones, tiempo, accidentes y demás, en intersecciones que requieren cambios de velocidad, paradas y esperas, exceden por mucho a los correspondientes a entronques que permiten una operación ininterrumpida, asimismo, adquieren enorme relevancia por los altos volúmenes de tránsito y porcentajes importantes de camiones. Aunque las intersecciones a desnivel implican distancias de recorrido un poco mayores que en las intersecciones a nivel, el

costo adicional que resulta, es mucho menor que el costo provocado por la saturación vehicular.

La relación entre el beneficio del usuario y el costo adicional de la intersección a desnivel, es un índice para juzgar si se requiere este tipo de intersección. Por convención, la relación se expresa como un cociente, el beneficio anual dividido entre el costo anual del capital adicional. El beneficio anual es la diferencia entre el costo anual del usuario de la intersección a desnivel y el costo anual del usuario de la intersección a nivel.

El costo anual del capital es la suma de la amortización y los intereses anuales del capital adicional. Se necesita una relación mayor a uno como justificación.

En cualquier caso, la decisión será respaldada por un análisis económico, que considere conjuntamente los costos de construcción, conservación, operación, accidentalidad, entre otros.

1.3 Ventajas y desventajas de las intersecciones a desnivel

1.3.1 Ventajas

1. La capacidad de la rama para el tránsito directo puede hacerse igual o casi igual a la capacidad del camino.
2. Se proporciona mayor seguridad al tránsito directo y al que da vuelta a la izquierda. El tránsito que da vuelta a la derecha hace la misma maniobra que en las intersecciones a nivel, pero generalmente con

mucha mayor facilidad, lo que también se traduce en una mayor seguridad.

3. Las paradas y los cambios apreciables de velocidad se eliminan para el tránsito directo. En una intersección proyectada adecuadamente los usuarios que dan vuelta, generalmente reducen un poco la velocidad. La continuidad del tránsito se traduce en grandes ahorros en tiempo y en los costos de operación de los vehículos, además de aumentar notablemente la comodidad de los conductores.
4. El proyecto de la separación de niveles es flexible y puede adaptarse a casi todos los ángulos y posiciones de los caminos que se intersectan.
5. Generalmente las intersecciones a desnivel se adaptan a la construcción por etapas. Puede construirse una estructura con una o más rampas de manera de formar una unidad completa y añadir más enlaces en etapas posteriores. En intersecciones direccionales pueden omitirse inicialmente una o más estructuras y añadirlas conforme se requiera.
6. La separación de niveles es una parte esencial de las vías rápidas y autopistas.

1.3.2. Desventajas

Las principales desventajas de las intersecciones a desnivel están relacionadas con consideraciones económicas y con el aspecto práctico de obtener proyectos óptimos en áreas con derecho de vía restringido y en terreno difícil. Las principales desventajas son las siguientes:

1. Las intersecciones a desnivel son costosas. La ingeniería del proyecto, el derecho de vía, la construcción y el mantenimiento de esta cuesta más que las correspondientes intersecciones a nivel.
2. Las intersecciones a desnivel no son absolutamente seguros en cuanto a la operación del tránsito. El trazo puede confundir a algunos conductores, especialmente cuando el entronque no tiene completo el conjunto de rampas y cuando los usuarios no están familiarizados con él. Sin embargo, conforme aumenta la experiencia del conductor con las intersecciones, aumenta la eficiencia.
3. Cuando el proyecto implique un deprimido (paso a desnivel resuelto de manera subterránea para librar una vialidad), es conveniente dar desde el principio el ancho definitivo de la estructura, ya que su construcción no se presta a construirse por etapas. Cuando se trata de un paso superior o inferior, la construcción por etapas puede ser una solución económica.
4. Una separación de niveles puede involucrar crestas y columpios inconvenientes en el perfil de uno o de los dos caminos que se intersectan, especialmente si la topografía es plana. Los accesos tan largos que se requieren en terreno plano, pueden resultar costosos, generalmente no son atractivos e introducen un elemento de peligro debido a la reducción en la distancia de visibilidad.

1.4 Tipos de entronques a desnivel

Existen varias formas básicas de intersecciones a desnivel y patrones geométricos de las rampas para los movimientos de vuelta. Su aplicación a un sitio en particular está determinada por el número de las ramas de la

intersección, los volúmenes de tránsito que cruzan y que dan vuelta, la topografía, los controles del proyecto, el señalamiento y de manera muy importante, por la iniciativa y creatividad del proyectista.

Aunque las intersecciones tienen que diseñarse necesariamente para ajustarse a condiciones específicas, es deseable que su configuración general conserve cierto grado de uniformidad. Desde el punto de vista de las expectativas del conductor, es recomendable que todas las intersecciones tengan las salidas localizadas antes de los cruces transversales, siempre y cuando esto sea práctico.

Por conveniencia, las intersecciones se han clasificado en términos generales en intersecciones de tres o de cuatro ramas, y en proyectos especiales que requieren dos o más estructuras.

1.4.1 Intersecciones de tres ramas

Una intersección de tres ramas consta de uno o más pasos a desnivel y de caminos de un solo sentido para alojar a todos los movimientos direccionales. Cuando dos o tres ramas de la intersección forman parte del camino principal y el arreglo de la intersección no forma un ángulo cerrado, se aplica el término intersección en T. Cuando las tres ramas de la intersección tienen el carácter de caminos principales o el ángulo con la tercera rama es pequeño, la intersección puede considerarse del tipo Y. No es necesaria o importante una clara distinción entre los tipos T y Y.

Independientemente de factores tales como el ángulo de la intersección o el carácter de los caminos principales, es posible aplicar cualquiera de las configuraciones básicas a una gama muy amplia de condiciones.

La figura 2, ilustra las formas de intersecciones de tres ramas con un paso a desnivel. Las figuras 2-A y 2-B, muestran las configuraciones del tipo "trompeta", frecuentemente utilizadas. El tipo de configuración mostrado en la figura 2- C, es menos común. En los tres casos, los movimientos entre a y c, se hacen siguiendo un alineamiento recto. El criterio para elegir cualquiera de los proyectos, es la importancia relativa del tránsito que da vuelta a la izquierda. El alineamiento más directo favorecerá a los volúmenes de tránsito más grandes y las gazas a los movimientos menos importantes. Los cruces esviados son más convenientes que los cruces en ángulo recto debido a que los primeros implican distancias recorridas más cortas y radios de giro más amplios para los volúmenes de tránsito más importantes.

En la figura 3-A, todos los movimientos son direccionales, se requieren tres estructuras y se evita el entrecruzamiento. El alineamiento puede ajustarse para reducir los requerimientos de derecho de vía formando una intersección con una sola estructura de tres niveles, como se ilustra en la figura 3-B.

La figura 3-C, muestra una intersección de tres ramas con una configuración de doble gaza. Este patrón se aplica cuando es necesario alojar a una carretera principal, desviándola lo menos posible y donde el camino que se tiene que cruzar es muy importante. En la figura 3-D, el arreglo puede hacerse de manera que las dos rampas para dar vuelta a la izquierda y el camino principal, se encuentren en un punto común, donde una estructura de tres niveles reemplaza a las tres estructuras del caso anterior.

La figura 3-E, es una variación más de la configuración 3-C y 3-D, con estructuras de dos niveles para separar las rampas de los movimientos que van de paso. El diseño puede ser alterado, como se muestra en la figura 3-F; este arreglo proporciona un alineamiento suave de las rampas, pero el éxito

de su operación depende de que se introduzcan zonas de entrecruzamiento de longitud adecuada.

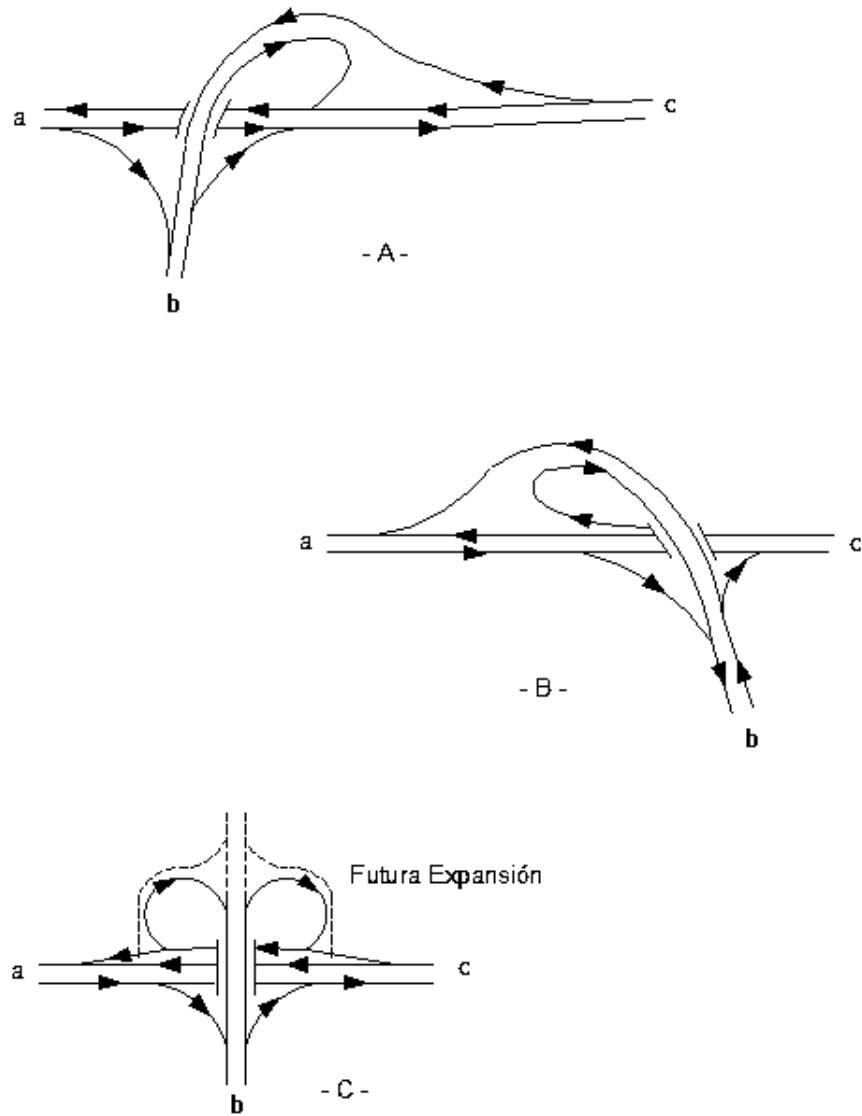


Figura 2. Intersecciones de tres ramas con una estructura (SCT, 2015)

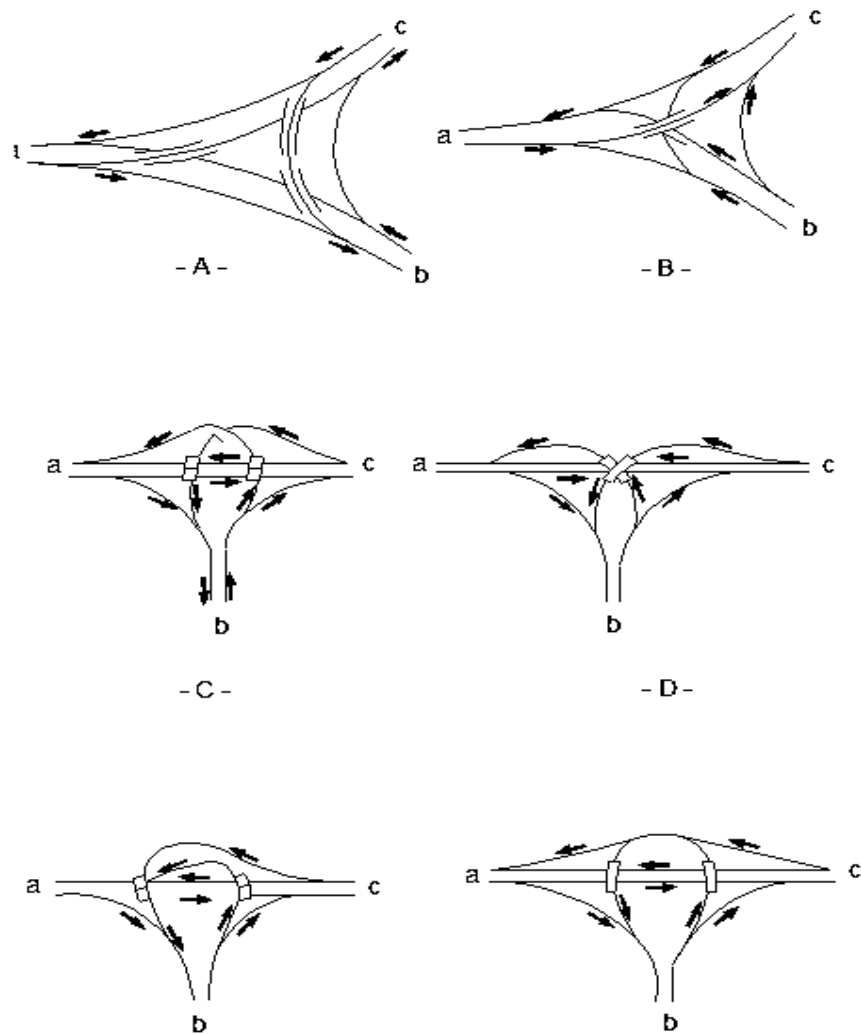


Figura 3. Intersecciones de tres ramas con estructuras múltiples (SCT, 2015)

La figura 4, muestra una intersección tipo trompeta en la confluencia de una carretera principal con un camino local principal, en una zona rural. La única característica es que el camino local pasa por arriba de la carretera y por debajo de la misma, en el otro sentido, debido a la pendiente. Esta configuración explica también el radio relativamente corto de la gaza. En el proyecto, la conexión semidirecta favorece al movimiento de tránsito más grande en tanto que la gaza permite alojar al tránsito menor.

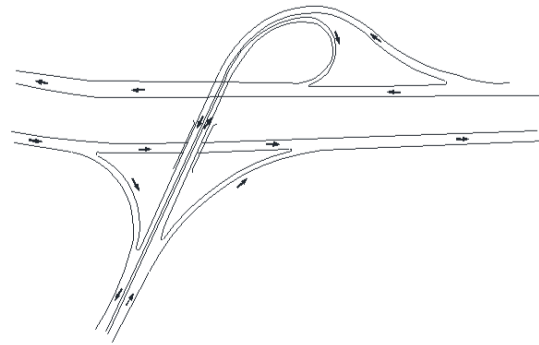


Figura 4. Intersección de tres ramas (tipo “t” o trompeta) (SCT, 2015)

La figura 5, muestra una intersección a desnivel, en la confluencia de dos caminos principales, localizadas en una zona rural. El diseño direccional, con grandes radios, permite altas velocidades de operación a todos los movimientos del tránsito. Es deseable, en este caso, que las calles de servicio sean de un solo sentido, con conexiones tan largas como sea posible, desde los caminos principales.

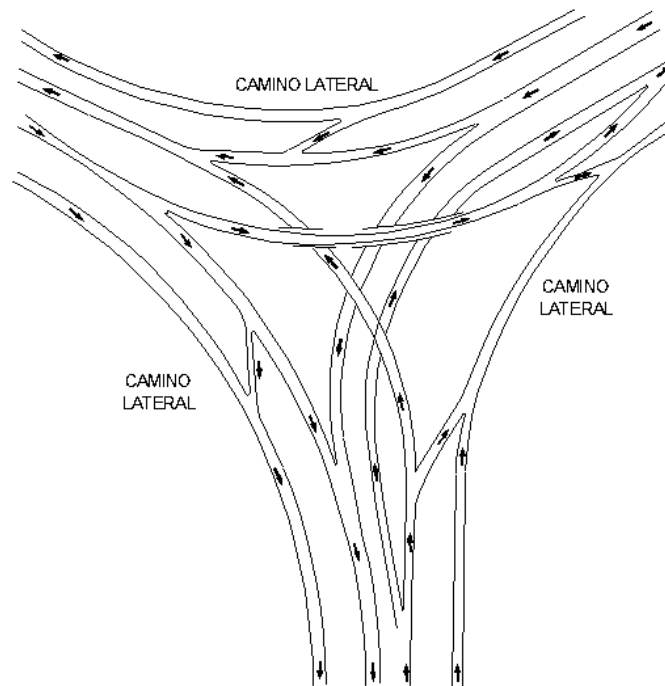


Figura 5. Proyecto semidireccional de una intersección de tres ramas (SCT, 2015)

1.4.2 Intersecciones de cuatro ramas

Las intersecciones de cuatro ramas se pueden agrupar en cuatro tipos generales: a) con rampas en un cuadrante, b) tipo diamante, c) tréboles parciales, y d) tréboles completos.

1.4.2.1. Rampas en un Cuadrante

Las intersecciones con rampas en un solo cuadrante se aplican a intersecciones de caminos con bajos volúmenes de tránsito. Cuando se requiere un paso a desnivel debido a la topografía, aunque los volúmenes de tránsito no justifiquen la estructura, usualmente es suficiente el proyecto de una sola rampa con dos sentidos de circulación para manejar todo el tránsito que da vuelta. Los extremos de las rampas pueden ser intersecciones en T. La figura 6, muestra una intersección con una rampa en un cuadrante, proyectada para funcionar como una etapa previa de construcción. La construcción puede adaptarse rápidamente para convertirse en el futuro, en un trébol parcial o completo sin mayores implicaciones. La canalización que se observa en esa figura, aunque elaborada, proporciona condiciones adecuadas de seguridad y la posibilidad de un paisaje atractivo.

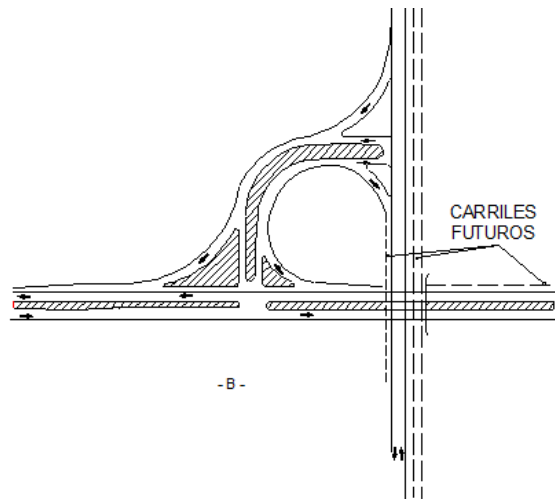


Figura 6. Intersección de cuatro ramas con rampas en un cuadrante (SCT, 2015)

1.4.2.2 Intersecciones tipo diamante

Una intersección tipo diamante tiene comparativamente, varias ventajas sobre un trébol parcial. Todo el tránsito puede entrar y salir del camino principal a velocidades relativamente altas, las vueltas a la izquierda significan distancias recorridas ligeramente más grandes y el derecho de vía requerido no es mayor, en muchas ocasiones, que el del camino principal.

Las intersecciones tipo diamante tienen aplicación tanto en áreas urbanas como en áreas rurales. Estos son particularmente adaptables a lugares donde se cruza un tránsito importante con uno menor y donde las vueltas a la izquierda pueden manejarse sin dificultad y sin peligro.

La capacidad de las rampas y del camino transversal queda determinada por la capacidad de las intersecciones de ambas, en el extremo de la rampa.

El proyecto considerará que la posible acumulación de vehículos sobre las rampas, puede extenderse y llegar hasta la carretera principal. Los giros a la izquierda en la mayoría de las configuraciones requieren usualmente de un control de semáforos de fases múltiples. Las intersecciones tipo diamante pueden asumir una gran variedad de arreglos, como se ilustra en las figuras 7 y 8, las condiciones particulares determinan en cada caso la combinación más conveniente.

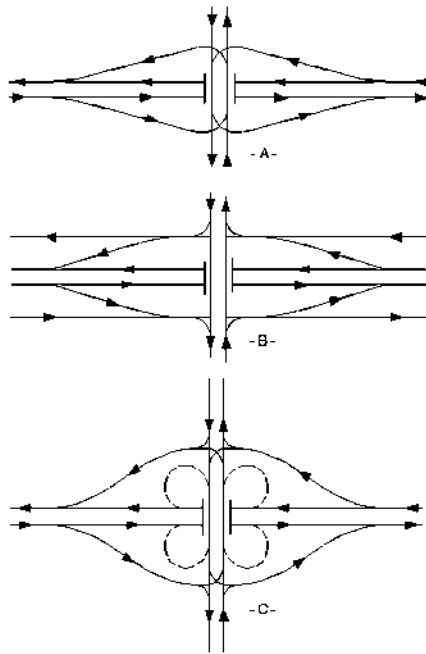


Figura 7. Arreglos convencionales de intersecciones de tipo diamante (SCT, 2015)

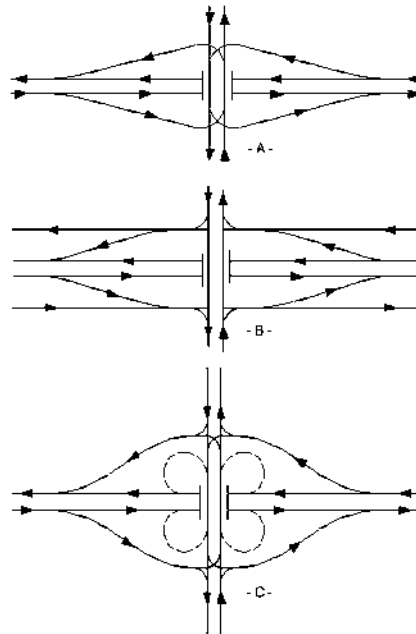


Figura 8. Arreglos de intersecciones tipo diamante para reducir conflictos de tránsito (SCT, 2015)

1.4.2.3. Intersecciones tipo trébol

Los tréboles son intersecciones que emplean rampas en forma de gaza para acomodar los movimientos que dan vuelta a la izquierda. Las intersecciones con gazas en todos los cuadrantes se les denomina tréboles completos y al resto tréboles parciales. Las desventajas principales de un trébol son: la distancia adicional que tiene que recorrer el tránsito que da vuelta a la izquierda, las maniobras de entrecruzamiento generadas en longitudes disponibles, relativamente cortas y la necesidad de derechos de vía más grandes. Debido a que los tréboles son usualmente costosos, mucho más que las intersecciones tipo diamante, su uso es menos común en áreas urbanas adaptándose mejor a zonas suburbanas o rurales donde existe mayor espacio disponible. La Figura 9, ilustra esquemáticamente un trébol parcial y un trébol completo.

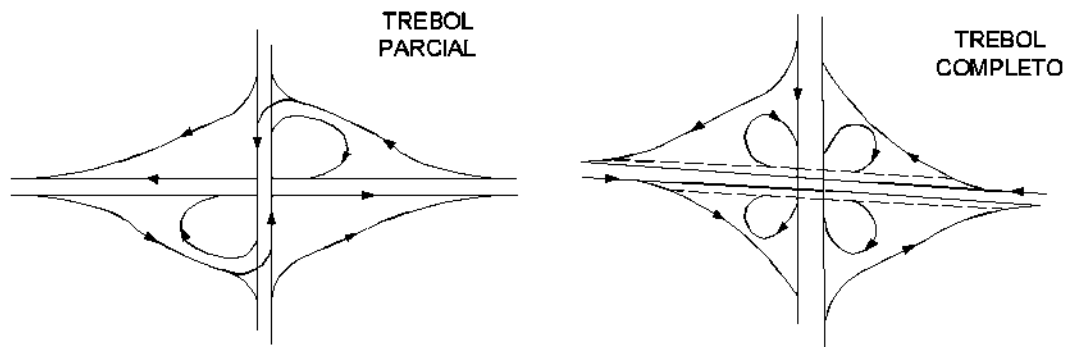


Figura 9. Tipos de tréboles (SCT, 2015)

1.5 Selección de tipo de Intersección

En áreas rurales, la selección del tipo de intersección se basa en la demanda de tránsito. Cuando se cruzan carreteras principales conviene usar intersecciones direccionales para alojar los flujos de tránsito más importantes que den vuelta a la izquierda.

Cuando algunos ramales presentan volúmenes de tránsito importantes y en otros volúmenes de menor importancia, es apropiada la combinación de rampas direccionales, semidireccionales y gazas. Es deseable un arreglo adecuado de las gazas, para evitar los entrecruzamientos.

El proyecto mínimo a utilizarse en intersecciones de dos vías con accesos totalmente controlados, el tipo trébol es la más apropiada, o donde el derecho de vía no sea prohibitivo o el entrecruzamiento sea mínimo.

La intersección tipo diamante, se utiliza comúnmente en un camino principal con una vía secundaria. La capacidad está limitada por las intersecciones a nivel en los puntos de conexión de las rampas con el camino secundario.

El proyecto de tréboles parciales es apropiado cuando no haya derecho de vía disponible en uno o dos de los cuadrantes o donde uno o más movimientos en la intersección difieren considerablemente en magnitud, especialmente en movimientos de vuelta a la izquierda que cruzan una corriente de tránsito. En este último caso, se utilizan rampas para los volúmenes de tránsito más importantes.

En general, las intersecciones en áreas rurales están bastante espaciadas y se proyectan individualmente sin que se produzca un efecto apreciable en las demás intersecciones del sistema. La configuración final de una intersección se determina considerando los factores siguientes: continuidad de la ruta, secuencia uniforme de las salidas antes de la estructura, eliminación de entrecruzamientos en la vía principal, posibilidad de semaforización en ciertos puntos de la intersección y disponibilidad de derecho de vía. La distancia de visibilidad de los caminos, a través del paso a desnivel, será cuando menos igual a la distancia de visibilidad de parada y de preferencia mayor.

En rutas urbanas, donde conviene preservar la continuidad, todas las intersecciones se integran al proyecto general del sistema en lugar de abordarse de manera individual.

Durante el proceso del estudio y análisis del proyecto, se hará un examen cuidadoso de las vías transversales con el fin de determinar el potencial que tienen para satisfacer el tránsito que llegará a la intersección.

Una vez que se han elegido varias alternativas de proyecto para el sistema, conviene compararlas bajo los siguientes principios: capacidad, continuidad de la ruta, uniformidad de las configuraciones de las intersecciones, salidas sencillas antes de la estructura, con o sin entrecruzamiento, semaforización potencial, disponibilidad de derecho de vía, construcción por etapas y compatibilidad con el entorno.

1.5.1 Planta, perfil y sección de los accesos.

Es necesario que se le conceda la misma importancia al tránsito que circula por la intersección que al tránsito de los caminos principales, en términos de calidad de la operación y seguridad. Las especificaciones para la velocidad de proyecto, alineamientos y sección transversal en el área de la intersección, serán semejantes a las de los caminos que se aproximan a la intersección.

La presencia de la estructura representa un peligro potencial, como consecuencia de especificaciones inadecuadas que alienten un comportamiento inseguro de los conductores. De preferencia, las especificaciones en la zona de la intersección, serán más altas que las del camino principal para contrarrestar cualquier sensación de restricción producida por estribos, pilas, guarniciones, defensas metálicas y otros elementos de la estructura.

Es deseable, que los alineamientos de los caminos que pasan a través de la intersección sean relativamente suaves y dispongan de visibilidad muy amplia. Cuando sólo pueda proyectarse uno de los caminos en tangente, se optará de preferencia por el camino principal. En particular, se evitarán curvas verticales cerradas y curvas horizontales adyacentes a una curva vertical. Las pendientes de los caminos que llegan a la intersección, se mantendrán en el rango más bajo y en ningún caso excederán los valores mínimos establecidos para condiciones de camino abierto. Se evitarán pendientes que reduzcan excesivamente la velocidad de los camiones o que dificulten su operación, ante condiciones climáticas desfavorables.

La reducción de la velocidad de los vehículos en pendientes muy largas, alienta maniobras de rebase que pueden ser peligrosas en los puntos de conexión de las rampas con los caminos principales. Los vehículos lentos también propician que los que entran y salen de las rampas se cierren peligrosamente a los que van de paso.

En caminos divididos, las vueltas directas a la izquierda, requieren la ampliación de la sección transversal, con el fin de construir una faja separadora central que permita alojar carriles de cambio de velocidad o carriles de almacenamiento. En caminos no divididos, es necesario introducir una faja separadora central para asegurar que los movimientos de vuelta a la izquierda se hagan en dirección de la rampa apropiada, minimizando las situaciones de confusión y peligro.

Cuando una carretera de dos carriles pase a través de una intersección, es probable que se produzcan vueltas a la izquierda en el sentido equivocado. Para altas velocidades o volúmenes importantes de tránsito, esta circunstancia puede justificar una sección transversal dividida en la zona de la intersección que prevenga maniobras de esta índole.

1.5.2 Traslape de rutas

En ciertos casos, es necesario que dos o más flujos de tránsito ocupen un solo alineamiento en una vialidad; en áreas rurales, esta situación se puede manejar generalmente con señalamiento. En áreas urbanas, los problemas de operación adquieren mayor complejidad debido a la probabilidad de que se produzcan entrecruzamientos y a la necesidad de proporcionar capacidad adicional y equilibrio de carriles.

En situaciones donde un camino o arteria principal, deban traslaparse con un camino secundario este último tiene que proyectarse con calzadas de transferencia que conecten ambas vías, como se muestra en la figura 10, este diseño permite que el entrecruzamiento en el camino principal, sea transferido al camino secundario.

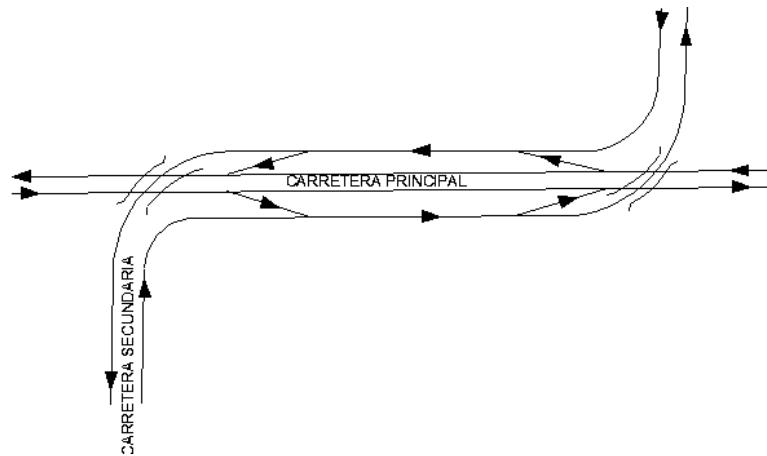


Figura 10. Vías laterales en el traslape de un camino principal y uno secundario (SCT, 2015)

CAPÍTULO 2. Estudios básicos para el proyecto de puntos de conflicto

En el presente capítulo, se describen en forma breve y concisa los estudios necesarios para elaborar el diagnóstico de las intersecciones para generar la solución técnica y económicamente más conveniente para dar soluciones a desnivel en puntos de conflicto, partiendo de las condiciones y problemática existente en la intersección y con estos apoyarse para elaborar los anteproyectos y el proyecto ejecutivo. Los estudios mencionados en la presente investigación no son limitativos y dependerá de las características particulares de cada intersección a estudiar.

2.1 Recopilación de información estadística de los accidentes

Los accidentes se producen por circunstancias inherentes a cualquiera de los tres elementos relacionados, a saber: el camino, el vehículo y el usuario. Para deducir la falla operacional y la magnitud de los accidentes, se deberán analizar y estudiar detenidamente las estadísticas de los mismos, solo así se podrá plantear el problema, en busca de una solución consecuente con la realidad. El correcto planteamiento aportará los requisitos que deben cumplirse para tener un buen proyecto geométrico y de señalamiento.

Deberá indagarse, si se cuenta con estadísticas de accidentes del tramo en estudio, como son informes oficiales de los hechos, en los cuales se agrupen datos importantes de los accidentes del tránsito, los tipos de vehículos involucrados, diagrama de colisiones (muestra gráficamente por medio de símbolos, los detalles más importantes de los accidentes), la fecha, hora y día en que ocurrieron, las condiciones del estado del tiempo y del pavimento, si ocurrió en el día o en la noche, mediante lo cual permitirá conocer el tipo de vehículo que participa con mayor frecuencia en los accidentes y conocer los motivos de los accidentes.

2.2 Reunir datos con observaciones de campo

Una mejor comprensión del panorama de accidentes de tránsito en un sitio, se logra con una visita al lugar y conviene que esta se efectúe durante las horas en que han ocurrido la mayoría de las colisiones, para observar la operación del tránsito; debiéndose tomar fotografías del lugar para el análisis final de las causas de los accidentes, también se obtendrán los datos relacionados con las características de la infraestructura, como son: anchos de carriles y número de estos.

Las siguientes preguntas deberán ser consideradas durante la visita al lugar:

- ¿Los accidentes son causados por condiciones físicas o geométricas del camino?
- ¿Están instalados adecuadamente los dispositivos para el control del tránsito (señales, marcas, etc.) y cumplen con las dimensiones y características de seguridad conforme a lo establecido en la normatividad?
- ¿Los vehículos se canalizan adecuadamente y no se pone en riesgo la seguridad de los usuarios?
- ¿Podrán evitarse los accidentes mediante la prohibición de algún movimiento con bajo volumen de tránsito?
- ¿El señalamiento informativo de destino indica a los usuarios los destinos de manera correcta y congruente con la geometría de la intersección, permitiendo la elección del carril oportunamente y reduciendo al mínimo la posibilidad de maniobras bruscas e irregulares?
- ¿Los accidentes nocturnos son en proporción mayor a los accidentes que ocurren durante el día, situación que tomando en cuenta los volúmenes de tránsito y la necesidad de protección especial durante la

noche, hace necesario dotar entre otras de alumbrado público, señales y marcas reflejantes?

El analista recopilará esta información y la información que considere pertinente, efectuando recorridos en todas las trayectorias y verificara cualquier condición que afecte la operación de la intersección, formulando las respuestas a cualquier pregunta que pueda dar luz a las causas reales de los accidentes que ocurren en el sitio.

Las observaciones hechas en campo pueden darles sentido a algunos de los datos de los accidentes resultando así más claros y significativos, por lo que el razonamiento del analista se enfocará bajo tres formas: como conductor de un vehículo, como pasajero y como peatón.

2.3 Estudios de ingeniería de Tránsito

El proyecto de un entronque, dependerá fundamentalmente de la demanda, es decir del volumen de tránsito que circulará en un intervalo de tiempo dado, su variación, su tasa de crecimiento y su clasificación vehicular. Un error en la determinación de estos datos, ocasionará que la intersección funcione durante su operación, bien con volúmenes de tránsito muy inferiores para los que se proyectó o presentará problemas de congestionamiento.

Para dar solución a cualquier problema de puntos de conflicto, es necesario contar con información y datos que nos permitan revisar, evaluar, diagnosticar y dar la solución integral por aplicar,

En razón de lo anterior, se requiere determinar el tránsito diario promedio anual (TDPA) y su clasificación vehicular en el sitio en estudio, por lo que la DGST recomienda realizar conteos del tránsito durante una semana (por métodos manuales o automáticos).

Se realizarán estudios adicionales para obtener los volúmenes de tránsito direccionales y su clasificación vehicular, el factor horario de máxima demanda (FHMD) y el volumen horario de proyecto (VHP), estos estudios se efectuarán en la hora de máxima demanda que arroje el estudio antes mencionado.

La obtención de la tasa de crecimiento deberá efectuarse con el método de mínimos cuadrados, mediante el análisis histórico de cuando menos los últimos seis años. Si la tasa de crecimiento resulta inadecuada (valores superiores al 7%), realizar los cálculos por incrementos anuales o efectuar un análisis en lugares cercanos al sitio en estudio.

Para determinar la velocidad de punto, se procederá a tomar una muestra representativa de los vehículos que transiten por un punto y se registraran en los formatos respectivos, donde el 85 percentil de la velocidad de un tramo de camino será la velocidad de deseo de los usuarios del tramo en estudio.

Así mismo, se realizará el análisis de capacidad vial la cual es el número máximo de vehículos que pueden circular por un camino o carril determinado bajo condiciones prevalecientes y el nivel de servicio en el punto de conflicto, con la geometría, volúmenes de tránsito y dispositivos de control existentes para la situación actual y con las características geométricas y los dispositivos de control propuestos, así como los volúmenes de tránsito de proyecto, el nivel de servicio estará en función del tiempo que tarde en cruzar un vehículo por la intersección, en la siguiente tabla, se muestran valores para su determinación.

Tabla 2. Criterios de niveles de servicio para entronques

| Nivel de Servicio | Demora por vehículo (s/veh) |
|-------------------|-----------------------------|
| A | ≤10 |
| B | > 10-20 |
| C | > 20-35 |
| D | > 35-55 |
| E | > 55-80 |
| F | > 80 |

Fuente: (Transportation Research Board, 2000)

El estudio de la información recopilada en campo, así como los datos de los estudios de tránsito (volúmenes, velocidades, etc.) son el sustento para proponer el tratamiento correctivo a la intersección.

En el proyecto de las ramas de la intersección, se debe contemplar la cantidad de vehículos que se espera circulen en las horas pico, para así considerar una velocidad de circulación adecuada al número de vehículos y el tipo de carreteras que forman la intersección, calcular las pendientes, las distancias de visibilidad y la sobreelevación de cada rama.

2.4 Estudios Topográficos

La Normativa para la infraestructura del Transporte de la SCT, define a éstos como el conjunto de actividades, de campo y gabinete, necesarias para representar gráficamente y a una escala convenida, la topografía de un lugar mediante sus proyecciones horizontales (planimetría) y verticales (altimetría), identificando sobre ésta, cuando así se requiera, los puntos característicos de las obras que existan en el lugar y de las que se proyecten.

En el documento “conceptos que conforman el proyecto ejecutivo de carreteras”, se menciona que en la etapa de anteproyecto, se diseña el trazo

de los ejes de cada una de las intersecciones, así como la geometría en su totalidad, de acuerdo con el servicio requerido por las carreteras que se conectan, con la topografía de la zona, con las velocidades de operación y el volumen de tránsito esperado, el diseño incluye la ubicación y dimensiones de las estructuras necesarias y el anteproyecto con plantas y perfiles de cada una de las ramas de la intersección. El proyecto conceptual se elabora sobre los planos topográficos restituidos con escala 1:2,000 o 1: 1,000 obtenidos de los vuelos fotogramétricos bajos 1: 10,000 y 1: 5,000 y los proyectos definitivos se elaboran a escalas de 1:500.

El siguiente paso en el propósito de obtener el proyecto ejecutivo de las intersecciones es la proyección en campo del proyecto definitivo. El objetivo de esta etapa es la de obtener la topografía real, no deducida del sitio de la intersección con el mayor detalle, que así lo amerita el diseño de las estructuras. El trazo en campo del proyecto se hace con una metodología similar a la del eje del trazo. Se inicia la restitución detallada del trazo definitivo en toda la zona donde se ubicarán con detalle los puntos de inicio y terminación de las curvas de la intersección, y los puntos de cruce con los caminos secundarios.

Todos los puntos antes mencionados, se identificarán en forma definitiva con mojoneras y se fijarán las referencias adecuadas para que esos puntos puedan ser encontrados y restituidos posteriormente con la mayor facilidad. Mientras se fijan esos puntos, el nivelador localiza el banco de nivel más cercano correspondiente al trazo definitivo, y traslada los niveles a uno o dos bancos ubicados junto a la intersección en sitios que perduren hasta la construcción.

Una vez que se tienen todos estos puntos característicos, se procede al trazo de todas las ramas de la intersección, en su mayoría curvas, señalando los

puntos característicos para rehacer el trazo posteriormente y referenciándolos en forma adecuada

Se colocan estacas a cada 10 m y se nivelan con precisión. A través de las estacas colocadas a cada 10 m se obtienen secciones transversales de topografía con la finalidad de elaborar la planta topográfica general de toda la zona de la intersección, por lo cual deberá cuidarse que la longitud de las secciones sea tal que se crucen con las secciones correspondientes a otras ramas de la intersección.

En las zonas donde se han proyectado estructuras, ya sean puentes o pasos peatonales, deberá detallarse la topografía, colocando en el eje del trazo estacas a cada 5 m y levantando las secciones transversales de topografía, considerando que se requieren curvas de nivel a cada 0.5m

El resultado final de este estudio de topografía para las intersecciones son los siguientes planos:

1. Planta general de la intersección: con los datos topográficos en planta de los caminos principal y secundarios, de todos los puntos característicos del camino principal, de los cruces con los caminos secundarios, actual y del proyecto de entronque y todos los datos de las ramas del entronque, destacando las referencias y los bancos de nivel, con el objetivo que todo el entronque pueda ser replanteado en campo antes de su construcción las veces que sea necesario
2. Planta topográfica general de toda la intersección: con curvas de nivel a cada metro.
3. Perfil del camino principal: en toda la zona de la intersección.
4. Perfiles topográficos: de cada una de las ramas de la intersección.
5. Planta topográfica de detalle: de cada una de las zonas donde se requiera una estructura, puente o paso peatonal.

2.5 Otros estudios

Los siguientes estudios son necesarios para la elaboración del proyecto ejecutivo de todos los elementos que integran una intersección, sin embargo, solo se mencionan de manera breve, ya que, para la solución a nivel de anteproyecto y proyecto geométricos, los cuales son motivo de la presente tesis, solo se utilizan los mencionados anteriormente (incisos 2.1 a 2.4).

1. Estudio hidrológico e hidráulico. Al construir intersecciones, se encuentran con escurrimientos que atraviesan las vialidades, dichos escurrimientos deben seguir su curso y no ser interrumpidos por las obras, por lo cual es necesario realizar el estudio hidrológico, en el cual se obtiene el área de aportación de la cuenca, perfil de escurrimiento, isoyetas de precipitación, para determinar el gasto y el estudio hidráulico, mediante el cual se dimensionan las obras de cruce, los cuales pueden ser alcantarillas y puentes, además de estas obras se realiza el proyecto del drenaje longitudinal (cunetas, contracunetas, lavaderos, etc.).
2. Estudio geotécnico. En este se realizan todos los estudios necesarios para realizar el proyecto de pavimentos, revisando la estructura del pavimento actual, se realizan los estudios para que el material que se traerá de los bancos de préstamo cumpla con las especificaciones de la SCT para la conformación de terracerías y pavimentos y por último los estudios que determinen el tipo de cimentación de las estructuras, ya sea superficial o profunda, así como la capacidad de carga.

CAPÍTULO 3. Consideraciones en el proyecto de intersecciones a desnivel que aumentan la seguridad vial.

A medida que las dimensiones y la velocidad de los vehículos que circulan por las carreteras aumentan, para transportar mayor carga en el menor número de viajes y en un menor tiempo, se vuelve necesario y económico diseñar y construir las carreteras con estándares geométricos más elevados. En la medida en que este estándar sea mayor, las carreteras serán más seguras. Uno de los factores económicos que deben tomarse en cuenta al seleccionar el nivel geométrico de calidad son los beneficios en seguridad vial, derivados de mejores estándares geométricos. La seguridad vial se incrementa al aumentar el estándar de proyecto geométrico.

Los accidentes que tienen lugar en una intersección se pueden considerar como el resultado de la exposición al riesgo por parte de un cierto número de usuarios, la cual depende de:

- El diseño de la intersección.
- Los principios en los que se basa su funcionamiento.
- Los comportamientos que se derivan de ese funcionamiento.

Asimismo, los estudios realizados al respecto indican que para reducir los accidentes viales se necesita:

- Mejor preparación del usuario
- Mayor seguridad de los vehículos
- Adecuada legislación y vigilancia
- Condiciones que permitan una mejor operación del sistema vial

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, la implementación de soluciones a desnivel en intersecciones, disminuye la mayoría de accidentes

en estos, la siguiente tabla muestra que este tipo de soluciones es la que más reduce accidentes.

Tabla 3. Reducción de accidentes para diferentes tipos de proyectos

| TIPO DE PROYECTO | REDUCCIÓN DE ACCIDENTES, EN % |
|---|-------------------------------|
| Libramientos de pueblos rurales | 32 |
| Construcción de un cuerpo carretero adicional | 29 |
| Separación de niveles en intersecciones urbanas | 57 |
| "Otros" proyectos en áreas rurales | 28 |

Fuente: (Díaz, 2002)

3.1 La clasificación vehicular y la seguridad vial

En cuanto a la adecuada legislación y vigilancia, conforme a lo establecido en el Reglamento de Pesos y Dimensiones de México, los caminos se clasifican en:

Carreteras tipo ET y A: Son aquellas que forman parte de los ejes de transporte que establezca la Secretaría, cuyas características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, así como de otros que por interés general autorice la Secretaría, y que su tránsito se confina a este tipo de caminos.

Carretera tipo B: Son aquellas que conforman la red primaria y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales prestan un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito.

Carretera tipo C: Red secundaria; son carreteras federales que atendiendo a sus características prestan servicio dentro del ámbito estatal o interestatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria.

Carretera tipo D: Red alimentadora, son carreteras que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente prestan servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria.

La anterior clasificación es importante en el tema de seguridad vial, ya que, dependiendo del tipo de carretera, es el tipo de vehículo (con los pesos y dimensiones que se establecen en la tabla No. 4) que se permite circular por estas; así, si un vehículo que pretende circular por alguna carretera es más largo que el permitido en la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014 para dicha carretera, éste invadirá el carril de los vehículos que circulan en sentido contrario para el caso de carreteras con dos sentidos de circulación, ocasionando choques de frente en curvas del alineamiento horizontal y para el caso de vehículos que circulen con exceso de peso, éstos dañaran la estructura del pavimento y en su caso los puentes vehiculares. Estas restricciones de circulación, especialmente en vehículos más largos, favorecen la seguridad de todos los usuarios de las carreteras de jurisdicción federal y evitan el aumento de daños futuros a la infraestructura.

Tabla 4. Vehículos autorizados por tipo de camino

| Vehículo o configuración vehicular | PESO BRUTO VEHICULAR (t) | | | | LARGO TOTAL (m) | | | |
|------------------------------------|--------------------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|
| | ET y A | B | C | D | ET y A | B | C | D |
| B2 | 19 | 16.5 | 14.5 | 13 | 14 | 14 | 14 | 12.5 |
| B3 | 24 | 19 | 17 | 16 | 14 | 14 | 14 | 12.5 |
| B3 | 27.5 | 23 | 20 | 18.5 | 14 | 14 | 14 | 12.5 |
| B4 | 30.5 | 25 | 22.5 | 21 | 14 | 14 | 14 | 12.5 |
| C2 | 19 | 16.5 | 14.5 | 13 | 14 | 14 | 14 | 12.5 |
| C3 | 24 | 19 | 17 | 16 | 14 | 14 | 14 | 12.5 |
| C3 | 27.5 | 23 | 20 | 18.5 | 14 | 14 | 14 | 12.5 |
| C2-R2 | 37.5 | 35.5 | NA | NA | 31 | 28.5 | NA | NA |
| C3-R2 | 44.5 | 42 | NA | NA | 31 | 28.5 | NA | NA |
| C3-R3 | 51.5 | 47.5 | NA | NA | 31 | 28.5 | NA | NA |
| C2-R3 | 44.5 | 41 | NA | NA | 31 | 28.5 | NA | NA |
| T2-S1 | 30 | 26 | 22.5 | NA | 23 | 20.8 | 18.5 | NA |
| T2-S2 | 38 | 31.5 | 28 | NA | 23 | 20.8 | 18.5 | NA |
| T3-S2 | 46.5 | 38 | 33.5 | NA | 23 | 20.8 | 18.5 | NA |
| T3-S3 | 54 | 45.5 | 40 | NA | 23 | 20.8 | 18.5 | NA |
| T2-S3 | 45.5 | 39 | 34.5 | NA | 23 | 20 | 18 | NA |
| T3-S1 | 38.5 | 32.5 | 28 | NA | 23 | 20 | 18 | NA |
| T2-S1-R2 | 47.5 | NA | NA | NA | 31 | NA | NA | NA |
| T2-S1-R3 | 54.5 | NA | NA | NA | 31 | NA | NA | NA |
| T2-S2-R2 | 54.5 | NA | NA | NA | 31 | NA | NA | NA |
| T3-S1-R2 | 54.5 | NA | NA | NA | 31 | NA | NA | NA |
| T3-S1-R3 | 60.5 | NA | NA | NA | 31 | NA | NA | NA |
| T3-S2-R2 | 60.5 | NA | NA | NA | 31 | NA | NA | NA |
| T3-S2-R4 | 66.5 | NA | NA | NA | 31 | NA | NA | NA |
| T3-S2-R3 | 63 | NA | NA | NA | 31 | NA | NA | NA |
| T3-S3-S2 | 60 | NA | NA | NA | 25 | NA | NA | NA |
| T2-S2-S2 | 51.5 | NA | NA | NA | 31 | NA | NA | NA |
| T3-S2-S2 | 58.5 | NA | NA | NA | 31 | NA | NA | NA |

Fuente: (SCT, 2014)

Las dimensiones de los vehículos que se permiten circular por cada tipo de carretera definirán la geometría de las gazas de las intersecciones, como son radios de giro y el ancho de calzadas, es el motivo por el cual toma relevancia este tema. El vehículo con los máximos pesos y dimensiones que

se permite circular en las carreteras de México, es el mostrado en la siguiente figura:

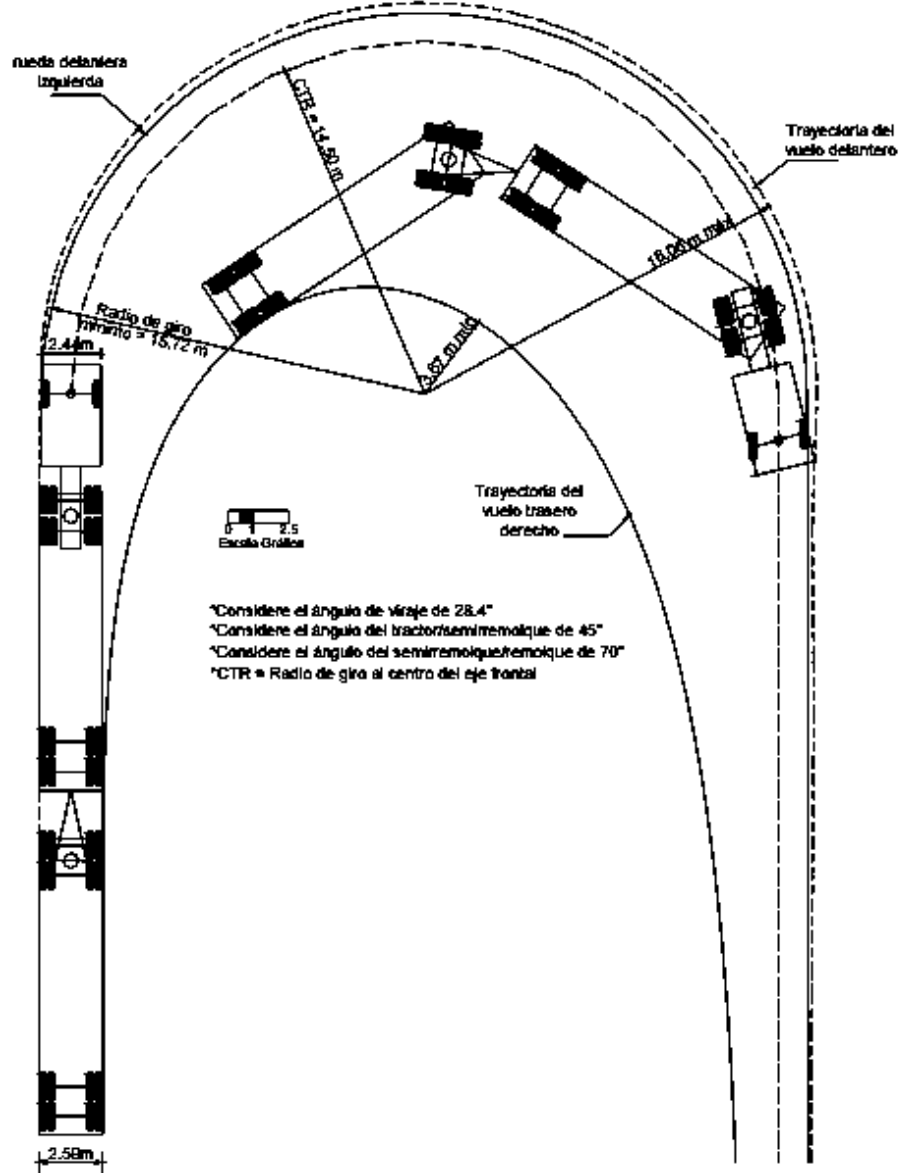
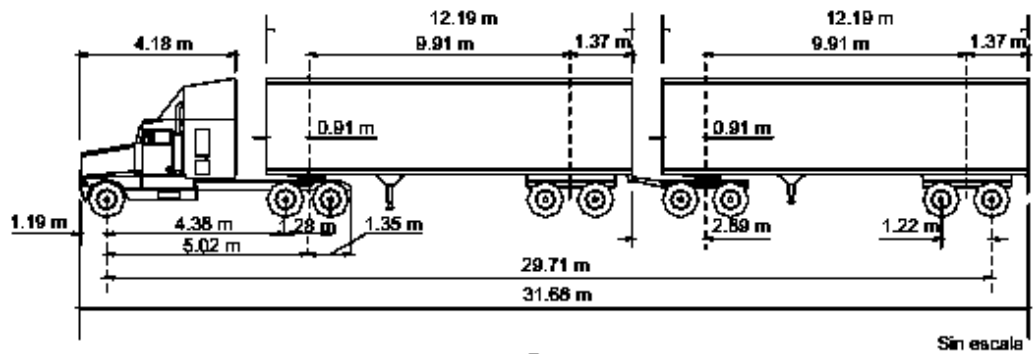


Figura 11. Vehículo de proyecto con los máximos pesos y dimensiones permitidos en México (Días, Pérez, & Grajeda, 2004)

3.2 Carriles de cambio de velocidad

Para facilitar los movimientos de salida y entrada de los vehículos desde y hacia las gazas de giro y las ramas de las intersecciones y hacer que las divergencias y convergencias se realicen con mayor seguridad, apartándolas de los carriles de paso, en las intersecciones se deben diseñar carriles de cambio de velocidad.

Se le llama carril de cambio de velocidad a la ampliación de la sección transversal, que se añade con el objeto de proporcionar a los vehículos que salen de una intersección el espacio suficiente para alcanzar la velocidad necesaria para incorporarse a la corriente de tránsito de una vía, o puedan reducir su velocidad cuando salen de una vía de circulación y se incorporan a una intersección.

Se dividen en carriles de aceleración y desaceleración, y su longitud depende de la velocidad de proyecto de la intersección y de las de las vialidades. Esta longitud deberá ser la que se indica en las siguientes tablas:

Tabla 5. Longitudes para carriles de aceleración

| Velocidad de proyecto en el enlace Km/h | | Condición de parada | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| Radio de curva mínimo, metros | | | 15 | 24 | 45 | 47 | 113 |
| Velocidad de proyecto en el enlace Km/h | Longitud de la transición en metros | Longitud total de carril de DESACELERACION, incluyendo la transición, en metros | | | | | |
| 50 | 45 | 64 | 45 | - | - | - | - |
| 60 | 54 | 100 | 85 | 80 | 70 | - | - |
| 70 | 61 | 110 | 105 | 100 | 90 | 75 | - |
| 80 | 69 | 130 | 125 | 120 | 110 | 95 | 85 |
| 90 | 77 | 150 | 145 | 140 | 130 | 115 | 105 |
| 100 | 84 | 170 | 160 | 160 | 145 | 135 | 125 |
| 110 | 90 | 185 | 175 | 175 | 160 | 150 | 140 |

Fuente: (SAHOP, 1977)

Tabla 6. Longitudes para carriles de desaceleración

| Velocidad de proyecto en el enlace Km/h | | Condición de parada | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---|-------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Radio de curva mínimo, metros | | | 15 | 24 | 45 | 47 | 113 |
| Velocidad de proyecto en el enlace Km/h | Longitud de la transición en metros | Longitud total de carril de ACELERACION, incluyendo la transición, en metros. | | | | | |
| 50 | 45 | 170 | 45 | - | - | - | - |
| 60 | 54 | 110 | 85 | 75 | - | - | - |
| 70 | 61 | 160 | 135 | 125 | 100 | - | - |
| 80 | 69 | 230 | 125 | 190 | 170 | 125 | - |
| 90 | 77 | 315 | 300 | 285 | 255 | 205 | 160 |
| 100 | 84 | 405 | 395 | 380 | 350 | 295 | 240 |
| 110 | 90 | 470 | 465 | 425 | 425 | 375 | 325 |

Fuente: (SAHOP, 1977)

3.3 Señalamiento

El señalamiento sirve para: advertir a los usuarios la existencia de posibles peligros, dar a conocer determinadas restricciones, indicar en forma concisa ciertas disposiciones legales, determinar el derecho de paso de las corrientes de vehículos y el sentido de las vías y ayudar a los peatones para atravesar las vías, con el fin de disminuir el número de accidentes de tránsito; así mismo, cuando el diseño geométrico no resuelve las situaciones de riesgo por cuestiones técnicas o económicas, por ejemplo los objetos fijos instalados al lado de la carretera (postes de alumbrado, árboles, taludes pronunciados, etc.) y que éstos no pueden ser eliminados o reubicados; es común la instalación de algún dispositivo de seguridad para prevenir y proteger al usuario del camino.

El señalamiento y la operación del tránsito son elementos importantes que es necesario considerar en el proyecto de intersecciones. Cada proyecto se verificará cuidadosamente para determinar si el señalamiento proporciona una operación fluida y segura del tránsito. El diseño de las intersecciones y del señalamiento será tan simple como sea posible, con el fin de que los

conductores lo entiendan fácilmente, propiciando una mejor calidad en la operación. El señalamiento se sujetará a lo señalado en el Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras 2014, de la SCT y en la Normatividad Oficial para señalamiento de la SCT.

Para que las intersecciones operen de manera eficiente, deben proporcionar a los usuarios seguridad, confort y fluidez, para ello es indispensable que el usuario disponga de la información suficiente y oportuna para elegir su destino de manera correcta y congruente con la geometría de la intersección, permitiendo la elección del carril oportunamente y reduciendo al mínimo la posibilidad de maniobras bruscas e irregulares. Esto se logra mediante un adecuado proyecto de señalamiento, en el cual se establezcan la correcta combinación del señalamiento horizontal, vertical y los dispositivos para el control del tránsito. En la siguiente figura, se presenta un ejemplo del señalamiento que se deberá utilizar en una intersección.

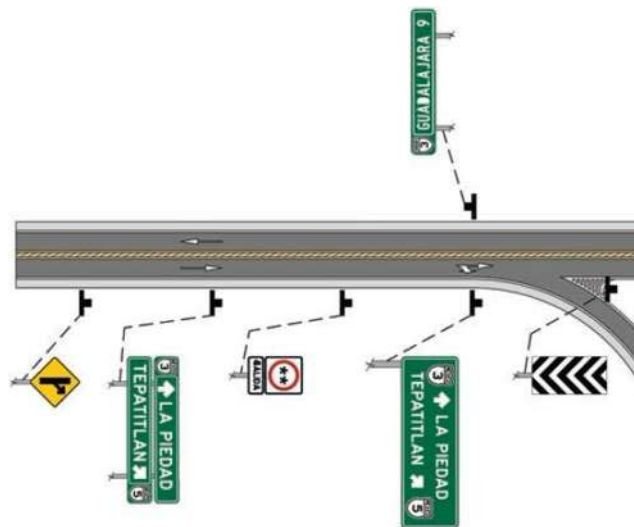


Figura 12. Sistema de señalamiento a aplicar en un entronque (SCT, 2014)

3.4 Sistemas de contención en intersecciones

Son elementos situados en la orilla de la calzada, en el centro de esta o en bifurcaciones, estos sistemas tienen la finalidad de proporcionar un cierto nivel de contención cuando los vehículos se hallen fuera de control, de manera que minimice los daños y lesiones tanto para sus ocupantes como para el resto de los usuarios de la carretera u objetos situados en las proximidades, para su instalación se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El costo de instalación y mantenimiento del dispositivo.
- La probabilidad de un choque con el dispositivo, relacionada con la intensidad de la circulación.
- La gravedad del accidente que resultante de ese choque.
- La gravedad del accidente que se han de evitar.
- El costo de soluciones alternativas.

La nariz de una divergencia de salida o de bifurcación de la calzada, es una parte crítica de las intersecciones, ya que los conductores pueden equivocarse de destino y querer corregir este en la zona donde inicia la guarnición y parapeto del puente, ocasionando una colisión del vehículo con dichos elementos, se recomienda la instalación de un amortiguador de impacto, como el mostrado en la siguiente figura.

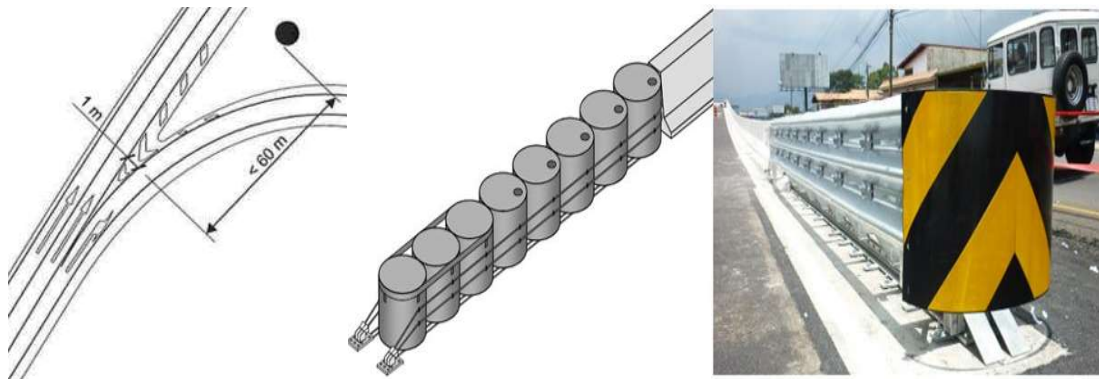


Figura 13. Amortiguadores de impacto en bifurcaciones de entronques (SCT, 2012)

Los vehículos que transitan por pasos inferiores requieren que se dispongan bajo ellos unos sistemas de contención de vehículos, pues el choque con una pila o un estribo es un accidente generalmente muy grave. En relación con ello, resulta determinante la distancia horizontal, entre el borde de la plataforma y la estructura del paso inferior. Donde no se pueda disponer de una zona de seguridad de suficiente anchura, se deben colocar unas barreras de seguridad que proteja a las pilas o los estribos. La elección del tipo depende del sitio disponible para la deformación de la barrera, sin tocar la estructura. La longitud de la barrera debe ser suficiente para evitar que, un vehículo fuera de control pueda alcanzar la zona situada detrás de ella y chocar con las pilas o el estribo.

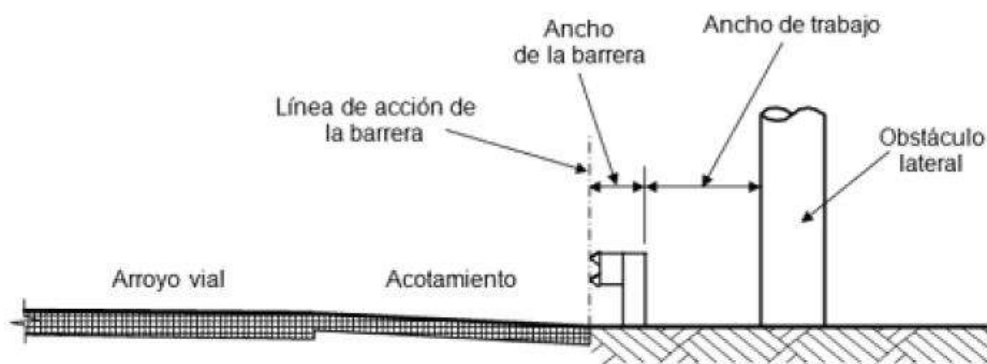


Figura 14. Ancho entre una barrera de contención y una pila de un puente (SCT, 2012)

Los parapetos de los puentes son barreras longitudinales diseñadas para prevenir que un vehículo descontrolado caiga del puente; por tanto, deberán tener poca o ninguna deflexión. Sin embargo, si existe una barrera a lo largo de las aproximaciones al puente, ésta seguramente se habrá diseñado para deformarse ante un impacto, de ahí que, se requiere una transición en la rigidez de dicha barrera en la dirección del poste final del puente; asimismo, la barandilla debe fijarse rígidamente a ese poste.

En síntesis, la seguridad vial es una consideración importante en el diseño de puentes nuevos. Apegarse a estándares vigentes relacionados con el ancho del puente, acotamientos, barandillas y postes, así como con la ubicación de las pilas y columnas, es importante para asegurar que el nuevo puente será seguro y funcional

CAPÍTULO 4. Auditoría de seguridad vial

En el documento “Guía para Realizar una Auditoría de Seguridad Vial”, se define Auditoría de Seguridad Vial (ASV) como un examen formal de un proyecto vial, o de tránsito, existente o futuro, o de cualquier proyecto que tenga influencia sobre una vía, en donde un equipo de profesionales calificado informa sobre el riesgo de ocurrencia de accidentes y del comportamiento del proyecto desde la perspectiva de la seguridad vial”

El proceso de la ASV se caracteriza por identificar los accidentes de tránsito antes de que estos ocurran. Una característica fundamental de las ASV es que su aplicación es rentable en cualquiera de las etapas de una obra vial (desde el proyecto hasta la operación). Su mayor eficacia se logra al comienzo, cuando el proyecto aún está en el papel. No obstante, la promoción de las ASV en algunos países se ha centrado en vías existentes, donde hay mayores posibilidades de demostrar su efectividad por contar con estadísticas de accidentes que lo avalan.

La aplicación de las normas, es un importante punto de partida en el diseño, construcción y operación de una vía, por lo que, un diseñador debe estar familiarizado con la normatividad; sin embargo, la normativa no necesariamente garantiza la seguridad de un proyecto vial, ya que éstas cubren solo las situaciones generales o comunes, pero no todas las situaciones y algunas pueden estar basada en información obsoleta. Más allá de verificar que se cumpla con la normativa, una ASV tiene como finalidad comprobar que una vía cumpla con el propósito para el cual fue proyectada, con seguridad para todos los usuarios. En primer lugar, se debe revisar que todos los aspectos de la seguridad vial estén contemplados en el diseño y luego, verificar que ello sea cumplido en la construcción y que se mantenga durante la operación de la vía.

4.1 ASV en la intersección “EL NABO”

La presente investigación se obtuvo de primera mano, mediante un recorrido de campo con personal del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y personal de la SCT, la información aquí expuesta es el resultado del análisis de la inspección visual en la intersección denominada El Nabo, en la cual se analizó la geometría de la intersección, las maniobras de los vehículos al realizar algún movimiento direccional en este, el funcionamiento y estado en que se encuentra el señalamiento y los dispositivos de seguridad y por último se plantean posibles soluciones en este sitio conflictivo. Cabe mencionar que solo fue una inspección visual, no se realizaron estudios detallados de tránsito como los mencionados en los capítulos anteriores.

El entronque se encuentra localizado en la zona norte de Querétaro en las coordenadas UTM: X= 345690.23, Y= 2289466.22.



Figura 15. Ubicación del entronque (Google Earth)



Figura 16. Ubicación del entronque (Google Earth)

La intersección El Nabo, se encuentra ubicado en el libramiento Norponiente de Querétaro, es del tipo doble trompeta, en esta, se pueden realizar los siguientes movimientos direccionales locales:

- Retorno Celaya – Celaya
- Retorno San Luis Potosí – San Luis Potosí
- Celaya – El Nabo
- San Luis Potosí – El Nabo
- El Nabo – San Luis Potosí
- El Nabo – Celaya

Y los de largo itinerario Celaya – San Luis Potosí y San Luis Potosí – Celaya.

En la siguiente figura se muestra la geometría de la intersección, así como los movimientos que se pueden realizar en este.

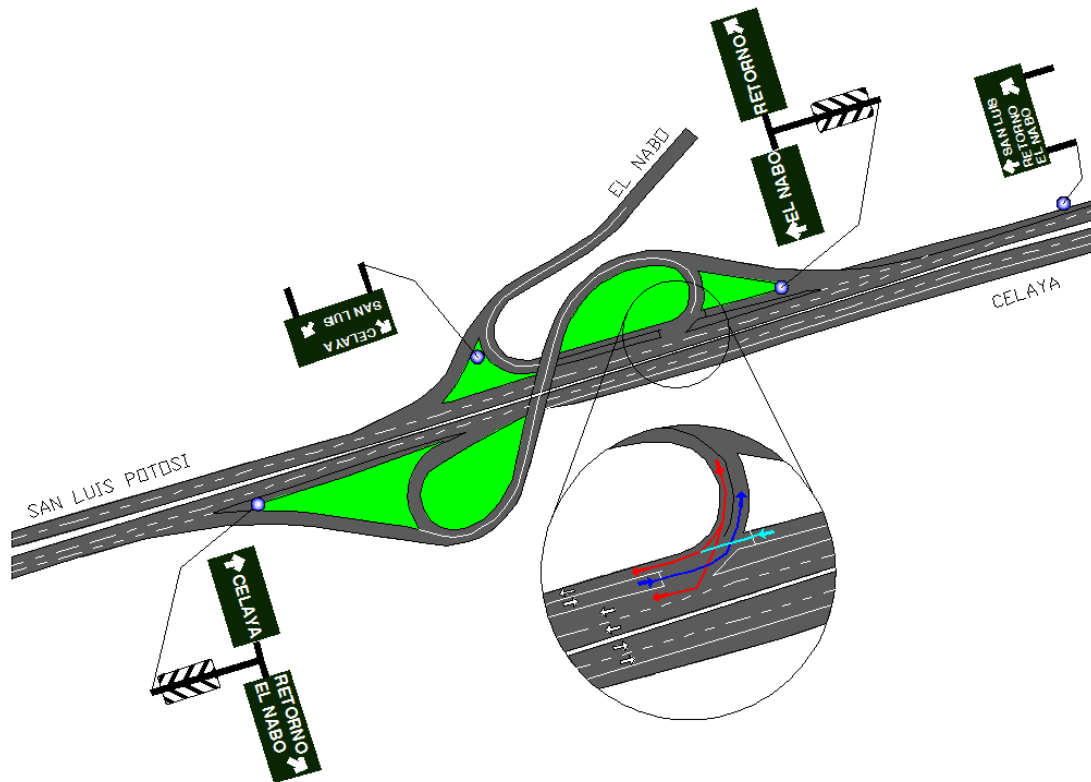


Figura 17. Geometría de la intersección (Elaboración propia)

Todos los movimientos direccionales son confusos y peligrosos, ya que esta intersección no cumple con la geometría adecuada en las gazas que lo conforman, el señalamiento informativo de destino confunde al usuario, ya que antes de la intersección no hay señalamiento previo que indique las maniobras a realizar, únicamente hasta al llegar a la intersección se tiene señalamiento informativo de destino decisivo.

La zona de mayor conflicto se muestra en el detalle de la figura 17 y se complementa con el de la figura 18, en la cual los movimientos direccionales son los siguientes:

1. San Luis Potosí – El Nabo (Trayectoria en color rojo)
2. Retorno San Luis Potosí – San Luis Potosí (Trayectoria en color verde)
3. El Nabo – Celaya (Trayectoria en color azul)

4. Celaya – El Nabo (Trayectoria en color cian)

Asimismo, se observa que, en esta zona de mayor conflicto, un movimiento direccional puede tener hasta dos entre cruzamientos.

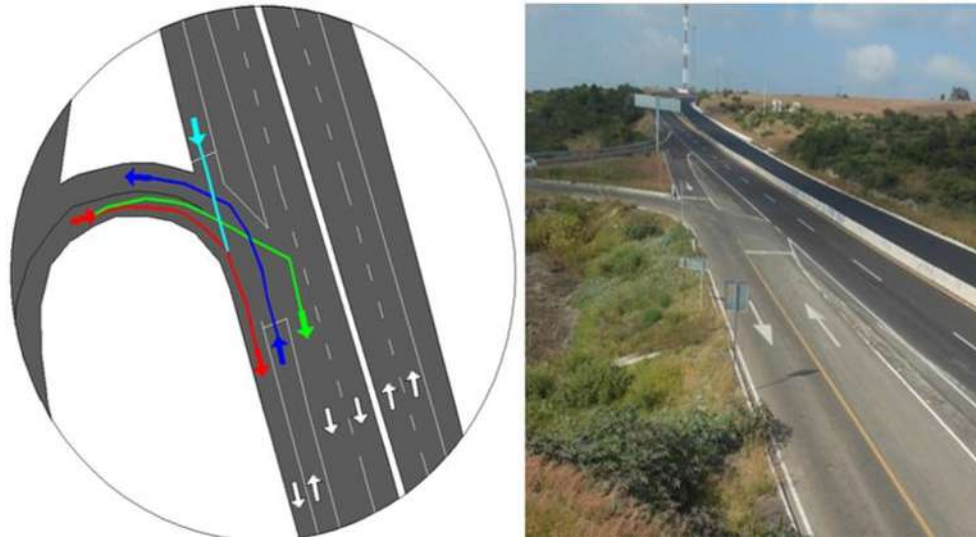


Figura 18. Entrecruzamientos en zona de mayor conflicto (Elaboración propia)

Aunado a lo anterior, la estructura del entronque consta de tres claros, en el claro del lado de El Nabo existe un apoyo sin elementos amortiguadores de impacto que protejan a la estructura y a los conductores, el cual representa un peligro para los conductores que no están familiarizados con la geometría de esta intersección y realizan alguno de los movimientos de mayor conflicto indicados con anterioridad, en la siguiente figura se muestra el apoyo en conflicto.



Figura 19. Apoyo de la estructura (View Street)

Para dar solución a los entre cruzamientos, se plantea una primera solución, en la cual, las modificaciones a la intersección son representadas en la siguiente figura en color cian, primero se construye una gaza para el movimiento directo Celaya – El Nabo y se amplían dos isleta para eliminar el movimiento El Nabo – Celaya, con esta solución se genera un carril de aceleración para que el movimiento de retorno San Luis – San Luis se incorpore a la carretera de forma segura, además de que con esta solución se eliminan todos los entre cruzamientos.

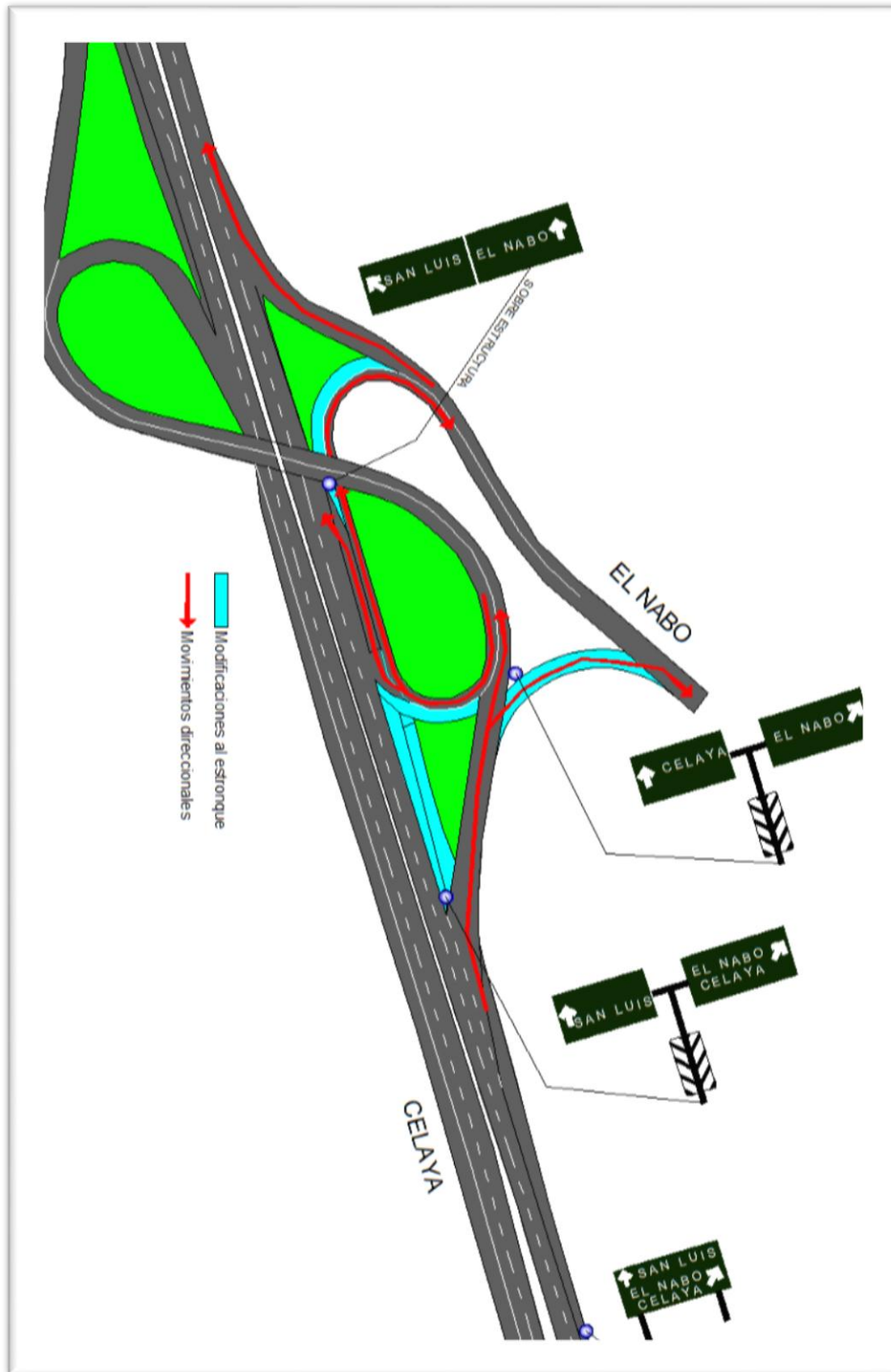


Figura 20. 1ª Propuesta de solución a entrecruzamientos (Elaboración propia)

En la solución mostrada en la figura anterior, se observa que se eliminó el movimiento El Nabo – Celaya, dicho movimiento se propone solucionar mediante un Paso Superior Vehicular (PSV) ubicado a 3.7 km en dirección a San Luis Potosí, este PSV permite movimientos de retorno por debajo de la estructura, el inconveniente de esta solución es que si un vehículo quiere ir en dirección a Celaya realizaría un recorrido de 7.4 km



Figura 21. Ubicación del PSV para realizar el movimiento El Nabo – Celaya (Elaboración propia)

Si se contará con recursos económicos, se presenta una segunda solución, en la cual, el movimiento El Nabo – Celaya, se realizaría mediante un retorno a desnivel en el sentido a San Luis Potosí, en la siguiente figura se muestra dicha solución con el retorno a nivel del lado izquierdo, con lo cual se eliminan todos los entrecruzamientos y con ello los accidentes.

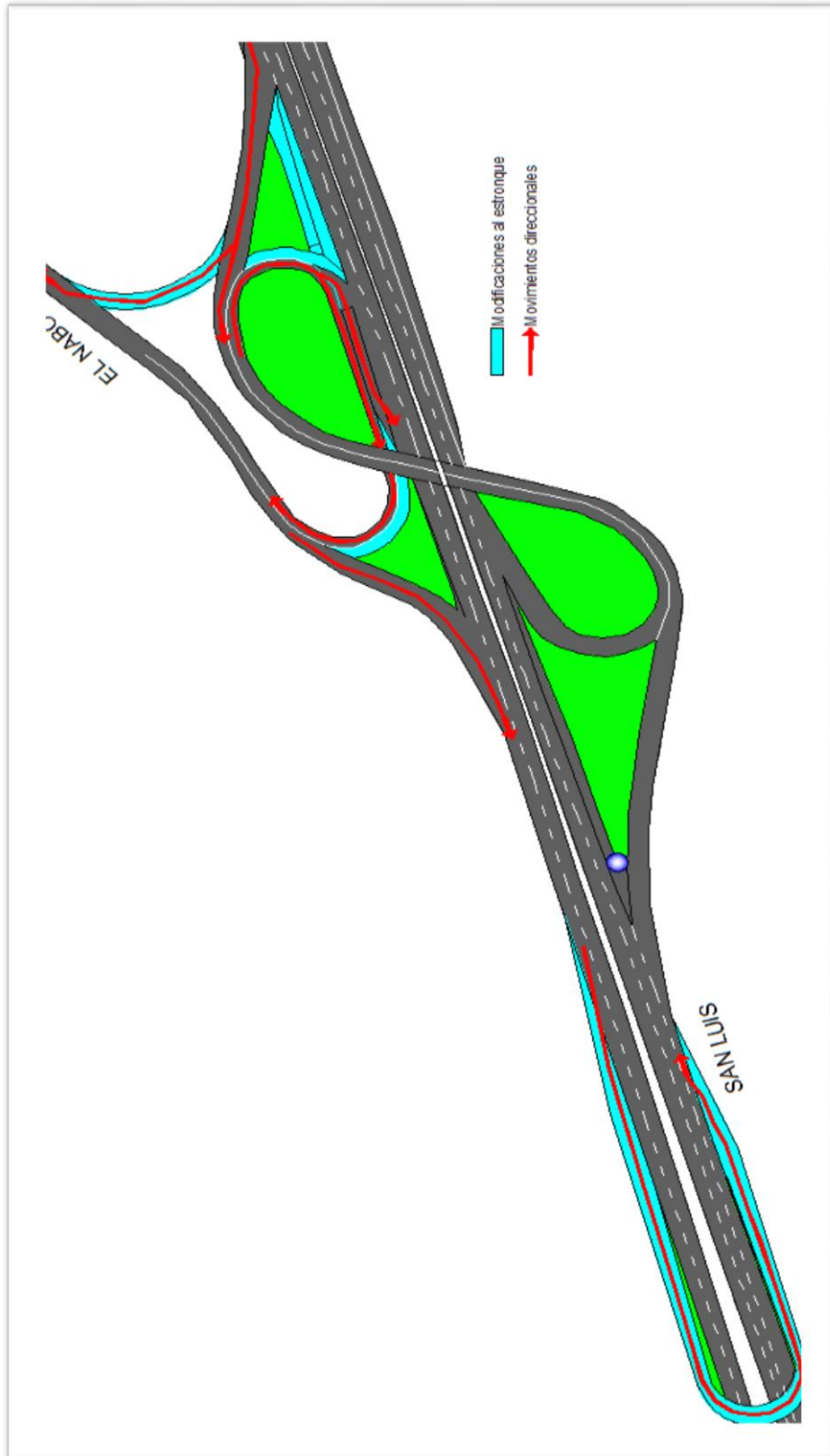


Figura 22. 2a Solución a los entrecruzamientos.

Una vez determinado la solución geométrica que elimina la totalidad de los entrecruzamientos, se debe realizar el proyecto geométrico de la gaza con el radio y ancho adecuado para que el vehículo de proyecto pueda maniobrar sin problemas; para el acceso y salida al retorno a desnivel se deben proyectar carriles de cambio de velocidad con las longitudes necesaria para pasar de la velocidad de operación de la vialidad principal a la velocidad con la que se diseñe el retorno y por último realizar el proyecto de señalamiento definitivo con señales de destino previas, decisivas y confirmativas, señalamiento preventivo de salida e incorporación a la vialidad principal y señalamiento restrictivo de velocidad y ceda el paso para las salidas e incorporaciones a la vialidad principal respectivamente.

CAPÍTULO 5. Proyectos de entronques a desnivel implementados para solucionar puntos de conflicto

5.1 Punto de conflicto intersección “Zacatelco”

El punto de conflicto está ubicado en el km 17+500 de la carretera Puebla – Santa Ana Chiautempan ruta MEX-121, en el estado de Tlaxcala, en las coordenadas UTM X=584,439 e Y=2124145, en este kilómetro se encuentra una intersección en T (izquierda) por la cual se puede llegar al poblado de Zacatelco. La figura 23, muestra la ubicación del punto de conflicto.

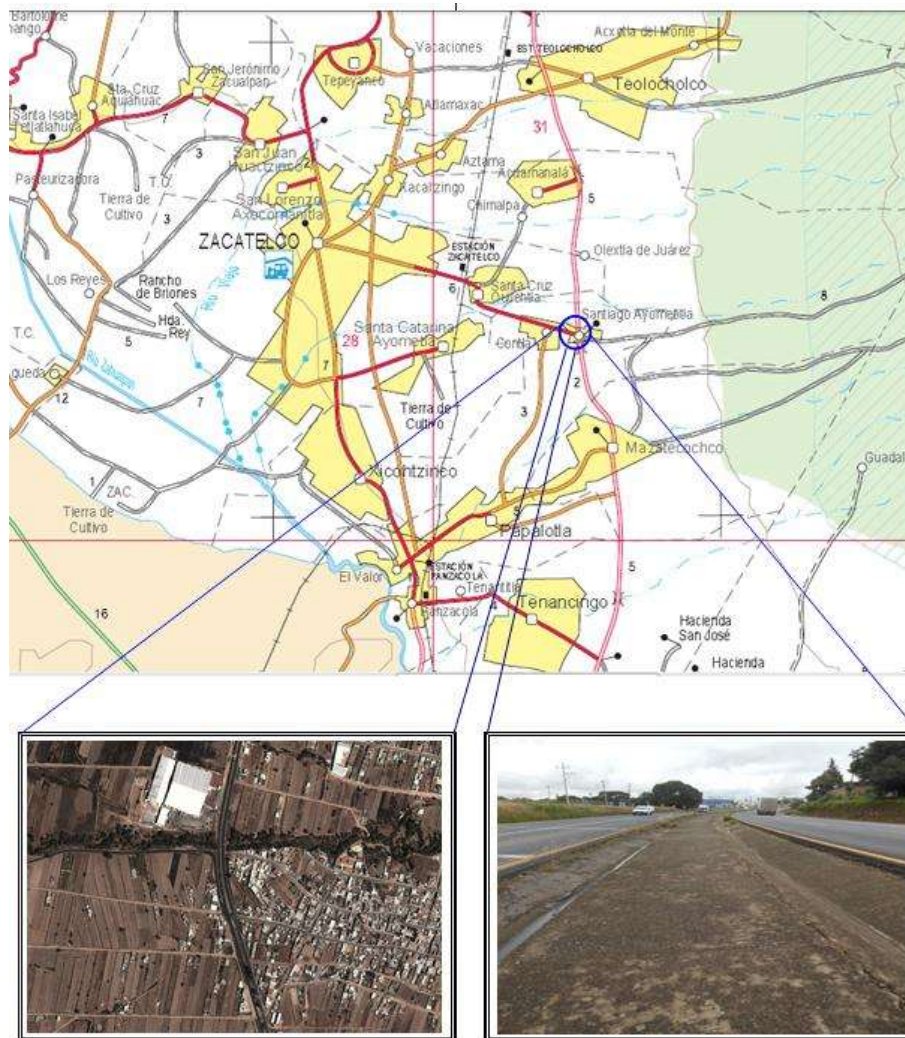


Figura 23. Localización del punto de conflicto (Google Earth)

La intersección se ubica en la combinación de una curva de 2° en el alineamiento horizontal y una curva en columpio del alineamiento vertical. La velocidad de máxima permitida por el señalamiento es de 60 km/h.

La clasificación técnica de ésta carretera es A4 conforme al aviso de clasificación de carreteras, razón por la cual se permite la circulación de todo tipo de vehículos con los máximos pesos y dimensiones.

La carretera principal Puebla – Santa Ana Chiautempan, cuenta con una sección de dos carriles por sentido de circulación, con acotamiento (solo en el sentido 1) y faja separadora central. La vialidad secundaria a Zacatelco, cuenta con un carril por sentido de circulación y no cuenta con acotamientos. Los movimientos direccionales que los usuarios efectúan en esta intersección; así como, los volúmenes vehiculares que realizan dichos movimientos, se muestran en la figura No. 24.

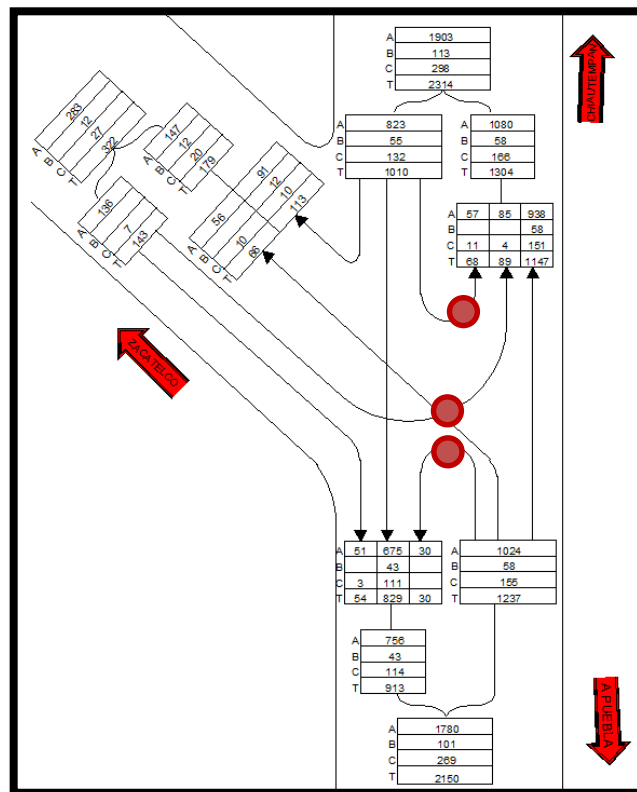


Figura 24. Movimientos direccionales con volúmenes de tránsito horarios (Elaboración propia)

La problemática existente en la zona es la siguiente: la intersección presenta problemas importantes en cuanto a operación, derivado del elevado intercambio de flujo vehicular entra la carretera Puebla – Chiautempan y el ramal a Zacateco, en ésta intersección se presentan los movimientos direccionales representados en la figura 24 sin que la intersección cuente con la geometría adecuada para realizar dichos movimientos; aunado a lo anterior, la vialidad principal se ubica en un columpio en corte, por lo cual la vialidad secundaria se encuentra a diferente nivel, por lo cual no se liga inmediatamente con la vialidad principal, sino hasta que alcanzan la misma elevación gaza en la rama sur, mostrado en la figura 25.

Los movimientos de retorno Chiautempan – Chiautempan y Puebla – Puebla; así como, las vueltas izquierdas Puebla – Zacatelco y Zacatelco - Chiautempan se realizan en una abertura en la faja separadora central de la vialidad principal ubicada en la rama sur de la intersección, como se muestra en la siguiente figura:

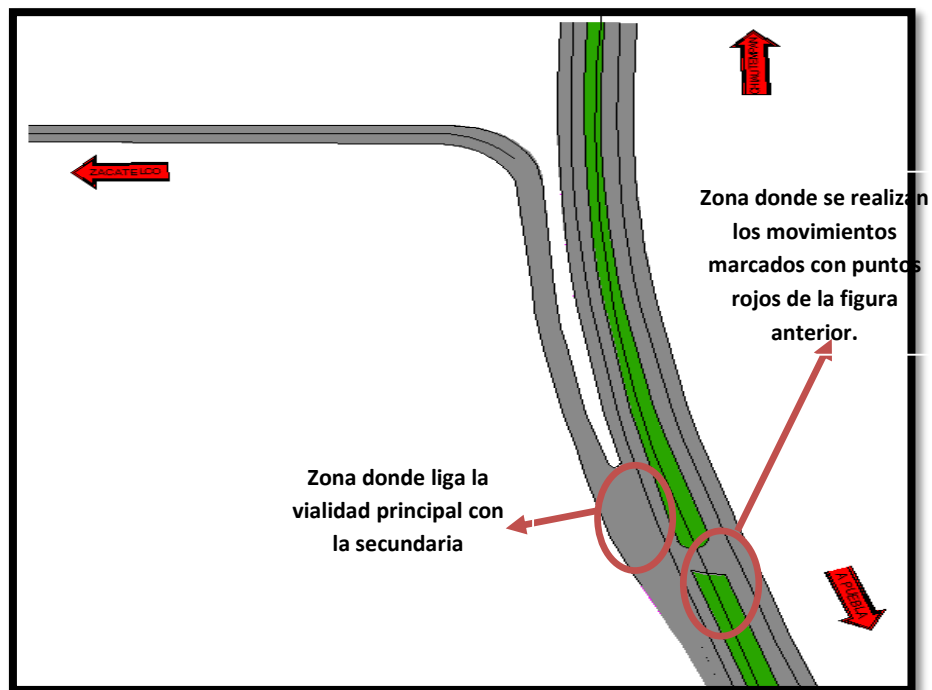


Figura 25. Problemática existente en la intersección (Elaboración propia)

Al realizarse los movimientos direccionales explicados con anterioridad en la abertura de la faja separadora central, generan demoras en los usuarios de largo itinerario y accidentes por choques. Para solucionar esta problemática se plantan a continuación dos alternativas de solución.

5.1.1 Alternativa de solución No. 1

Para separar el tránsito de largo itinerario del local, se propone:

- La construcción de un Paso Inferior Vehicular que separará la vialidad secundaria del tránsito de largo itinerario, con el cual se realizarán los movimientos Puebla – Zacatelco y Zacatelco – Chiautempan.
- Para realizar los movimientos de retorno de Chiautempan – Chiautempan y Puebla – Puebla, se construirá una glorieta en la rama Zacatelco.
- Construcción de gazas para las vueltas derechas Chiautempan – Zacatelco y Zacatelco – Puebla
- Cerrar con defensa metálica la abertura en la faja separadora central para evitar que se sigan realizando movimientos direccionales en esta zona.

Ésta solución se puede observar en la siguiente figura:



Figura 26. Alternativa de solución No. 1 (Elaboración propia)

Las desventajas que presentan esta solución es la adquisición del derecho de vía para las dos gasas por construir y el poco espacio para la construcción de la glorieta.

5.1.2 Alternativa de solución No. 2

Para separar el tránsito de largo itinerario del local, se propone:

- La construcción de un Paso Superior Vehicular (PSV) para darle circulación continúa a los vehículos de largo itinerario.
- Los movimientos de retorno Chiautempan – Chiautempan y Puebla – Puebla se realizaran a nivel bajo el PSV.
- Se elevará y ampliara la vialidad principal para para realizar calles laterales para las vueltas derechas Chiautempan – Zacatelco y las vueltas izquierdas Puebla – Zacatelco. Al elevar la vialidad, se ligara a nivel con la vialidad secundaria y con esto no se afectara el gasoducto de 8" paralelo a la vialidad principal.

- Cerrar con defensas metálicas la abertura en la faja separadora central para evitar que se sigan realizando movimientos direccionales en esta zona.

Esta solución se puede observar en las dos siguientes figuras:

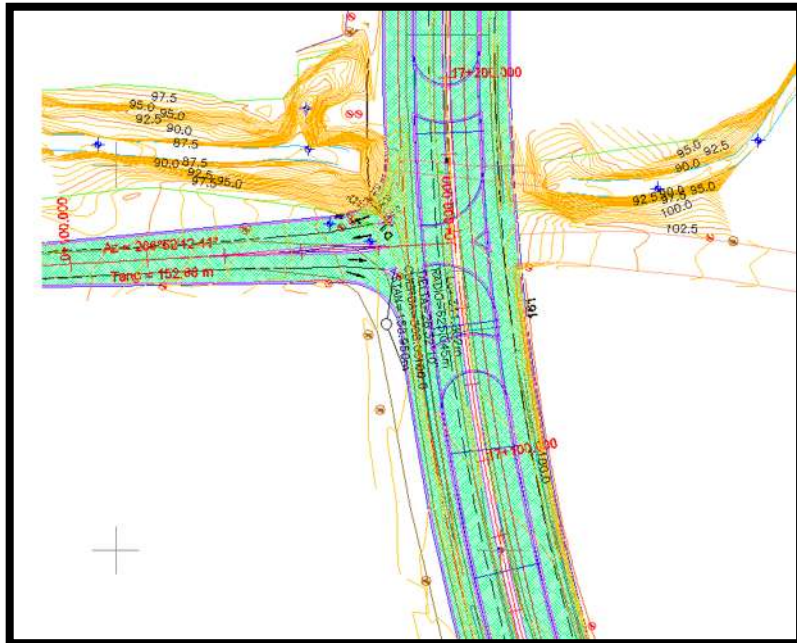


Figura 27. Alternativa de solución No. 2 (Elaboración propia)

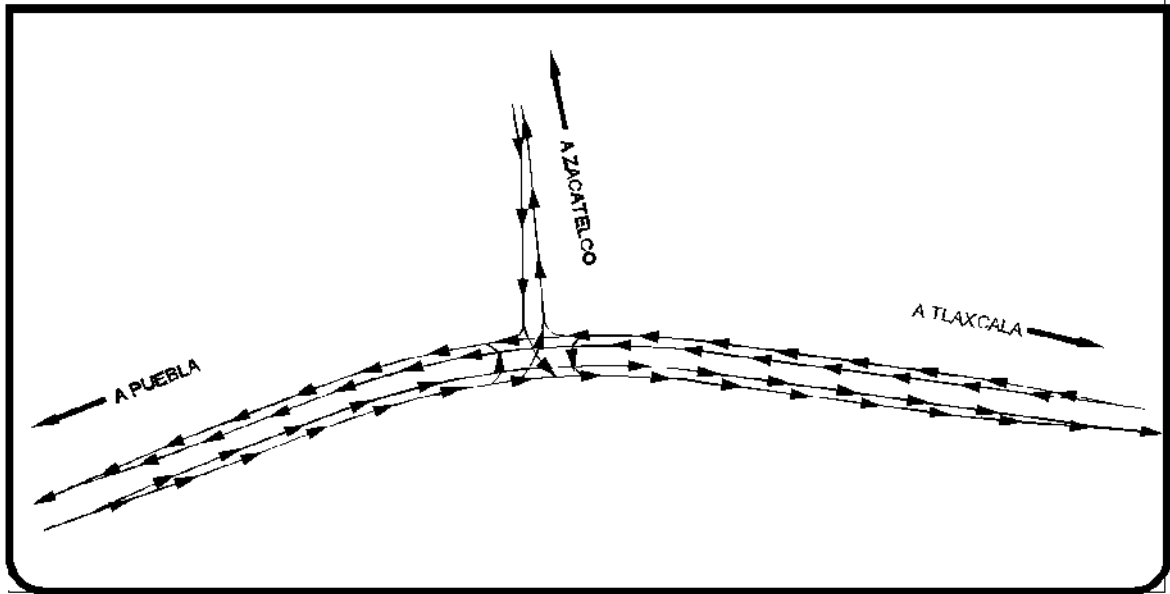


Figura 28. Diagrama de movimientos direccionales Alternativa No. 2 (Elaboración Propia)

Finalmente, de las dos alternativas de solución, la que se llevó a nivel de proyecto ejecutivo fue la alternativa número 2, ya que en esta no se requiere de la adquisición de derecho de vía adicional al existente; se tomó esta decisión por la experiencia que tiene la SCT en la adquisición de derecho de vía, el cual es un proceso tardado y costoso.

En la siguiente figura se muestra la sección de la vialidad principal al separar los niveles en la solución definitiva.

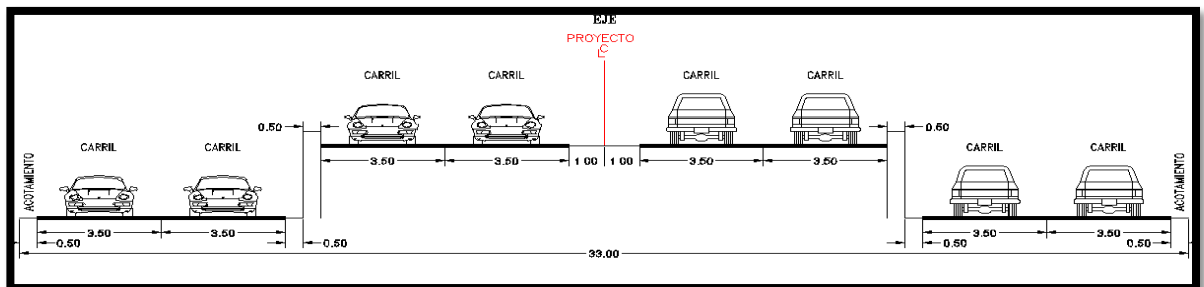


Figura 29. Sección de construcción de la vialidad Puebla – Santa Ana Chiautempan (Elaboración propia)

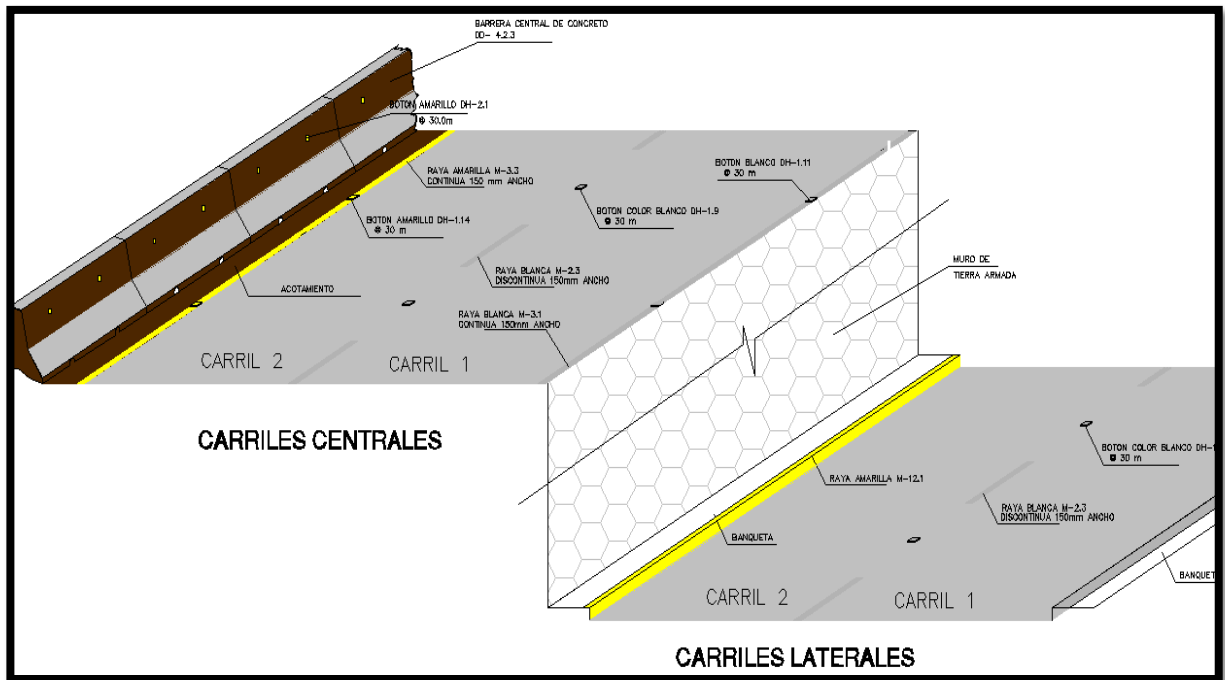


Figura 31. Señalamiento horizontal. (Elaboración propia)

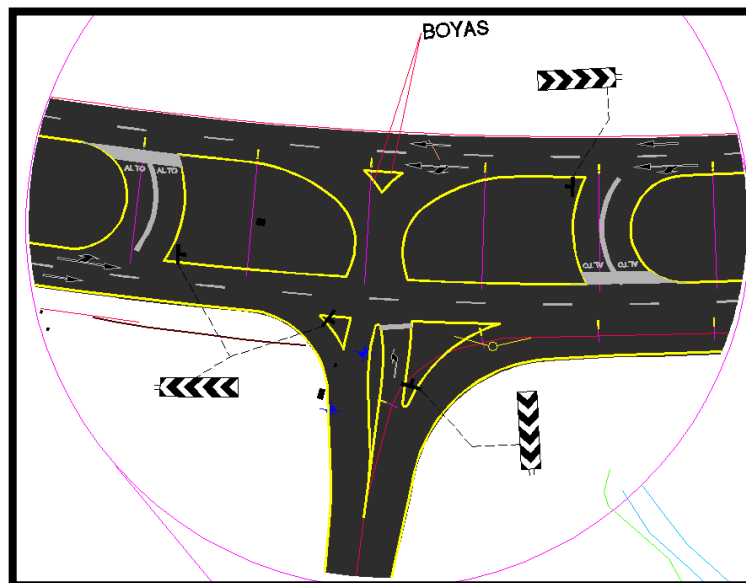


Figura 32. Señalamiento horizontal bajo la estructura (Elaboración propia)

5.2 Punto de conflicto intersección “Rayón”

El área de estudio se encuentra ubicado el Km. 33+500 de la Carretera Entronque Jaritas – Cd. Hidalgo, en el estado de Chiapas, en las coordenadas UTM (X=587,901 e Y=1,617,492), es una intersección en curva en la carretera principal.



Figura 33. Ubicación de la intersección en conflicto (elaboración propia)

En la actualidad en el tramo circular diariamente 2278 vehículos con la clasificación vehicular siguiente: A = 84.0%, B = 5.1%, C = 4.3%, C3 = 2.0%, T3-S2 = 3.5%, T3-S3=0.7% y T3-S2-R4 = 0.4%. El registro de movimientos direccionales de Ciudad Hidalgo a Rayón actualmente presenta una magnitud de 751 vehículos al día y de Ciudad Hidalgo a Jaritas de 349 vehículos por día. Este volumen vehicular está causando un número elevado

de accidentes por la falta de carriles de incorporación (aceleración y deceleración) adecuados a las necesidades de los usuarios, así como al diseño adecuado de enlaces y/o retornos en la intersección, los movimientos direccionales en esta intersección se presentan en la siguiente figura, los cuales representan volúmenes en 24 horas.

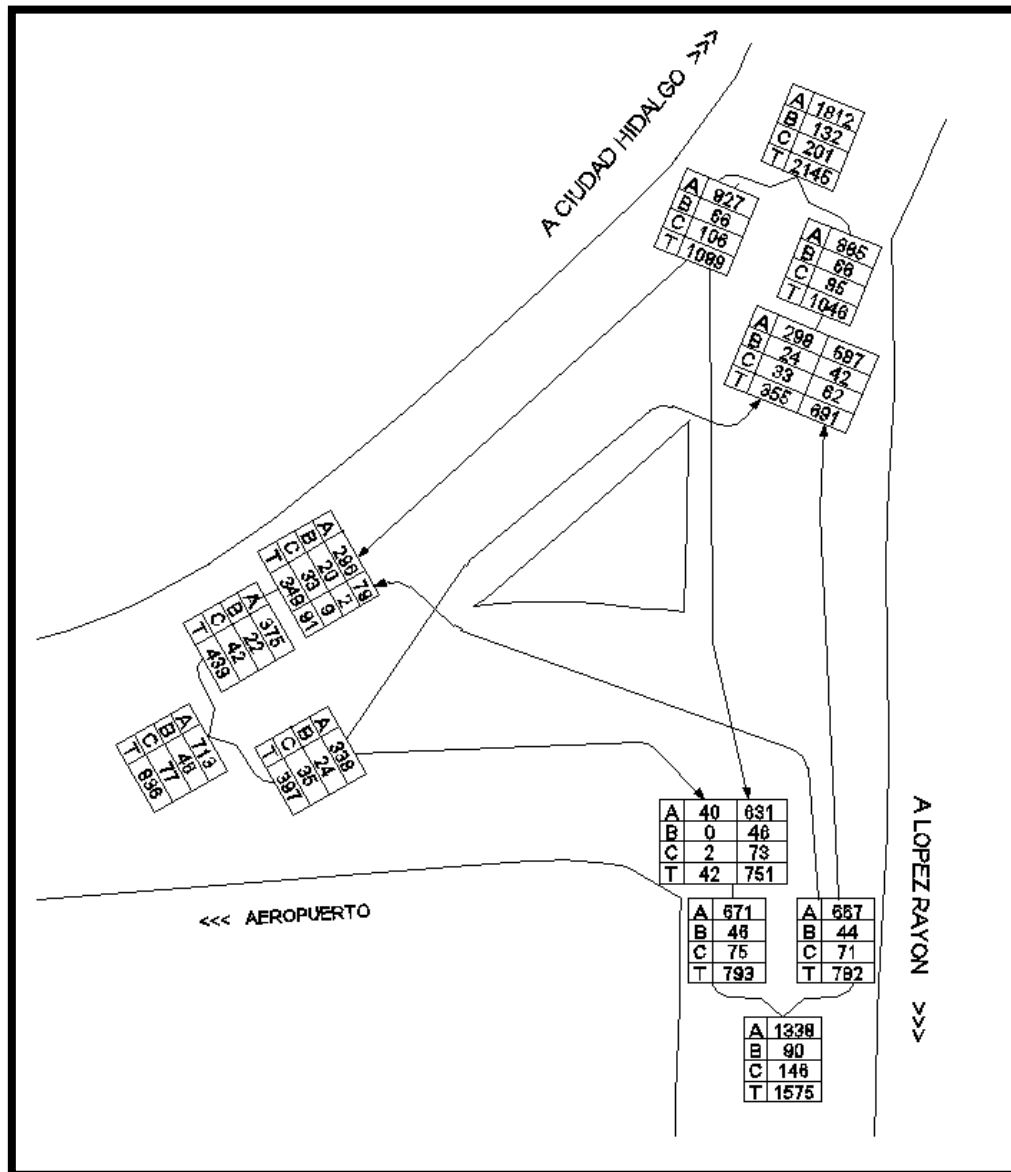


Figura 34. Movimientos direccionales en el entronque Rayón (Elaboración Propia)

Esta intersección cuenta con un ancho mínimo, y sin carril de incorporación a la carretera, en ambos sentidos de Ciudad Hidalgo A Ignacio López Rayón y viceversa por lo que los accidentes son muy frecuentes, sin embargo, se ha optado por efectuar un mejoramiento en las características geométricas con las especificaciones técnicas que marca la SCT, cumpliendo con las características adecuadas, considerando un TDPA de 2278.

La clasificación técnica de ésta carretera es tipo D conforme al aviso de clasificación de carreteras, por esta situación, los máximos vehículos autorizados que se permite circular por esta carretera son los tipos C3 y con un largo máximo de 12.5 m, conforme a lo indicado en la tabla 4 del presente documento.

La carretera principal, cuenta con una sección de 7 m. con un carril por sentido de circulación sin y las vialidades secundarias a Rayón son de 7 m de corona con un carril por sentido de circulación sin acotamientos.

El entronque se localiza en una zona de dos curvas horizontales consecutivas, razón por la cual los vehículos que circulan por la vialidad principal no tienen la visibilidad para detectar a los vehículos que se incorporan provenientes de Rayón, produciéndose choques por alcance; asimismo, los vehículos que se desincorporan de la vialidad principal con destino hacia Rayón, realizan un movimiento de vuelta izquierda en curva y chocan de frente con los vehículos que circulan en sentido contrario.

En este punto de conflicto se propusieron dos alternativas para reducir los accidentes, las cuales se presentan a continuación:

5.2.1 Alternativa de solución No. 1

El proyecto consiste en la construcción de un Paso Vehicular Superior (PSV) del km. 33+000 al 33+800 de la Carretera Jaritas – Cd. Hidalgo, con una longitud de 800 metros en un solo sentido, apoyado a base de muros mecánicamente estabilizados, cimentación a base de pilotes, subestructura con columnas arriostradas, superestructura de travesaños presforzados y losa de concreto armado. Proyectando por debajo de la estructura el camino que comunica a Ciudad Hidalgo con Ignacio López Rayón y localidades vecinas, con una longitud de 500 metros con circulación en dos sentidos. Por otra parte, un desvío en el sentido que va de Ciudad Hidalgo a Jaritas con una longitud de 520 metros en un sentido. Además de pavimentación en el acceso de Jaritas a Ignacio López Rayón de 370 metros de longitud con dos sentidos de circulación, esta solución se puede observar en la figura 35. Esta solución elimina la totalidad de los entrecruzamientos.

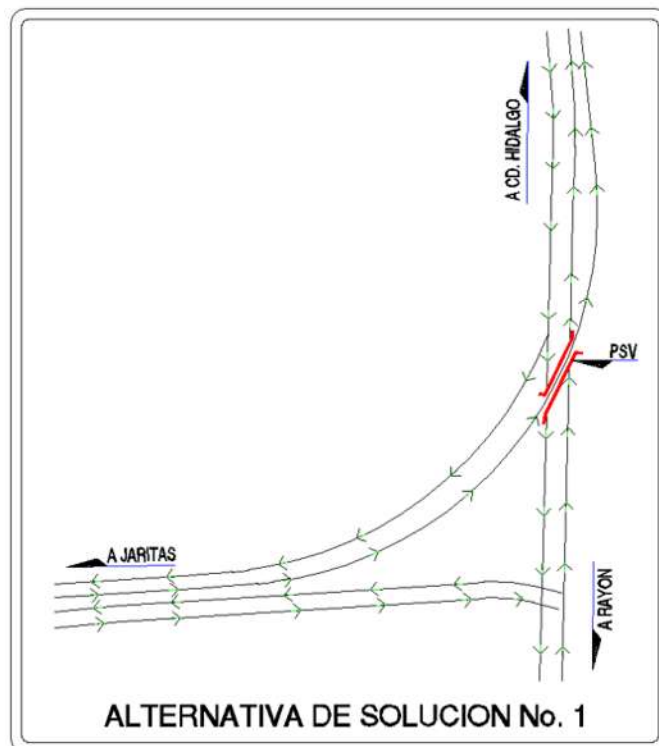


Figura 35. Alternativa de solución No. 1 (Elaboración Propia)

5.2.2 Alternativa de solución No. 2

Mejoramiento del proyecto geométrico del entronque a nivel y cambio de trazo en el sentido Ciudad Hidalgo a Ignacio López Rayón. Además de pavimentación en el acceso de Jaritas a Ignacio López Rayón. Esta solución por ser a nivel no elimina los entrecruzamientos que causan los conflictos, sin embargo, da mayor visibilidad para prevenir los accidentes.



Figura 36. Alternativa de solución No. 2 (Elaboración Propia)

Finalmente, de las dos alternativas de solución, la que se llevó a nivel de proyecto ejecutivo fue la alternativa número 1, ya que, en esta, se eliminan

los entrecruzamientos de la rama a Cd. Hidalgo, que es la rama con mayor número de accidentes.

La figura 37, muestra la solución definitiva en la rama norte, con la construcción de la estructura se eliminan los todos los entrecruzamientos, quedando solo una incorporación de los vehículos provenientes de la estructura, lo cual se soluciona con un carril de incorporación con la longitud adecuada.

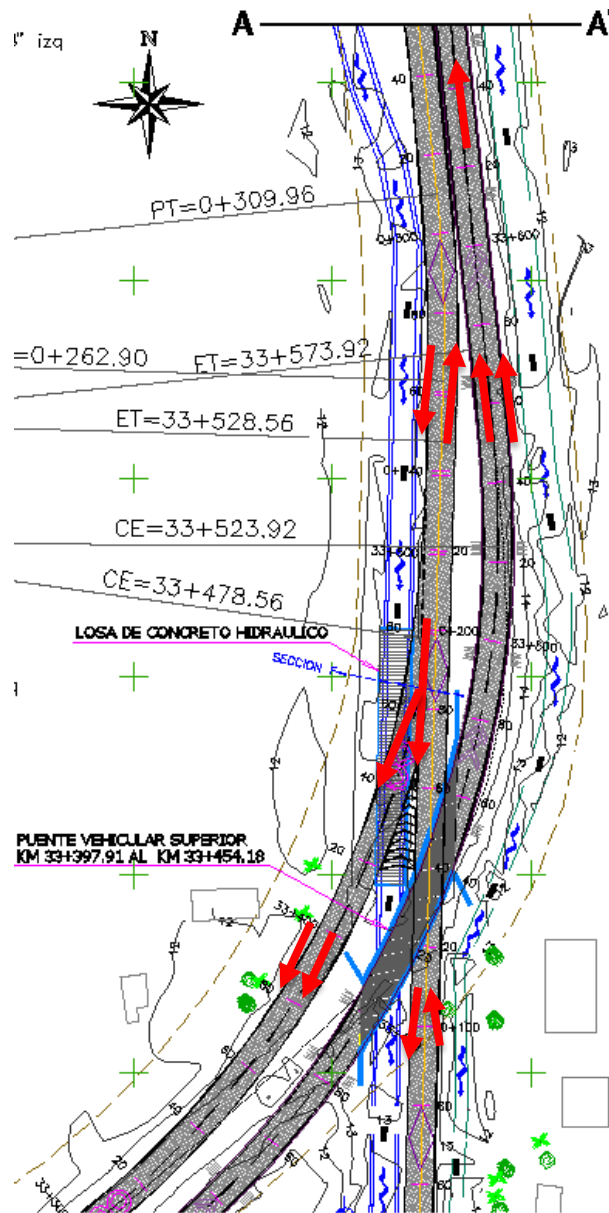


Figura 37. Solución definitiva en la rama Norte a Ciudad Hidalgo (Elaboración Propia)

La rama Oeste, se resolvió con carriles de incorporación, señalamiento y boyas metálicas para separar los flujos vehiculares, con esto solo se genera un entrecruzamiento entre los vehículos provenientes de Rayón y los de largo itinerario que van a Cd. Hidalgo. Esta solución se muestra en la siguiente figura:

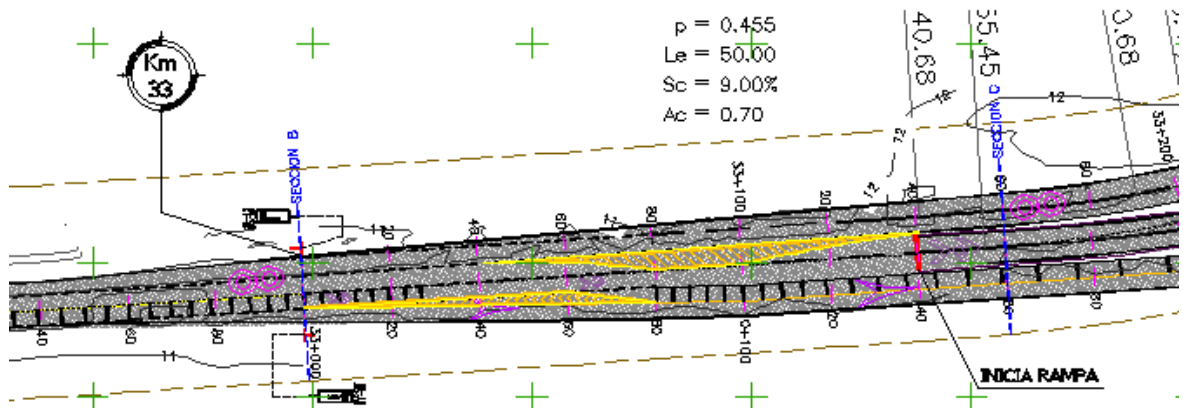


Figura 38. Solución definitiva en rama Oeste (Elaboración Propia)

5.3 Punto de conflicto intersección boulevard Pijjiapan

El área de estudio se encuentra ubicado el Km. 10+200 de la Carretera Tapanatepec – Talismán, en el estado de Chiapas, en las coordenadas UTM (X=477,964 e Y=1,734,596) del cuerpo 1, esta zona es donde la carretera cruza por la zona urbana de la localidad de Pijjiapan.

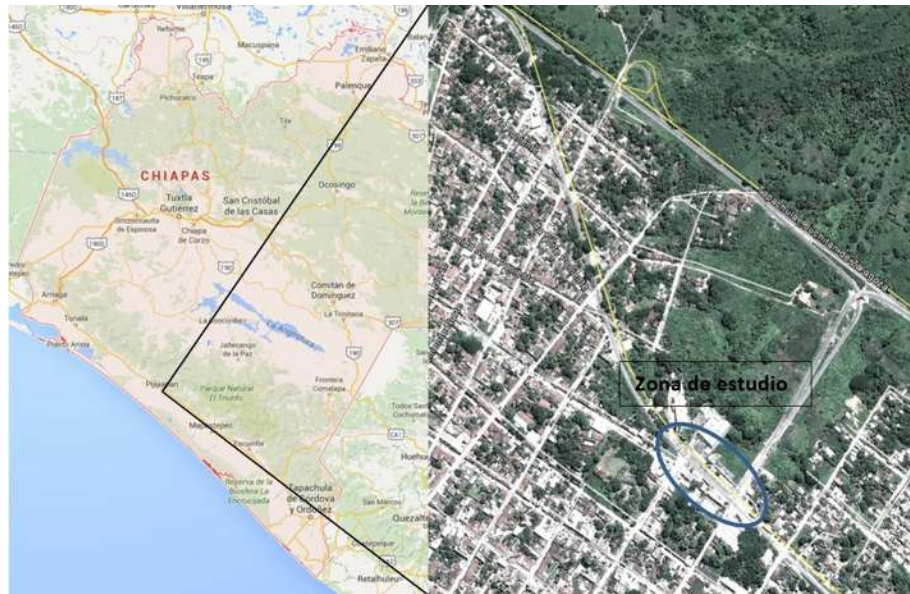


Figura 39. Localización del punto de conflicto (Elaboración Propia)

El tramo presenta la siguiente geometría: ancho de corona de 22.0 m, con acotamientos externos 2.50 m. e internos de 1.50 m por sentido de circulación,

El TDPA conforme a lo publicado en los libros de datos viales es igual a 6,795 con una clasificación vehicular de: A = 83%, B = 5% y C = 12%.

La clasificación técnica de ésta carretera es tipo ET4 conforme al aviso de clasificación de carreteras, por esta situación se permite la circulación por esta de todos los vehículos con los máximos pesos y dimensiones.

La problemática que se presenta en esta zona es la siguiente: el cuerpo 1 de la carretera, es de dos carriles sin acotamientos, la cual al llegar a la zona urbana de Pijijiapan, de un solo sentido de circulación se convierte a dos sentidos de circulación, combinándose con los movimientos locales de la zona, aunado a que existe una terminal de autobuses que incrementa los entrecruzamientos en esta zona, en la siguiente figura se muestran los movimientos direccionales de la zona.

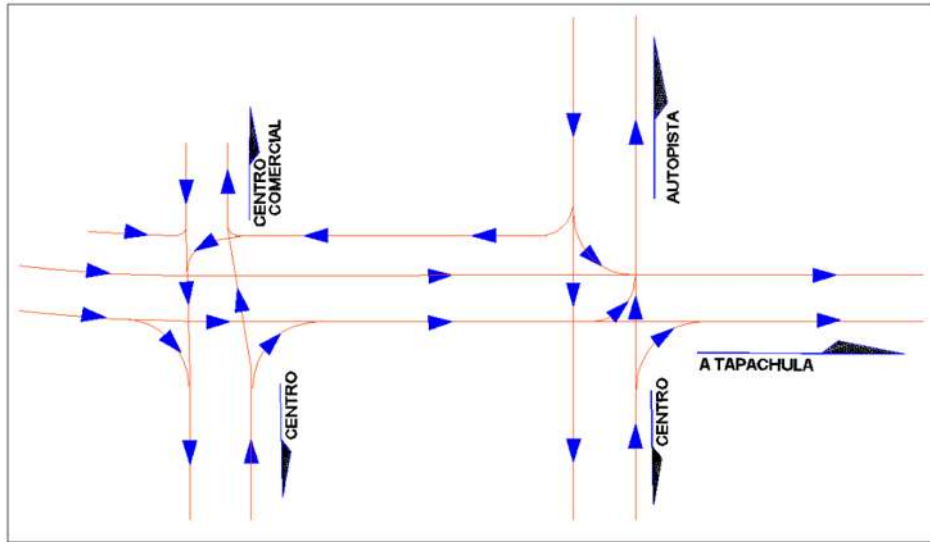


Figura 40. Movimientos direccionales que se presentan en la intersección (Elaboración Propia)

Y en la figura 41, se muestran los movimientos direccionales con sus volúmenes horarios, obtenidos de los aforos de tránsito de la intersección.

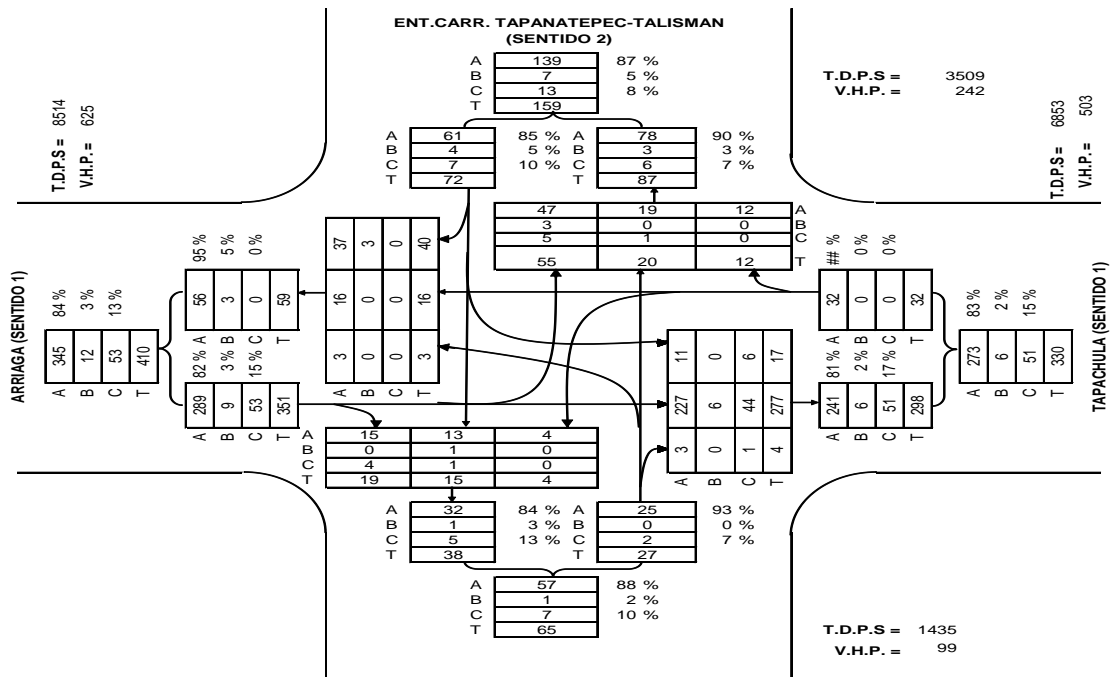


Figura 41. Movimientos direccionales en la zona en conflicto (Elaboración Propia)

5.3.1 Alternativa de solución

Este punto conflicto únicamente se presentó una alternativa de solución, mediante la construcción de un Paso Superior Vehicular tipo viaducto, compuesto de una estructura con cinco claros, con el objetivo de separar los flujos vehiculares de largo itinerario de los movimientos locales, para evitar afectaciones a las propiedades, establecimientos y casas existentes en la zona del entronque se propusieron muros de tierra mecánicamente estabilizada para los accesos de la estructura, el proyecto contempla el tránsito con vehículos tipo T3-S2-R4, para velocidad de proyecto de 80 km/h. Ésta solución se observa en las siguientes figuras.

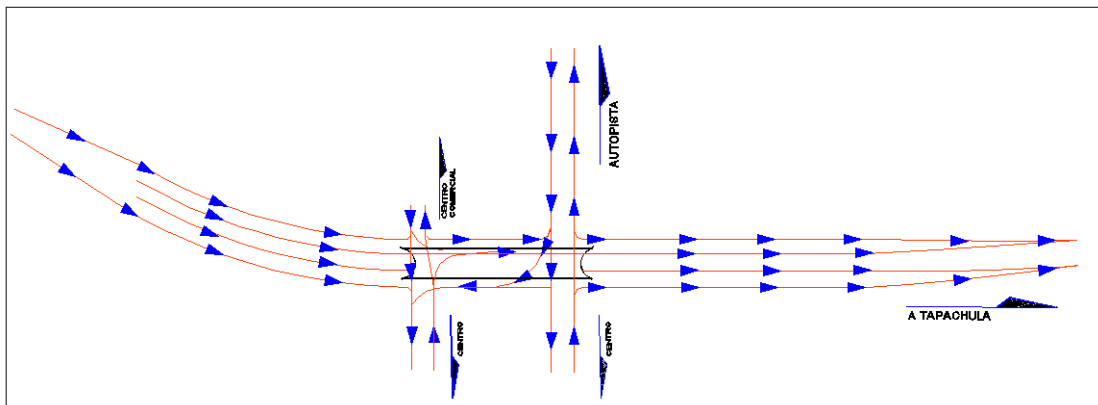


Figura 42. Movimientos direccionales al emplear un PSV como solución (Elaboración Propia)

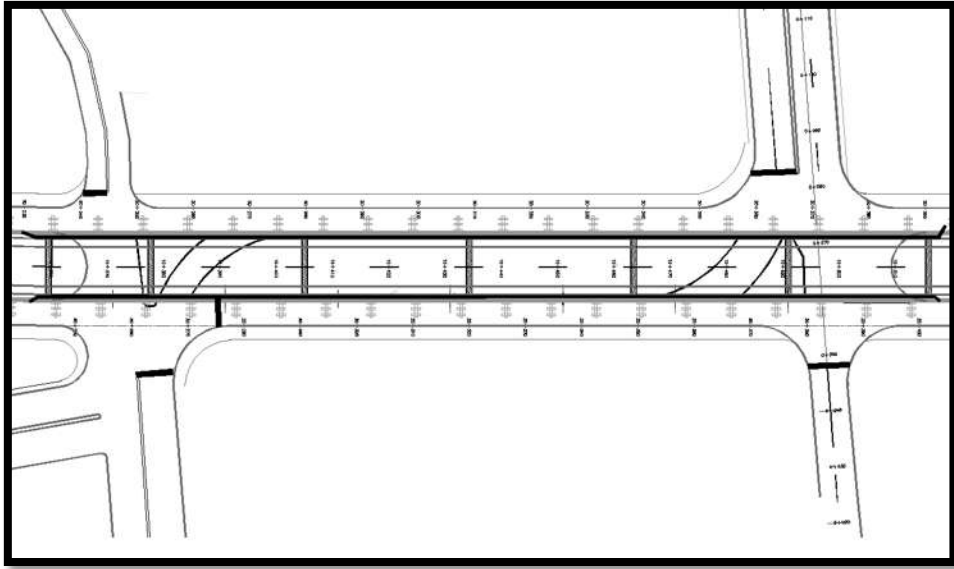


Figura 43. Solución definitiva. (Elaboración Propia)

El señalamiento definitivo para esta solución, se muestra en la siguiente figura:

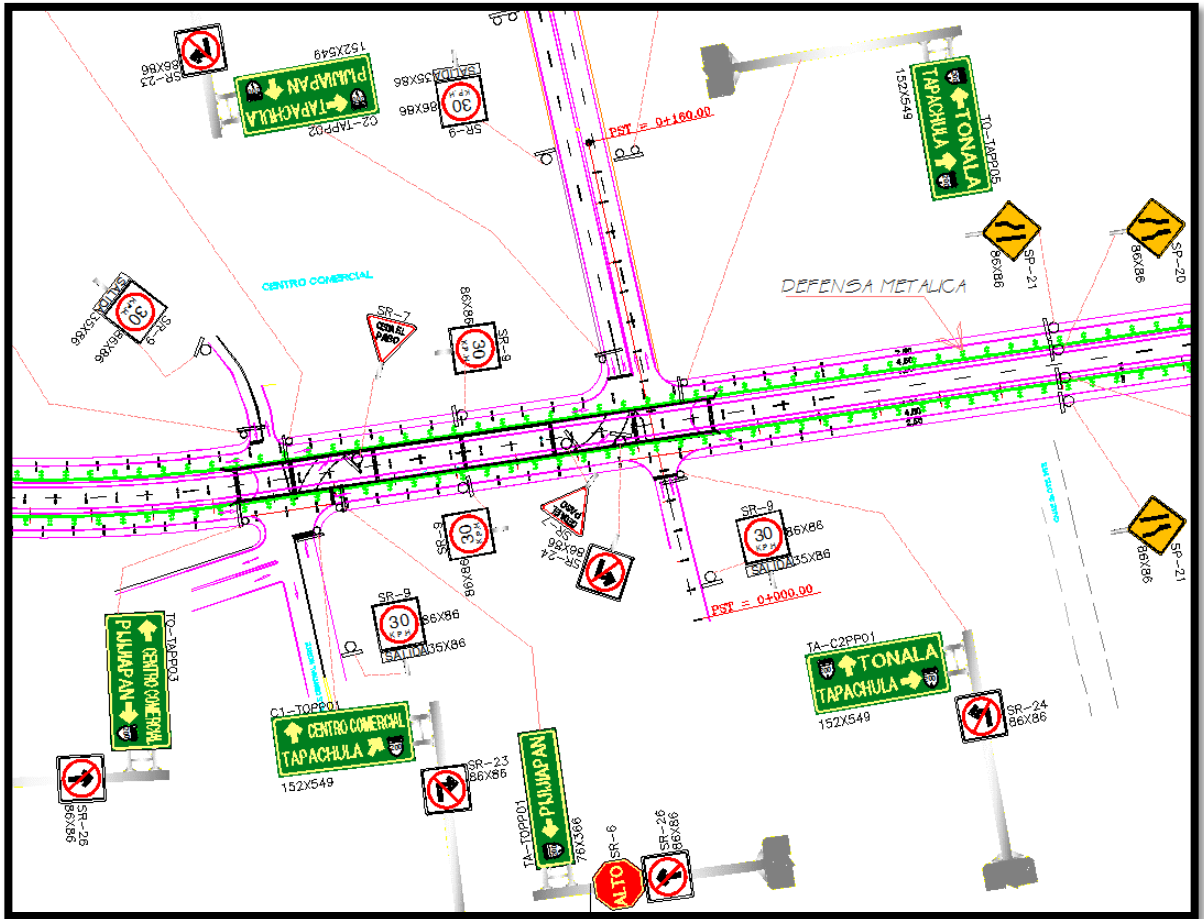


Figura 44. Señalamiento definitivo (Elaboración Propia)

5.4 Punto de conflicto intersección Hidalgo del Parral, Chihuahua

El área de estudio se encuentra ubicado el Km. 27+700 de la Carretera Hidalgo del Parral – Jiménez en el estado de Chihuahua ruta MEX-45, en las coordenadas UTM (X=459,143 e Y=2,985,086), en esta zona se ubican dos entronques en T consecutivos con una distancia de 200 metros de separación entre ellos. En la figura siguiente se muestra la localización de esta zona.

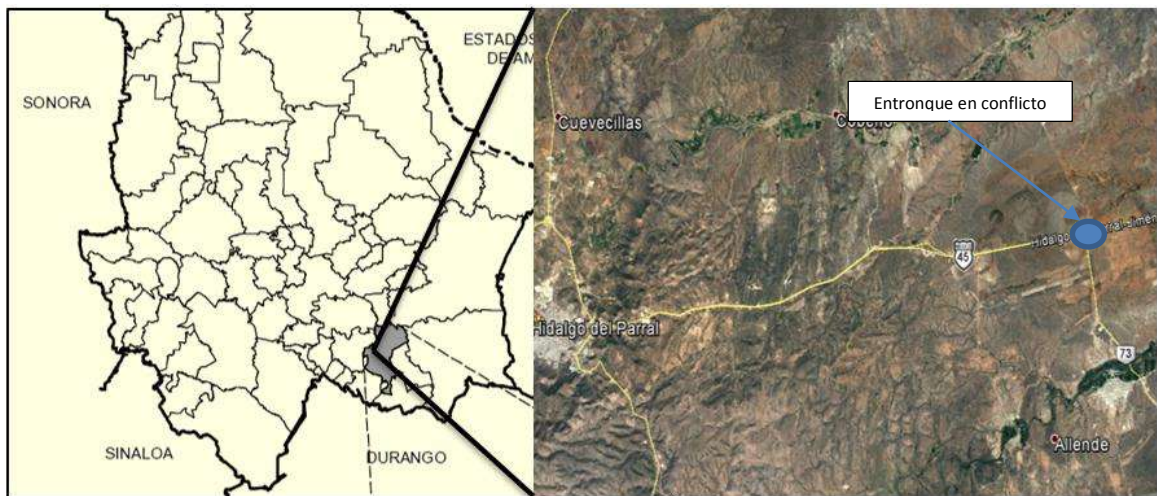


Figura 45. Localización del Punto de Conflicto (Elaboración propia)

El tramo presenta la geometría indicada en las figuras 46, 47 y 48.

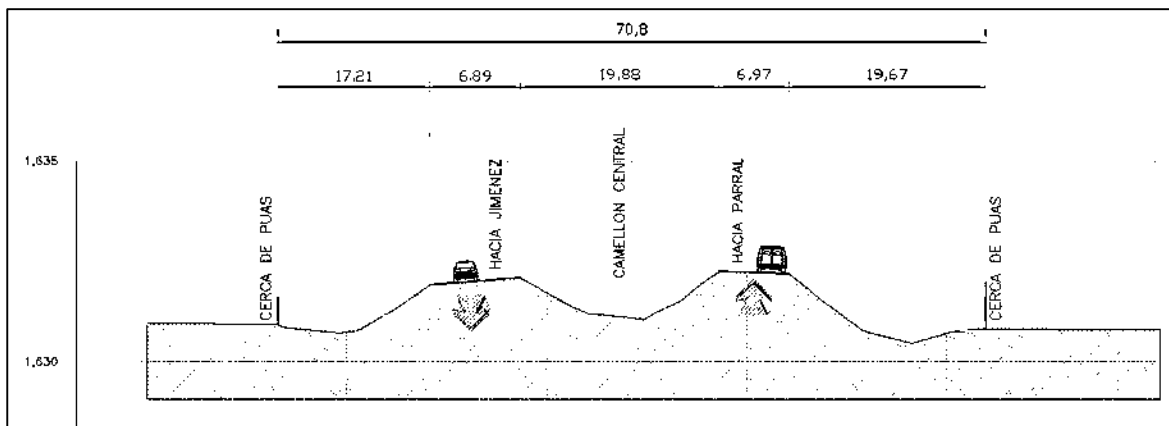


Figura 46. Sección geométrica de la vialidad principal (Elaboración propia)

La carretera Federal 45 “Hidalgo del Parral – Jiménez” es una carretera de dos carriles por sentido de circulación con dos cuerpos separados entre sí por una faja separadora central de 20.0 metros de ancho.

La carretera hacia Valle de Allende (ramal hacia el sur) es una carretera de dos carriles de 3.50 metros de ancho cada uno, que constituyen una calzada de 7.0 metros de ancho en total

El ramal hacia Estación Morita es un camino estatal revestido, cuya orientación es hacia el norte. Tiene un ancho de corona de 7.0 metros. Se ubica 200 metros hacia el oriente del entronque que se forma entre la carretera Federal 45 y el ramal hacia Valle de Allende.

El TDPA conforme a lo publicado en los libros de datos viales es igual a 7,409 con una clasificación vehicular de: A = 83.6%, B = 2.6% y C = 13.8%.

La clasificación técnica de ésta carretera es tipo ET4 conforme al aviso de clasificación de carreteras, por esta situación se permite la circulación por esta de todos los vehículos con los máximos pesos y dimensiones. En la siguiente figura se muestra la planta general de la intersección.

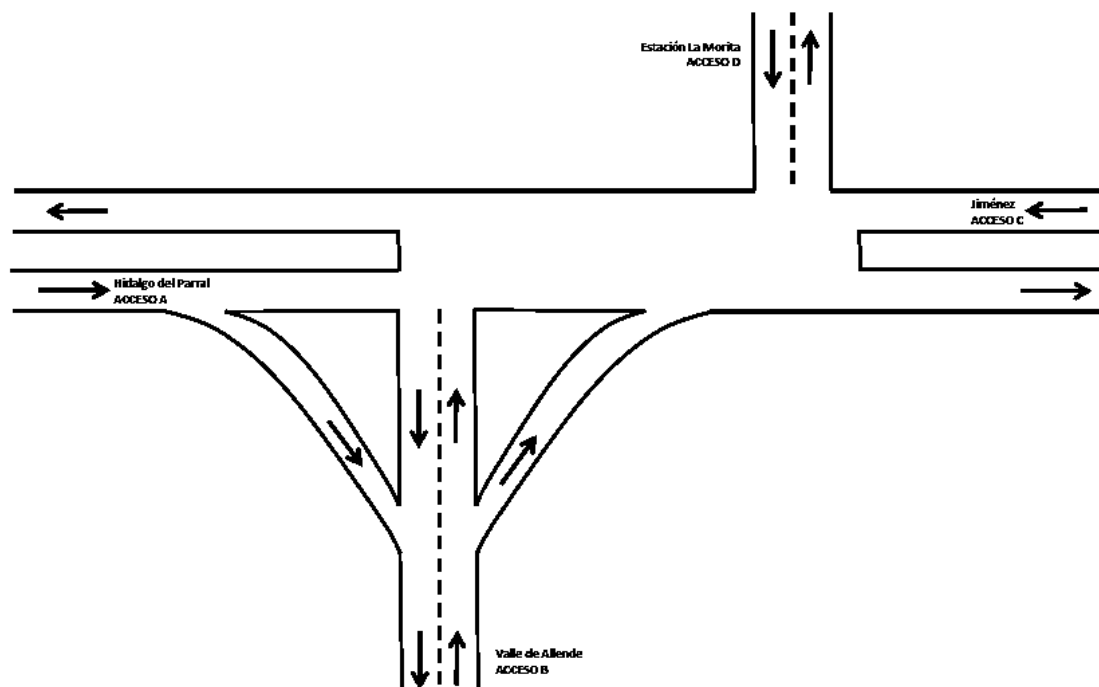


Figura 47. Planta general de la intersección (Elaboración Propia)

La problemática que se presenta en esta zona es la siguiente: el entronque se generan entrecruzamiento para realizar los siguientes movimientos direccionales:

Valle Allende – Estación Morita

Estación Morita – Valle Allende

Hidalgo del Parral – Estación Morita

Valle Allende – Hidalgo del Parral

Estación Morita – Jiménez

Jimenez – Valle de Allende

Hidalgo del parral – Valle de Allende

En la siguiente figura se muestran los volúmenes vehiculares de los movimientos direccionales desarrollados en esta intersección.

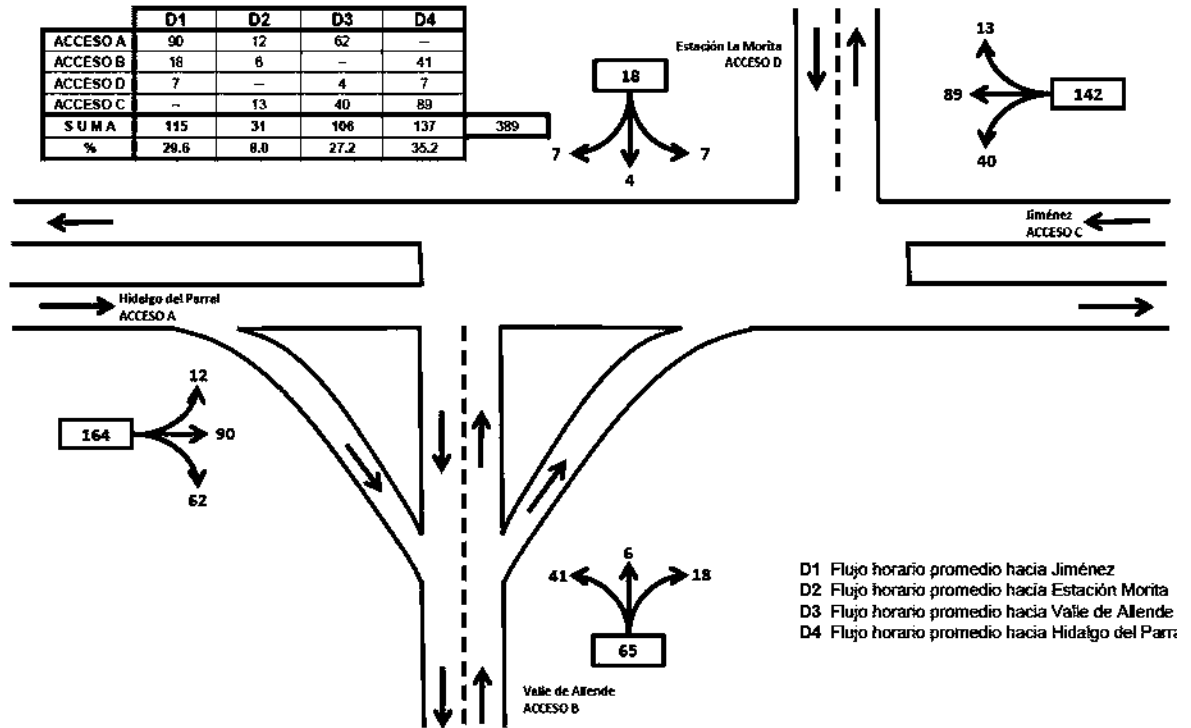


Figura 48. Movimientos direccionales de la intersección (Elaboración Propia)

5.4.1 Alternativas de solución

Se planteó una alternativa mediante la construcción de un PSV para que los vehículos de la vía principal circularan sin interrupciones y los movimientos hacia los ramales se realizaran por calles laterales y a nivel por debajo del puente; sin embargo, esta solución resulta muy costosa debido a que la separación entre las vialidades secundarias es muy larga y se requeriría de un PSV mayor de 500 m de largo, razón por la cual se desechó dicha solución

La segunda alternativa de solución es mediante la construcción de dos Pasos Inferiores Vehiculares tipo herradura sobre la vialidad principal, con lo cual se genera un circuito para la circulación hacia todos los destinos y se elimina la totalidad de entrecruzamientos, además de que se utilizan dichas estructuras para realizar los movimientos de retorno para la vialidad principal. Todos los movimientos direccionales en conflicto, deberán usar las estructuras para no causar conflictos. Esta solución se presenta en la figura No. 49 y es la que se llevó a proyecto ejecutivo.



Figura 49. Alternativa de solución mediante dos PIV (Elaboración Propia)

En la siguiente figura se presenta el proyecto de señalamiento definitivo del proyecto ejecutivo

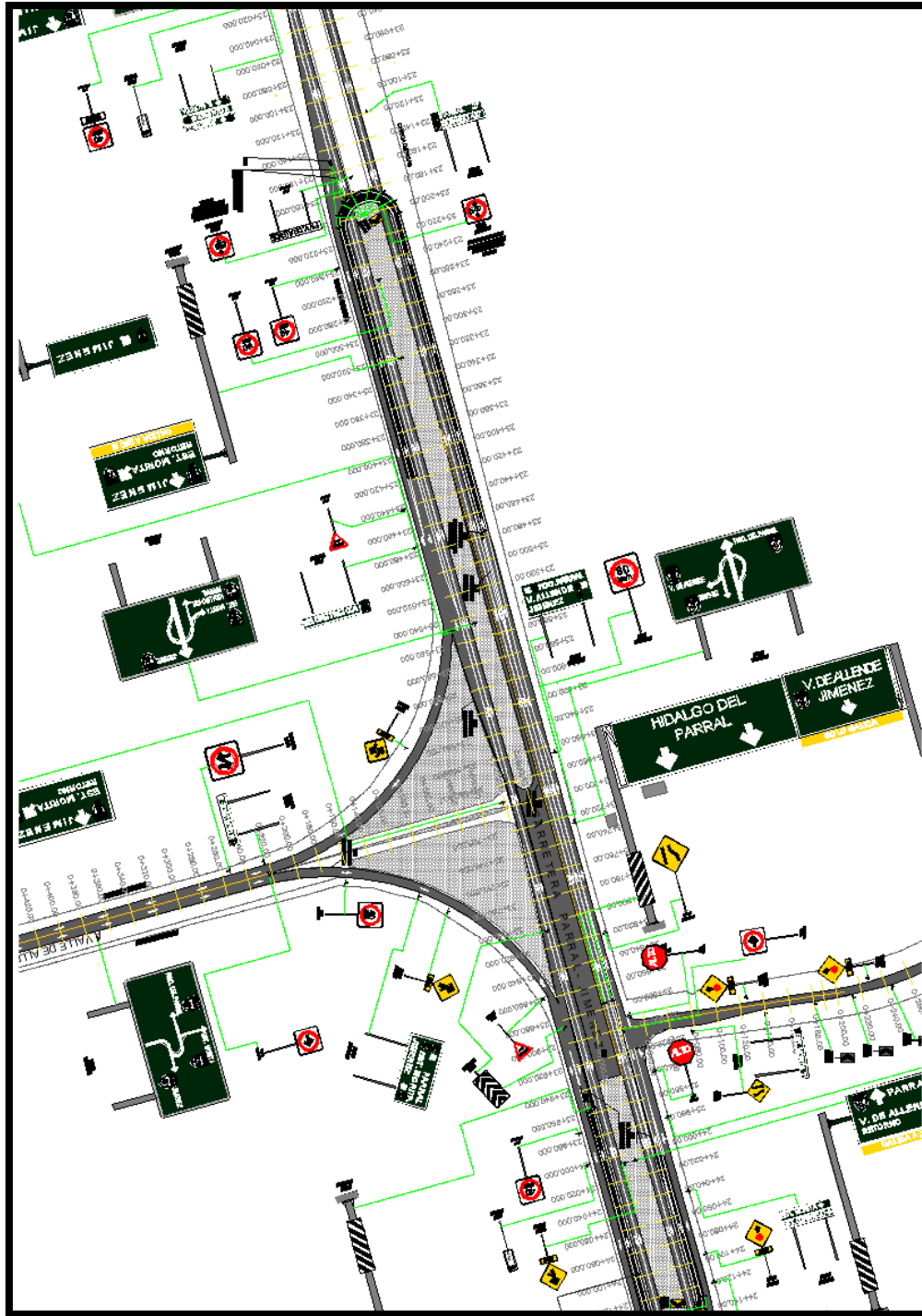


Figura 50. Señalamiento definitivo de la intersección (Elaboración Propia)

CAPÍTULO 6. Conclusiones y Recomendaciones

El incremento poblacional en las zonas aledañas a las carreteras ocasiona accesos irregulares a lo largo de las carreteras federales libres de cuota, estos accesos se dan mediante intersecciones que carecen de elementos geométricos para que los vehículos con las máximas dimensiones puedan circular con seguridad por estas intersecciones, conforme aumenta la demanda de vehículos que utilizan las intersecciones, estas se convierte en un problema que causa interferencias en los usuarios y en el peor de los casos accidentes viales. En una primera instancia se disminuye la siniestralidad en las intersecciones con señalamiento y dispositivos para el control del tránsito, pero cuando el tráfico aumenta y con ello los accidentes, es necesario una solución más integral mediante soluciones a desnivel.

Las intersecciones a desnivel en las carreteras de México, son de gran importancia, como factor que determina la disminución en los costos de operación y tiempos de transporte de los usuarios; y su función más importante es en la seguridad vial, ya que mediante la implementación de estas soluciones se disminuyen o prácticamente desaparecen los accidentes de tránsito y aumentan el desarrollo económico. Sin embargo, debido a su alto costo inicial, su empleo se limita a aquellos casos en que pueda justificarse ese costo.

A continuación, se enlista las recomendaciones a implementar en una intersección a desnivel para que opere que brinde a los usuarios seguridad al transitar por esta:

1. El analista, recopilará información de campo y la información que considere pertinente, efectuando recorridos en todas las trayectorias y

verificara cualquier condición que afecte la operación de la intersección, formulando las respuestas a cualquier pregunta que pueda dar luz a las causas reales de los accidentes que ocurren en el sitio. Para con ello dar la mejor solución a los conflictos que se ocasionan en una intersección.

2. En la solución que se dé a desnivel, se procurará, hasta donde sea posible establecerla dentro del derecho de vía, ya que la adquisición de éste, es muy costosa y tardada
3. La solución contemplara los cierres de retornos irregulares o de cualquier movimiento prohibido en la zona para evitar que se sigan presentando accidentes, mediante la construcción de guarniciones e instalación de barreras metálicas o de concreto.
4. En las bifurcaciones que separan a las estructuras de las calles laterales, se instalarán amortiguadores de impacto, para evitar que los vehículos fuera de control se impacten en la guarnición y parapeto de la estructura.
5. Se construirán carriles de cambio de velocidad en todas las salidas y entradas de las intersecciones con la longitud y transición recomendadas en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Asimismo, para proteger los apoyos de los puentes de impactos de vehículos colocar barrera metálica en los lugares que se considere necesario.
6. Los anchos de calzada y radios de giro de las gasas y carriles de entrada o salida a las intersecciones se diseñarán en función del vehículo de proyecto, el cual dependerá de la clasificación técnica de carreteras.
7. El diseño del señalamiento tanto horizontal como vertical, será tan simple como sea posible, con el fin de que los conductores lo entiendan fácilmente, propiciando una mejor calidad en la operación.

Bibliografía

AASHTO. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* . Washington DC., EUA: AASHTO.

Días, A. M., Pérez, E. A., & Grajeda, E. F. (2004). Recomendaciones de actualización de algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras. *Publicación técnica número 244*. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.

Díaz, A. M. (2002). Algunas consideraciones de seguridad para el proyecto geométrico de carreteras. *Publicación Técnica Número 217*. San Fandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.

Dirección General de Carreteras. (2012). *Guía de Nudos Viarios*. España: Minsitro de Fomento España.

SAHOP. (1977). *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*. México, D.F., México.

SCT. (1984). *Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico Libro 2.01.01*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

SCT. (14 de 9 de 2012). *NORMA Oficial Mexicana NOM-037-SCT2-2012, Barreras de protección en carreteras y vialidades urbanas*. México, D.F., México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes..

SCT. (2014). *Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad Vial*. México, D.F.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes..

SCT. (14 de 11 de 2014). NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal. México, México: Diario Oficial de la Federación.

SCT. (2015). Diseño de Intersecciones a Desnivel. México, D.F., México. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Transportation Research Board. (2000). Highway Capacity Manual. EUA.