

**ESTADO DEL ARTE EN EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS
INTERSECCIONES VIALES TIPO DIAMANTE.**



PRESENTADO POR:

DEYBI LIBARDO MORA CASTAÑEDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2010**

**ESTADO DEL ARTE EN EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS
INTERSECCIONES VIALES TIPO DIAMANTE.**

PRESENTADO POR:

DEYBI LIBARDO MORA CASTAÑEDA

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR:

ING. HERNAN PORRAS DIAZ

CODIRECTOR:

ING. YERLY FABIAN MARTINEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2010**

AGRADECIMIENTOS

DEYBI LIBARDO MORA CASTAÑEDA

A mi familia y amigos que me apoyaron en todos estos años y me alentaron a seguir adelante pese a las dificultades, en especial a la mujer que durante los últimos tiempos me ha brindado los mejores momentos de mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
ALCANCE DE LOS OBJETIVOS	4
1. GENERALIDADES	5
1.1. INTERSECCIONES A NIVEL.....	5
1.1.1. Tipos de intersecciones a nivel.....	7
1.1.1.1. Intersecciones sin canalizar:	8
1.1.1.2. Intersecciones canalizadas:	9
1.1.1.3. Islas.....	12
1.1.1.4. Glorietas.....	14
1.2. INTERSECCIONES A DESNIVEL	16
1.2.1. Tipos de intersecciones a desnivel.....	17
1.2.2. Conflictos en intersecciones	22
1.2.2.1. Niveles de control de intersección.....	23
1.3. ANTECEDENTES DE LAS INTERSECCIONES TIPO DIAMANTE.....	25
2. INTERSECCION TIPO DIAMANTE (DIAMOND INTERCHANGE).....	31
2.1. GEOMETRIA.....	31
2.1.1. Geometría General	31
2.1.2. Geometría de los carriles.....	31
2.1.2.1. Carriles de giro en U	32
2.1.2.2. Rampas de Entrada (frontage roads approach).....	32
2.1.2.3. Entradas arteriales o externas	33
2.1.2.4. Entradas internas	33
2.1.3. Diseño de las rampas de acceso.....	34

2.1.3.1.	Velocidad de diseño:.....	34
2.1.3.2.	Distancia de visibilidad:.....	34
2.1.3.3.	Curvatura horizontal:.....	34
2.1.3.4.	Grado y Perfil:.....	35
2.1.3.5.	Terminales de rampa.....	35
2.1.3.6.	Secciones de entrecruzamiento.....	37
2.2.	OPERACIÓN.....	37
2.2.1.	Sistema de operación de cuatro fases (TTI phasing).....	38
2.2.2.	Sistema de operación de tres fases.....	41
2.2.3.	Sistema de operación Lead-Lag.....	43
2.2.4.	Controladores intersecciones diamante.....	44
2.3.	SEÑALIZACIÓN.....	51
2.3.1.	Características generales.....	51
2.3.2.	Características específicas.....	55
2.3.2.1.	Señalización vertical.....	55
2.3.2.2.	Señalización horizontal.....	68
3.	INTERSECCION TIPO DIAMANTE DIVERGENTE (DIVERGING DIAMOND INTERCHANGE).....	78
3.1.	GEOMETRIA.....	78
3.2.	OPERACIÓN.....	78
3.2.1.	Sistema de operación de dos fases.....	79
3.3.	SEÑALIZACION.....	80
4.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	83
4.1.	INTERSECCION TIPO DIAMANTE.....	83
4.1.1.	Ventajas.....	83
4.1.2.	Desventajas.....	84
4.2.	INTERSECCION TIPO DIAMANTE DIVERGENTE.....	84
4.2.1.	Ventajas.....	84
4.2.2.	Desventajas.....	85
4.3.	VARIACIONES.....	85
	CONCLUSIONES.....	90

BIBLIOGRAFIA	92
--------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Intersecciones sin canalizar	9
Figura 2: Intersección tipo T	11
Figura 3: Intersección tipo Y	11
Figura 4: Intersección tipo Cruz.....	12
Figura 5: Isletas direccionales	13
Figura 6: Isletas separadoras	13
Figura 7: Isletas de seguridad	14
Figura 8: Glorietas	14
Figura 9: Glorietas partidas	15
Figura 10: Intersecciones tipo T y Y	17
Figura 11: Intersección tipo diamante	18
Figura 12: intersección Single Point Urban	18
Figura 13: Trébol Parcial	19
Figura 14: Trébol completo.....	20
Figura 15: Intersección Rotatoria	21
Figura 16: Intersección Direccional	21
Figura 17: Conflictos en intersecciones.....	23
Figura 18: Entrecruce de carriles en una DDI	26
Figura 19: Intersección diamante con estructuras adicionales	30
Figura 20: Intersección Diamante.....	31
Figura 21: Diagrama de volúmenes entrantes.....	32
Figura 22: Entradas externas	33
Figura 23: Cruces viales.....	37
Figura 24: Sistema de operación de cuatro fases	40
Figura 25: Sistema de operación de tres fases	42
Figura 26: Sistema de operación Lead-Lag	44
Figura 27: Numeración de fases de la intersección diamante	45
Figura 28: Secuencia de fases	45
Figura 29: Overlaps sistema de tres fases	46
Figura 30: Secuencia sistema de tres fases.....	46
Figura 31: Secuencia sistema de cuatro fases	47
Figura 32: Bahías de carga	49
Figura 33: indicaciones para peatones.....	49
Figura 34: Localización de detectores	51
Figura 35: Señalización de mástil horizontal	52
Figura 36: Señalización de mástil horizontal de 5 secciones	52
Figura 37: Mástil de señalización horizontal intersección diamante	52
Figura 38: Movimientos de peatones en intersecciones diamante	53
Figura 39: Codificación fases semafóricas en intersecciones diamante	54

Figura 40: Señal SP-11	56
Figura 41: Señal SP-17	56
Figura 42: Señal SP-22	57
Figura 43: Señal SP-50	57
Figura 44: Señal SP-51	58
Figura 45: Señal SR-01	58
Figura 46: Señal SR-02	59
Figura 47: Señal SR-20	59
Figura 48: Señal SR-30	60
Figura 49: Señal SR-32	60
Figura 50: Señal SR-33	61
Figura 51: Señal SI-01	61
Figura 52: Señal SI-05	62
Figura 53: Señal SI-05A	63
Figura 54: Señal SI-05B	63
Figura 55: Señal SI-06	64
Figura 56: Señal SI-26	64
Figura 57: Señal tipo Bandera	66
Figura 58: Señal tipo Doble Bandera	67
Figura 59: Señal tipo Pasavías	68
Figura 60: Líneas centrales	69
Figura 61: Líneas de borde de pavimento	70
Figura 62: Líneas de carril	71
Figura 63: Entradas y salidas de las rampas de acceso	72
Figura 64: Tipos de entradas y salidas	72
Figura 65: Líneas canalizadoras	73
Figura 66: demarcación de uso de carril	73
Figura 67: Línea de pare	74
Figura 68: Pasos de peatones	75
Figura 69: Líneas antibloqueo	75
Figura 70: Marcas de objeto	77
Figura 71: Intersección tipo diamante divergente	78
Figura 72: Movimientos posibles dentro de la intersección	79
Figura 73: Sistema de operación de dos fases	80
Figura 74: Señal SR-03	81
Figura 75: Señal SR-04	81
Figura 76: Señales SR-06 y SR-08	81
Figura 77: Señal SR-38	82
Figura 78: Señales SR-45 y SR-46	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Velocidad, Curvatura horizontal y Distancia de visibilidad.....	34
Tabla 2: Longitud de curva vertical.....	35
Tabla 3: Longitudes de carriles de cambio de velocidad.....	36
Tabla 4: Condiciones para la ubicación de detectores	51
Tabla 5: Tiempos de fases semaforicas.....	54
Tabla 6: Tabla de variaciones de intersecciones tipo diamante	86

RESUMEN

TITULO:

ESTADO DEL ARTE EN EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS INTERSECCIONES VIALES TIPO DIAMANTE*

AUTOR:

DEYBI LIBARDO MORA CASTAÑEDA**

PALABRAS CLAVES:

INTERSECCIÓN, TIPO DIAMANTE, TIPO DIAMANTE DIVERGENTE, OPERACIÓN, SEÑALIZACIÓN, TRÁFICO.

DESCRIPCION:

La gran cantidad de tráfico y la ineficiencia de las vías son algunas de las razones por las cuales se desarrollan e implementan nuevos diseños de intersecciones, ya que en estas es donde se presentan la mayoría de los casos de embotellamiento y caos, en este caso en particular se estudiara la operación de una intersección tipo diamante y los diferentes factores que inciden en su diseño.

Este documento fue elaborado recopilando información de diferentes fuentes como revistas relacionadas con temas de ingeniería, páginas web y tesis de investigación, en el cual se efectúa un análisis detallado del comportamiento de las intersecciones viales tipo diamante, sus ventajas y desventajas con respecto a los diseños modificados derivados de esta a la hora de su implementación.

Se analizan los diversos factores que influyen a la hora de decidir cuál debe ser el tipo de operación a utilizar en cada caso, factores como su geometría, derecho de vía, volumen de tráfico entre otros. A la hora de determinar sus ventajas y desventajas la comparación se hizo entre la intersección tipo diamante convencional y la intersección tipo diamante divergente, utilizando como parámetros de comparación la señalización, operación, capacidad de manejo de tráfico, geometría y seguridad.

* Trabajo de Grado

** Universidad Industrial de Santander (UIS), Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Hernán Porras Díaz

ABSTRACT

TITLE:

STATE OF THE ART IN THE ANALYSIS OF BEHAVIOR OF ROAD INTERSECTIONS TYPE DIAMOND*

AUTHOR:

DEYBI LIBARDO MORA CASTAÑEDA**

KEY WORDS:

INTERSECTION, TYPE DIAMOND, DIVERGENT TYPE DIAMONT, OPERATION, SIGNAGE, TRAFFIC.

DESCRIPTION:

The large amount of traffic and the inefficiency of the tracks are some of the reasons why it is developed and implemented new designs for intersections, because in these occur most cases of congestion and chaos, in this particular case we will study the operation of a intersection type diamond and the various factors that influence their design.

This document was prepared by collecting information from different sources such as journals related to engineering topics, websites and research thesis, in which is made a detailed analysis of the behavior of road intersections type diamond, their advantages and disadvantages with respect to the designs modified at the time of its implementation.

It discusses the various factors that influence in deciding what should be the type of operation used in each case, factors such as geometry, right of way, traffic volume, among others. To determine its advantages and disadvantages, the comparison was made between the conventional intersection type diamond and the intersection divergent type diamond using as benchmarks the signaling, operation, traffic handling capability, geometry and safety.

* Grade Work

** Universidad Industrial de Santander (UIS) Physical Mechanical Engineering Faculty, Civil Engineering School, Director: Hernán Porras Díaz

INTRODUCCION

La creciente utilización del vehículo privado en las carreteras del mundo ha llegado a niveles críticos. Parece que lo único que han conseguido las soluciones tradicionales basadas en mejorar la red viaria ha sido aumentar la demanda todavía más y estimular unas costumbres que implican actividades a distancias mayores y que, por tanto, aumentan la dependencia del vehículo particular.

Los actuales avances en el tráfico urbano muestran una discrepancia fundamental entre lo que uno espera y lo que en realidad obtiene. El automóvil ofrece muchísimo a su dueño. Disponibilidad inmediata, acceso instantáneo, seguridad y privacidad, capacidad de transporte para poder responder a los actuales hábitos consumistas y un mayor número de oportunidades de empleo dentro del tiempo de traslado razonable. Esto es lo que incita al usuario al caos de la dependencia del automóvil y la frustración que origina. La verdadera realidad es muy diferente. La velocidad media de los automóviles en muchas ciudades es muy baja.

El hecho de que tanta población disponga de acceso a vehículos privados supone que las ventajas sean menores para todos, es decir, todos tenemos más probabilidades de sufrir atascos y retrasos.

La solución a los problemas de tráfico en las zonas urbanas requiere una comprensión detallada de las relaciones entre el espacio, el tiempo y la conducta humana, generadas por la disponibilidad generalizada de los medios de transporte motorizados privados y aunque las medidas que se tomen deben ser medidas que engloben un ambiente macro de gestión del tráfico existen también medidas puntuales para solucionar los conflictos de la malla vial es por ello que uno de los aspectos más desafiantes de la ingeniería de transporte actual es poder buscar soluciones para mitigar la congestión buscando que el retraso al que se enfrentan los usuarios sea mínimo.

Por otra parte el costo asociado a la mitigación de la congestión es un obstáculo grande. En particular, la disponibilidad de alto precio para el derecho de paso en las zonas urbanas ha motivado a ingenieros de transporte para buscar alternativas de diseño de las intersecciones, cruces a un costo mínimo, pero un mejor

desempeño en términos de retrasos para los usuarios y con colas de mayor capacidad.

Varios diseños no convencionales de intercambio se han desarrollado para resolver estos problemas. Algunos diseños no convencionales incluyen, las intersecciones tipo diamante y su modificación la diverging diamond interchange.

Por lo tanto este documento presenta una recopilación de información acerca de la existencia, funcionamiento y operación de este tipo de intersecciones y una breve comparación con otro tipo de intersecciones implementada en el mundo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Conocer el comportamiento de las intersecciones tipo Diamante como alternativa de solución a problemas de congestión vehicular.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información acerca de la existencia de intersecciones tipo diamante
- Clasificar y analizar la información recogida de acuerdo a la importancia para el proyecto.
- Conocer el funcionamiento y operación de las intersecciones tipo diamante.
- Analizar las ventajas y desventajas que trae la implementación de este tipo de intersecciones.

ALCANCE DE LOS OBJETIVOS

A continuación se presenta la forma como se alcanzaron cada uno de los objetivos planteados:

Búsqueda y Recopilación de información: Para alcanzar este objetivo se utilizaron las bases de datos a las cuales se tiene acceso en la universidad, tales como BD ProQuest, ebscohost, etc. y la Web en buscadores como Google.

Clasificación y análisis de la información: El trabajo se dividió de la siguiente forma:

Capítulo 1 GENERALIDADES: Este capítulo busca presentar el problema de las intersecciones, de tal forma que se comprenda cual es, cual es su historia, los factores que influyen y la forma de solucionar los problemas de congestión en una intersección, para ello se emplearon los artículos de la bibliografía.

Capítulo 2 INTERSECCIÓN TIPO DIAMANTE: En este capítulo se entra en detalle en la geometría, operación y señalización de la intersección.

Capítulo 3 INTERSECCIÓN TIPO DIAMANTE DIVERGENTE: Al ser esta una variación de la intersección tipo diamante comparte algo de su información, pero también se incluye información nueva concerniente a sus modificaciones

Capítulo 4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS: Este capítulo muestra las ventajas y desventajas que se obtienen al implementar este tipo de intersecciones.

Funcionamiento y operación de las intersecciones: el capítulo 2 y 3 de este libro muestra cada uno de los pasos a seguir para que la intersección entre en funcionamiento de un modo eficiente.

Ventajas y desventajas de las intersecciones: el capítulo 4 muestra las ventajas y desventajas de la implementación de una intersección tipo diamante en una vía

1. GENERALIDADES

1.1. INTERSECCIONES A NIVEL

Las intersecciones son zonas comunes a dos o más carreteras que se cruzan al mismo nivel y en las que se incluyen las calzadas que pueden utilizar los vehículos para el desarrollo de todos los movimientos posibles.

Las intersecciones son elementos de discontinuidad en cualquier red vial, por lo que representan situaciones críticas que hay que tratar específicamente, ya que las maniobras de convergencia, divergencia o cruce no son usuales en la mayor parte de los recorridos.

Son esenciales en la red viaria, porque además de poner en relación el sistema jerárquico de vías para permitir el flujo a través de toda la red, permiten la accesibilidad a distintos puntos de la ciudad desde la vía distribuidora.

Las intersecciones son partes tan importantes en las vías como los tramos del recorrido, requieren de soluciones técnicas complejas lo que les hace ser puntos singulares, además que tienen una carga simbólica, formal y referencial en el conjunto de la ciudad. Presentan un potencial urbanístico para crear puntos de referencia ya que son las áreas de articulación entre sectores y tejidos diversos.

Son piezas fundamentales para permitir el adecuado funcionamiento de la red viaria. Las soluciones en forma de nodos son articulaciones complejas que ponen en juego un elevado número de variables, además en estos puntos se producen las intervenciones para adecuar la vía al incremento del tráfico.

En cuanto a la lógica viaria de los puntos de cruce, su función es la de ordenar la confluencia entre varias vías, permitir la continuidad y la velocidad del flujo a lo largo de la vía principal así como permitir la accesibilidad hacia otras direcciones; giros a la derecha y giros a la izquierda.

En un eje principal se recurre a las distintas soluciones geométricas a nivel, cota inferior o superior para resolver el cruce. Los cruces transversales a nivel de superficie permiten mantener una visión continua de la ciudad mientras que la solución en cambio de nivel llega a convertirse en un obstáculo que margina en un sentido el uso del espacio urbano.

En relación a la lógica urbana los puntos de cruce representan la convergencia de varios tejidos. El espacio urbano se abre en estos puntos lo que produce una mayor área de fachada, se favorece la accesibilidad y la visibilidad. Su carácter singular los convierte en lugares con una carga simbólica y formal que permiten la configuración del espacio urbano. Presentan además un potencial para convertirse en áreas nodales: son puntos de convergencia de diferentes arquitecturas, diferentes medios de transporte y además ponen en relación diversos sectores de la ciudad. Otra característica de su posición es que pueden convertirse también en puertas urbanas de la ciudad.

Tanto en las intersecciones como en las vías, pero con mayor razón en las intersecciones, se trata de obtener condiciones óptimas de seguridad y capacidad, dentro de posibilidades físicas y económicas limitadas.

Las características de estas intersecciones están definidas por ciertas condiciones como son: área total, límites exteriores y forma en que esté ordenada y distribuida la superficie.

Los elementos a considerar para el diseño de estas intersecciones son aquellos por los cuales se hace factible o no la implementación de cualquiera de los tipos de intersecciones conocidos. A continuación se presentaran las consideraciones más importantes

- *Datos funcionales:*

Se refieren al tipo de vías que confluyen en la intersección, clasificación, tipo de control de accesos, velocidad, preferencia de paso, y todas aquellas características de funcionalidad que estén contempladas en el planeamiento en desarrollo que puedan afectar la intersección.

- *Datos físicos:*

Se refieren a la topografía, así como a las restricciones existentes para extender la superficie, tales como usos del suelo, características geológicas y geotécnicas, edificaciones, plantaciones, instalaciones, servicios, tipo de drenaje, etc. Lo recomendable es poder contar con planos detallados y en escalas¹ 1:500, en zonas rurales, y 1:200, en zonas urbanas.

- *Datos de tránsito:*

¹ Según el GEOM 98

Incluyen los volúmenes de tránsito, su composición y su evolución a lo largo del día, análisis de cada movimiento en las horas pico para determinar la capacidad en el correspondiente ramal, vehículo tipo para el que se proyecta la intersección, velocidad en los accesos. En las zonas urbanas y suburbanas se deben tener en cuenta el flujo peatonal y los paraderos del sistema de transporte público con su correspondiente información (frecuencia, tiempo de parada, condiciones actuales, posibles modificaciones, etc.)

- *Movimientos peatonales:*

Este factor es importante para tratar los problemas de accidentalidad

- *Accidentes:*

Este factor es muy importante para estudiar la remodelación de una intersección en vías existentes.

- *Relación con otras intersecciones:*

Es importante que las diversas intersecciones en una vía obedezcan a cierta uniformidad en su tratamiento, para no desorientar al conductor.

1.1.1. Tipos de intersecciones a nivel

De acuerdo a la forma de solucionar el encuentro con otras vías surge la clasificación de los diferentes tipos de enlaces viales, las diferentes soluciones geométricas dependen del ángulo de las vías que se interceptan, del número de ramales que se encuentran y las dimensiones de estos. De acuerdo a estas variables la forma de solucionar el cruce se realiza de forma radial, perpendicular o de lazo.

Si se considera que cada vía produce de manera natural tres tipos de giros: paso a través, giro a la izquierda y giro a la derecha, se encontrara que el giro a la izquierda será el punto crítico en la intersección por el cruce con las vías de sentido divergente, las formas de salvar este punto crítico produce distintas soluciones geométricas. Cuando se busca la eliminación de este punto se utiliza un obstáculo para crear un anillo de giro. Esto permite los cruces oblicuos y de salida de carril en el mismo sentido.

- *Enlaces giratorios:*

La solución que permite poner en relación la confluencia de más de cuatro ramales de diferentes dimensiones y diferente ángulo de intersección es la de geometría

circular. Se caracteriza por la presencia de un elemento central que direcciona los movimientos de atravesamiento, giro a la izquierda, giro a la derecha de forma oblicua evitando los cruces perpendiculares. La posición de estos puntos en la red y las dimensiones del espacio que conforman permite el emplazamiento de elementos simbólicos y también el emplazamiento de edificaciones de mayor jerarquía.

- *Intersecciones perpendiculares:*

Estas, como su nombre lo indica son los tipos de cruce donde el ángulo de intersección de las vías es igual a 90° , y el número de estas varía entre dos y tres. El trayecto de cada vía no se interrumpe como en el caso de los ejes giratorios (donde cada vía produce dos ramales en el punto de cruce) y esta se considera como un solo eje. Dependiendo el número de ejes que se interceptan se clasifican en tres subtipos: intersecciones en “T”, en “cruz”, y en *bifurcación*.

A diferencia del enlace giratorio el área de exposición es inferior y se reduce a los ángulos de las esquinas. Estos puntos son los más favorecidos en términos de exposición.

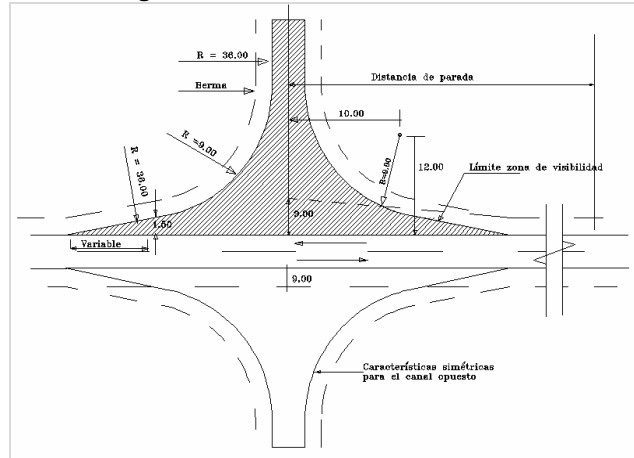
- *Intersecciones en lazo:*

En este tipo de se busca eliminar la intersección de los cruces a nivel, el giro a la izquierda se realiza de manera indirecta a través de una curva que se toma por la derecha y conduce en diferente cota al carril contrario sin interrumpir en ningún momento la circulación. Mientras mayor sea el número de vías en el punto de encuentro se incrementa la complejidad de este sistema y aparecen una gran cantidad de lazos que hacen las maniobras muy complicadas. Esta solución es frecuente en las áreas suburbanas, son comunes en los anillos periféricos y en el encuentro de las autopistas con las vías de la ciudad. Tienen la característica de suprimir la idea de fachada y además se pierde la accesibilidad directa a las edificaciones allí emplazadas. En estos puntos se presenta la disfuncionalidad de los nudos, ya que en ellos se da la paradoja de la máxima llegada de vías y la menor accesibilidad a sus áreas de borde.

A continuación se presenta una clasificación de los tipos de intersecciones existentes de una forma más detallada mostrando características particulares de los diferentes tipos mencionados.

- 1.1.1.1. Intersecciones sin canalizar:

Figura 1: Intersecciones sin canalizar



Fuente: GEOM 98

Es el tipo más común de intersección en carreteras y no requiere un tratamiento especial. La figura 1 indica una intersección sin canalizar utilizada por camiones y con curvas de tres centros.

1.1.1.2. Intersecciones canalizadas:

Una intersección canalizada es aquella en la que los movimientos de los vehículos se localizan por vías definidas mediante isletas, dibujadas o materializadas con sardineles, se localiza en el cruce de las carreteras principales, o cuando hay altos volúmenes de tránsito, incluidos los giros a la izquierda, en los que una intersección no canalizada no garantiza seguridad ni es suficiente, se deben tener en cuenta una serie de principios básicos, o criterios para la canalización, así:

- *Preferencia de los movimientos principales:*

Deben tener preferencia los movimientos principales sobre los secundarios. Esto implica limitar los movimientos secundarios con señales adecuadas, reducir el ancho de la vía o eliminar movimientos poco importantes.

- *Reducción de las áreas de conflicto:*

Las grandes superficies pavimentadas incitan a los vehículos y a los peatones a realizar movimientos desordenados, con aumento de la accidentalidad y disminución de la capacidad de la intersección. Esas grandes áreas son características de las intersecciones oblicuas y hacen que éstas sean poco recomendables.

- *Perpendicularidad de las trayectorias cuando se cortan:*

Las intersecciones en ángulo recto son las que presentan un mínimo de áreas de conflicto, disminuyen la gravedad de los choques y facilitan las maniobras, dado que permiten a los conductores juzgar en condiciones más favorables las posiciones relativas de los demás. Se consideran aceptables las intersecciones con ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

- *Paralelismo de las trayectorias cuando convergen o divergen:*

Para el efecto los alineamientos se deben hacer con ángulos del orden de 10° a 15°, siempre evitando la reducción de velocidad en la vía principal e intercalando vías de aceleración y de desaceleración.

- *Separación de puntos de conflicto:*

Con una canalización adecuada se separan los puntos de conflicto y el conductor no necesita atender simultáneamente a varios vehículos.

- *Separación de los movimientos:*

Cuando el volumen horario de diseño (VHD) es importante, 25 vehículos por hora, en intersecciones rurales², es conveniente dotarlas de una vía propia de sentido único, completándola con un carril de aceleración o desaceleración, si fuere necesario. Las islas que se dispongan con este objeto pueden llegar a ser imprescindibles para la colocación de señales.

- *Control de los puntos de giro:*

La canalización permite también evitar giros en puntos no convenientes, empleando isletas que los hagan imposibles o muy difíciles. Con isletas elevadas se obtiene mayor seguridad que si se emplean marcas en el pavimento, donde los sardineles no reduzcan la capacidad o constituyan obstáculos peligrosos.

- *Visibilidad:*

La velocidad de los vehículos que ingresan en la intersección debe limitarse en función de la visibilidad y tipo de regulación de paso, llegando incluso a la parada.

- *Previsión:*

² Valor dado por el GEOM 98

La canalización exige superficies amplias en las intersecciones. Esta circunstancia hace que se deban reservar las áreas necesarias oportunamente, así como ser prudentes en autorizar construcciones o instalaciones definitivas en las márgenes de las vías que confluyan en las intersecciones.

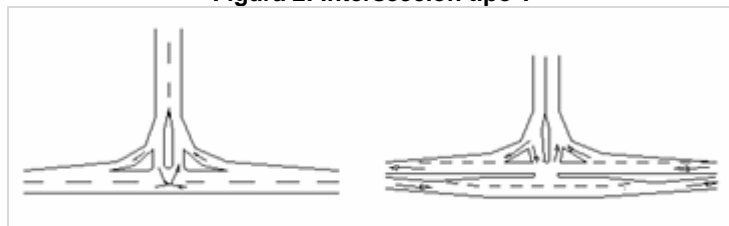
- *Funcionalidad y sencillez en el diseño:*

El proyecto debe ser claro y simple para que, una vez implantado, el conductor no dude al decidir efectuar una maniobra. El proyecto debe ser sencillo, en forma tal que sea fácilmente entendido por los automovilistas y se pueda analizar fácilmente.

➤ Tipos de intersecciones canalizadas:

- *Intersección tipo T:*

Figura 2: Intersección tipo T

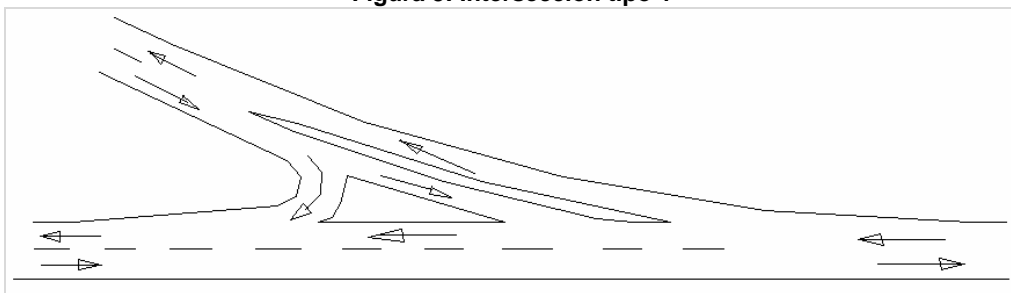


Fuente: GEOM 98

Se muestra en la figura 2, es una solución muy simple para un empalme de una carretera secundaria, con una principal. Las trayectorias se cortan en ángulos prácticamente rectos, se mejoran las condiciones de visibilidad y se facilita el paso de peatones. En general, las intersecciones tipo T, siendo de tres ramales, presentan entre éstos ángulos de 60° .

- *Intersección tipo Y:*

Figura 3: Intersección tipo Y

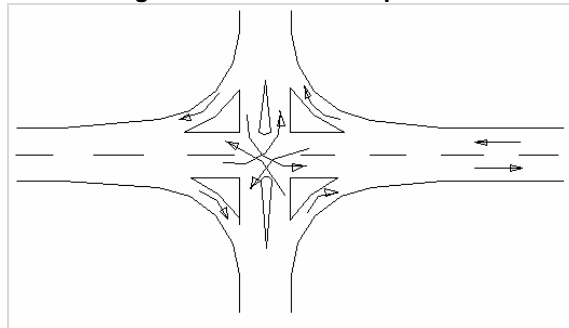


Fuente: GEOM 98

Es aquella que siendo de tres ramales, presenta entre dos de ellos un ángulo inferior a 60°. En la figura se indican dos soluciones sencillas para el empalme de una carretera secundaria con una principal.

- *Intersección tipo Cruz:*

Figura 4: Intersección tipo Cruz



Fuente: GEOM 98

La figura 4 muestra una solución de empalme de una carretera secundaria con una principal. Si el tránsito de la secundaria es pequeño, se tiene una canalización simple. Si el intercambio de tránsito entre ambas carreteras es relevante, cabe la solución con carriles de aceleración y desaceleración.

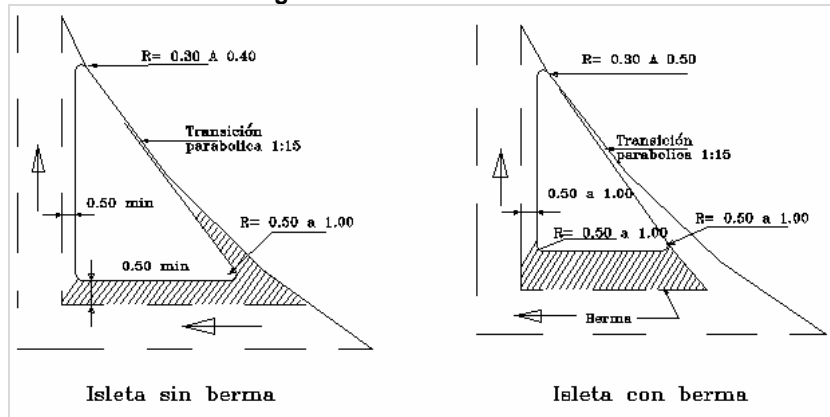
1.1.1.3. Islas

Las islas son zonas definidas situadas entre carriles de circulación, cuyo objeto es guiar el movimiento de los vehículos, servir de refugio a los peatones y proporcionar una zona para la ubicación de la señalización y la iluminación. Las isletas pueden estar físicamente separadas de los carriles o estar pintadas en el pavimento.

Las islas pueden ser direccionales o canalizadas, separadoras y de seguridad:

- *Isletas direccionales:*

Figura 5: Isletas direccionales

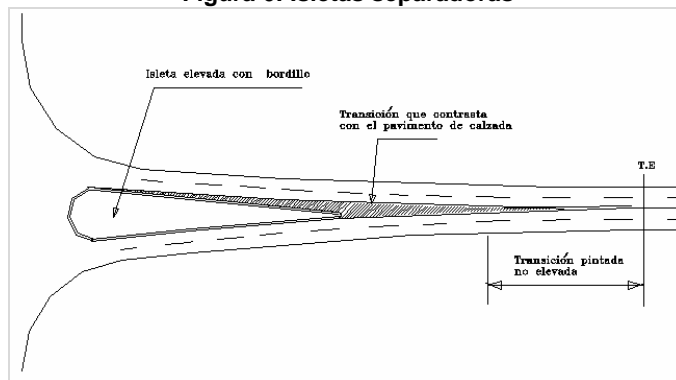


Fuente: GEOM 98

Se muestran en la figura; son de forma triangular, sirven de guía al conductor a lo largo de la intersección y le indican la ruta por seguir. La localización de las isletas direccionales debe ser clara, evidente y fácil de seguir el viaje.

- *Isletas separadoras:*

Figura 6: Isletas separadoras



Fuente: GEOM 98

Tienen forma de lágrima y se usan principalmente en las cercanías de las intersecciones, en carreteras no divididas. La figura muestra la transición para la aproximación a una isleta de separación de sentidos en una carretera de circulación rápida.

- *Isletas de seguridad:*

Figura 7: Isletas de seguridad



Fuente: GEOM 98

Se localizan en o cerca del cruce de peatones, para ayudar y proteger a los usuarios de la vía. También, para proteger las vías de almacenamiento. Las dimensiones recomendadas para las isletas de seguridad son³:

Área: 6 a 9 metros cuadrados

Ancho (isletas alargadas): 1 metro y longitud 3.5 a 6.0 metros.

Lado mínimo (isletas triangulares): 2.4 a 3.0 metros.

En algunas oportunidades se pueden emplear las isletas para permitir movimientos a izquierda protegidos.

1.1.1.4. Glorietas

Figura 8: Glorietas



Fuente: AASHTO 2001

³ Dimensiones recomendadas para isletas de seguridad según el GEOM 98

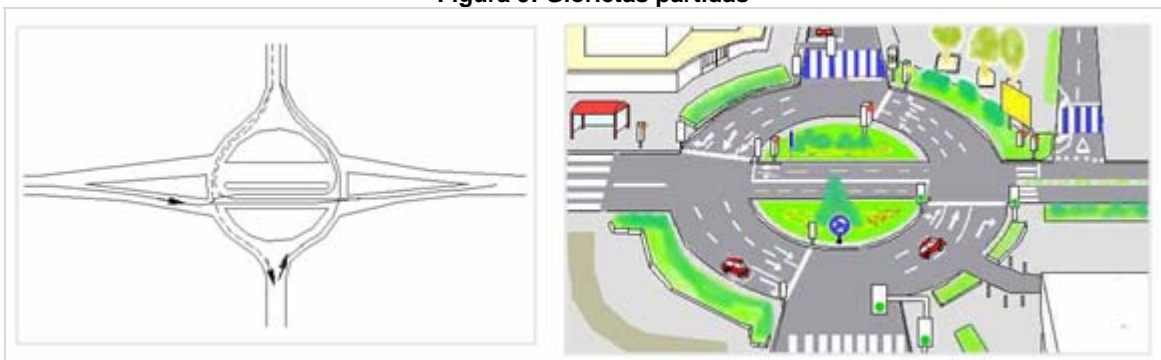
La más común es la convencional, la cual es una glorieta que tiene una calzada de una vía, compuesta de secciones de entrecruzamiento, alrededor de una isla central circular, normalmente sin accesos ampliados; pueden ser de tres, cuatro o más accesos. Para que una glorieta sea convencional el diámetro de la isla central debe ser igual o superior a 25 metros⁴. Las glorietas tienen ventajas y desventajas y muy poco se emplean en carreteras, a no ser en zonas suburbanas o en cercanías a los pueblos. Se deben considerar condiciones de seguridad y en especial de iluminación nocturna.

En ámbito rural debe extremarse el cuidado en el diseño del alineamiento en planta de los accesos, escalonando adecuadamente las curvaturas para disminuir las velocidades.

La glorieta dispone de una isleta central, circular, que permite a los vehículos que penetran a la intersección por cualquiera de sus ramales abandonar la misma por el ramal elegido mediante un giro alrededor de dicha isleta. En la figura se indican los elementos de la glorieta convencional.

- Glorietas partidas

Figura 9: Glorietas partidas



Fuente: GEOM 98

La mejor solución de este tipo es la mezcla de la glorieta partida y la isleta divisoria, mostrada en la figura que permite mantener los movimientos directos. Cuando una vía es más importante que la otra y el tráfico no es muy elevado se puede suprimir la isleta divisoria.

⁴ Consideración hecha por el GEOM 98 para este tipo de intersecciones

Un grado menor de calidad se obtiene con el empleo de movimiento semicirculares exteriores normales, los cuales implican más puntos de cruce pero menos tramos con entrecruzamiento.

1.2. INTERSECCIONES A DESNIVEL

Un paso a desnivel es un conjunto de ramales que se proyecta para facilitar el paso del tránsito entre unas carreteras que se cruzan en niveles diferentes. También puede ser la zona en la que dos o más carreteras se cruzan a distinto nivel para el desarrollo de todos los movimientos posibles de cambio de una carretera a otra, con el mínimo de puntos de conflicto posible.

Los pasos desnivel se construyen para aumentar la capacidad o el nivel de servicio de intersecciones importantes, con altos volúmenes de tránsito y condiciones de seguridad insuficientes, así como para mantener las características funcionales de un itinerario sin intersecciones a nivel.

En general, una intersección solucionada a diferentes niveles requiere inversiones importantes, por lo que su diseño y construcción deben justificarse por razones como:

- Funcionalidad:

Ciertas carreteras como autopistas y vías de primer orden, porque tienen limitación de accesos las primeras, o por la categoría y características que les atribuyen los planes viales nacionales, regionales o departamentales, requieren la construcción de intersecciones a desnivel.

- Capacidad:

Si la capacidad es insuficiente en una intersección, una alternativa por considerar, en el estudio de factibilidad, es separar niveles, así haya alternativas posibles a nivel.

- Seguridad:

Puede ser la seguridad, unida a otras razones, uno de los motivos para construir un enlace y no una intersección.

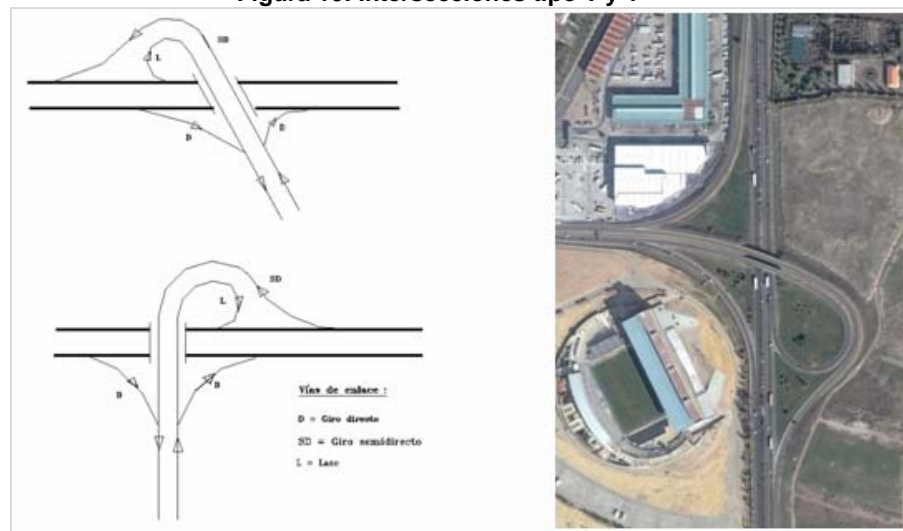
- Factibilidad:

Por las elevadas inversiones que implica, en general, la construcción de una intersección a desnivel, es necesario el estudio de factibilidad, en el que debe analizarse, si a ello hubiere lugar, la construcción por etapas.

1.2.1. Tipos de intersecciones a desnivel

- Intersecciones tipo T y Y:

Figura 10: Intersecciones tipo T y Y

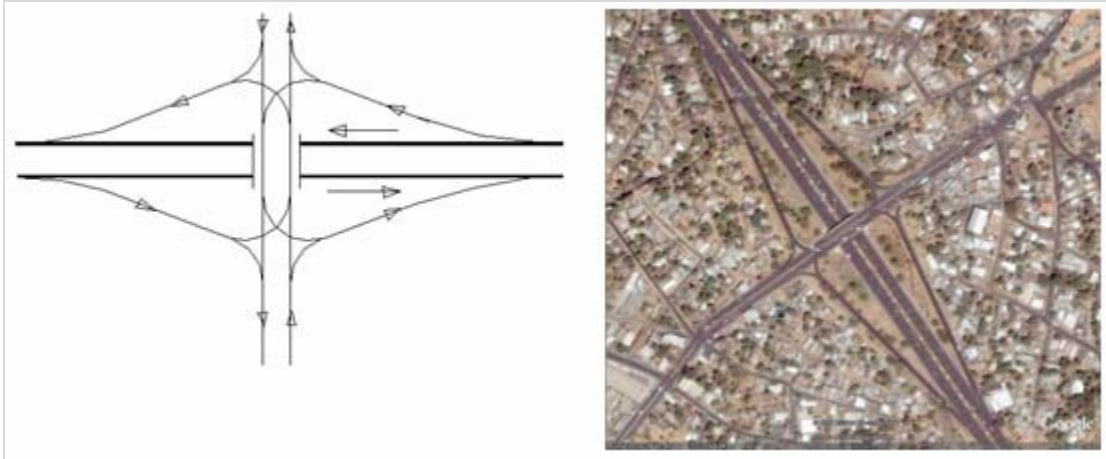


Fuente: GEOM 98 Y <http://earth.google.es>

La principal es la trompeta, intersección de tres ramales en la que los giros a la derecha y a la izquierda se resuelven por medio de ramales directos, semidirectos y vías de enlace. La intersección a diferente nivel en forma de trompeta, es aconsejable para conectar una carretera transversal a una principal.

- Diamante:

Figura 11: Intersección tipo diamante

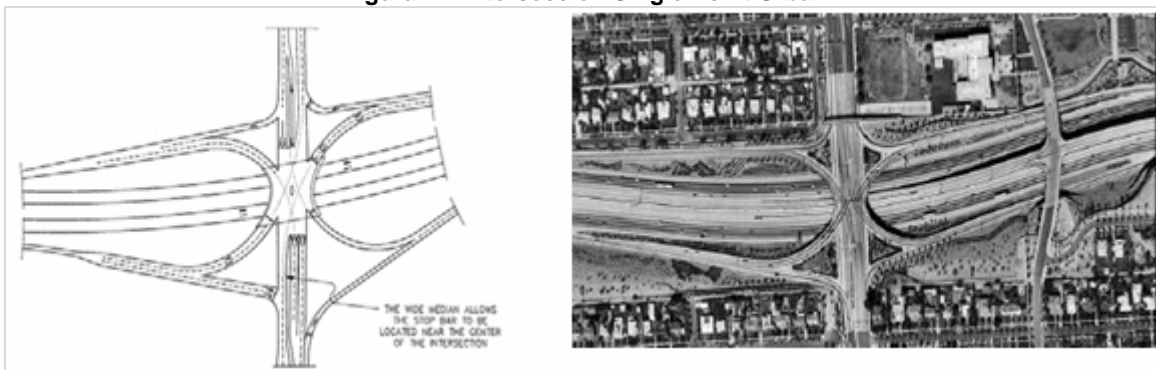


Fuente: GEOM 98 y <http://earth.google.es>

La intersección a desnivel tipo diamante, se usa tanto en vías urbanas como en vías rurales. Se trata de una intersección de cuatro ramales con condición de parada, en el que todos los giros a la izquierda se resuelven con intersecciones. Este tipo de intersección puede disponer también de estructuras adicionales para reducir el número de puntos de conflicto de las intersecciones a nivel en la carretera secundaria. Normalmente es preferible que la vía principal ocupe el nivel inferior, con cuya disposición las vías de enlace son más cortas por ser la pendiente favorable para la aceleración y desaceleración de los vehículos que entran y salen.

- Single Point:

Figura 12: intersección Single Point Urban



Fuente: AASHTO 2001

Este tipo especial de intersección ha recibido atención durante los recientes años y es digna de discusión. La AASHTO se refiere a esta como una intersección “single point diamond” o “single point urban”⁵.

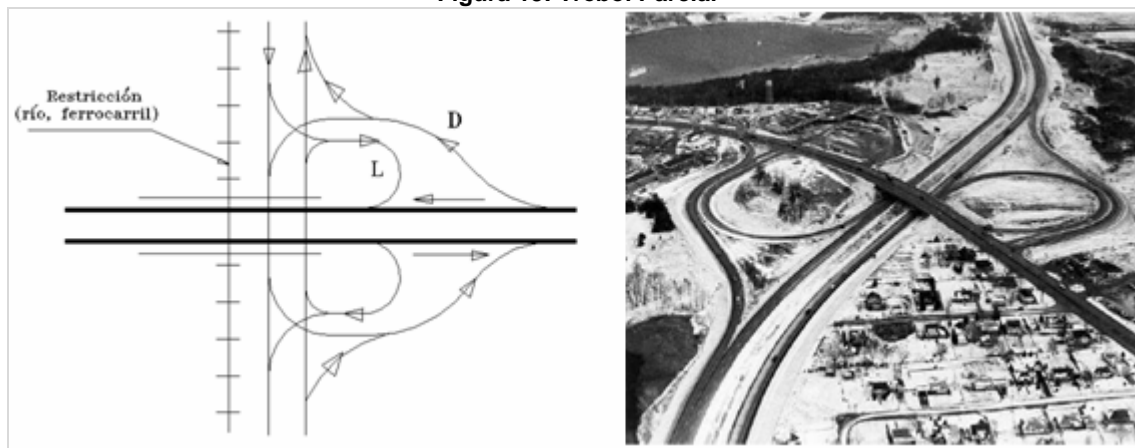
En este tipo de intersecciones las vías principales pueden ir o por encima o por debajo del cruce arterial y sus movimientos de giro ocurren a nivel sobre la vía arteria. Este tipo de intersección tiene aplicación solo en localizaciones especiales. Las operaciones de tráfico y señalización tienen que ser primero cuidadosamente modeladas para la selección del diseño final de la intersección.

- Tréboles:

Intersecciones que pueden ser de tipo trébol parcial o total.

- Tréboles parciales:

Figura 13: Trébol Parcial



Fuente: GEOM 98 y AASHTO 2001

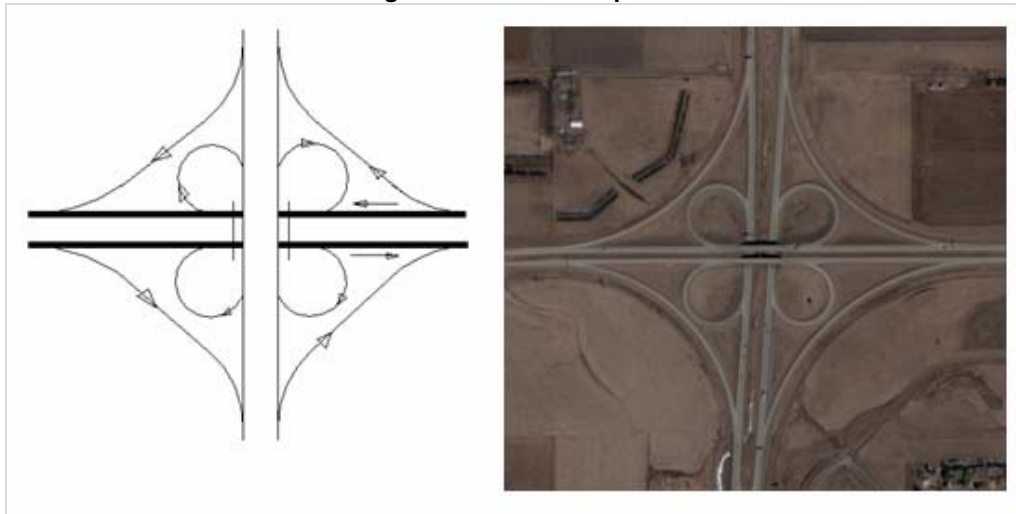
Se define el trébol parcial como una intersección de cuatro ramales con condición de parada, en el que se ha hecho continuo un giro a la izquierda mediante una vía de enlace. En general el trébol parcial, es apropiado cuando sólo pueden utilizarse algunos cuadrantes del área de cruce por existir obstáculos topográficos en las vías rurales, lo que ocurre frecuentemente.

En el trébol parcial las entradas y salidas a la derecha suelen corresponder siempre a la vía principal, para lo cual es preciso ocupar cuadrantes del mismo lado de la vía secundaria o cuadrantes opuestos por el vértice.

⁵ Término acuñado por la AASHTO para la intersección diamante sin espacio interno

➤ Tréboles completos:

Figura 14: Trébol completo



Fuente: GEOM 98 y <http://earth.google.es>

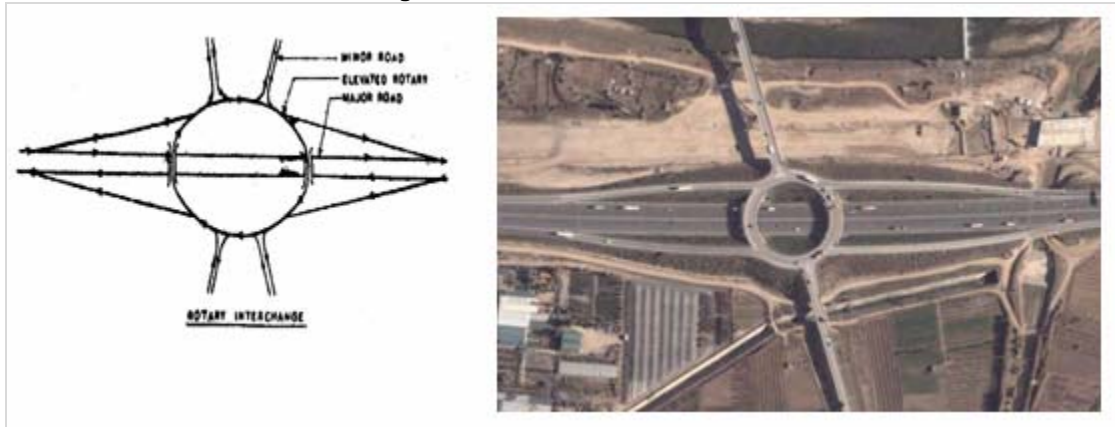
Los tréboles completos, son aptos para vías rurales de importancia similar (autopistas, vías de primer orden) por la considerable área que ocupan. Son intersecciones de cuatro ramales y triple circulación, requieren una sola estructura y todos los giros a la izquierda se resuelven por medio de vías de enlace y los giros a la derecha mediante ramales directos.

Por su conformación, un trébol mejora la velocidad de diseño, con lo que aumentan los radios y el recorrido; por lo que no convienen vías de enlace de excesivas dimensiones. El límite de un trébol suele ser la capacidad de las vías de enlace, que rara vez funcionan bien con más de un carril y normalmente se saturan con volúmenes de 1000 a 1200 vehículos por hora⁶.

- Intersecciones Rotatorias:

⁶ Estos volúmenes son dados por la AASHTO para carreteras de EE.UU.

Figura 15: Intersección Rotatoria



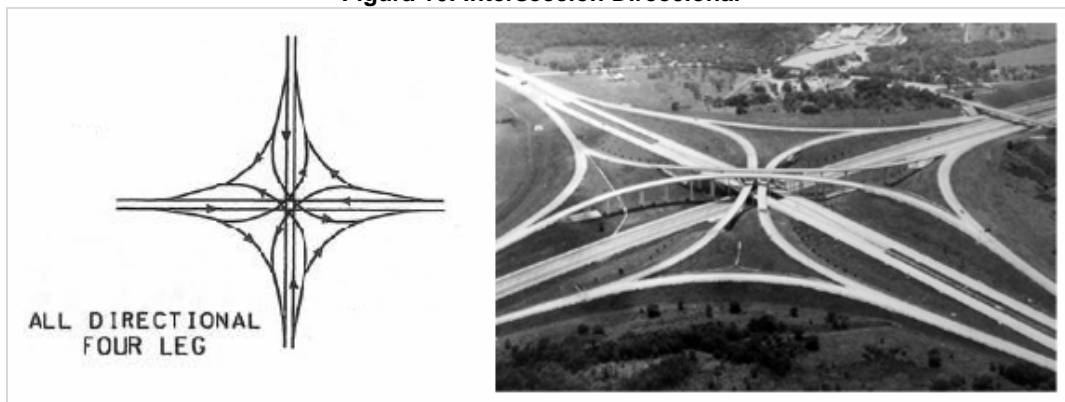
Fuente: <http://earth.google.es>

Este tipo de diseño es particularmente usado donde un número de caminos se intersecan en la intersección y donde el espacio es lo suficientemente grande para construirla. Esta requiere la construcción de dos puentes y generalmente necesita más espacio que una intersección tipo diamante. El camino principal va por encima o por debajo de la intersección rotatoria y los cambios de movimientos son acomodados por una rampa diagonal.

La capacidad de una intersección rotatoria es similar a la de una intersección rotatoria a nivel. Las operaciones de alta velocidad no pueden ser mantenidas sobre un camino menor a causa de la usualmente corta distancia de entretejido. De cualquier modo estas operaciones pueden mantenerse satisfactoriamente a bajas velocidades sobre el camino menor. También este tipo de diseño supone solo una pequeña distancia de viaje adicional para el tráfico que interseca, lo cual es una ventaja específica cuando el movimiento lento del tráfico está presente.

- Intersecciones a desnivel direccionales:

Figura 16: Intersección Direccional



Fuente: AASHTO 2001

Se utilizan cuando una autopista se cruza con otra o se une a ella. En estos casos la velocidad de proyecto es alta en toda su longitud, con rampas y enlaces curvos de radios grandes; por lo que el área que ocupan es grande. Las intersecciones a desnivel direccionales pueden ser más o menos complicadas.

1.2.2. Conflictos en intersecciones

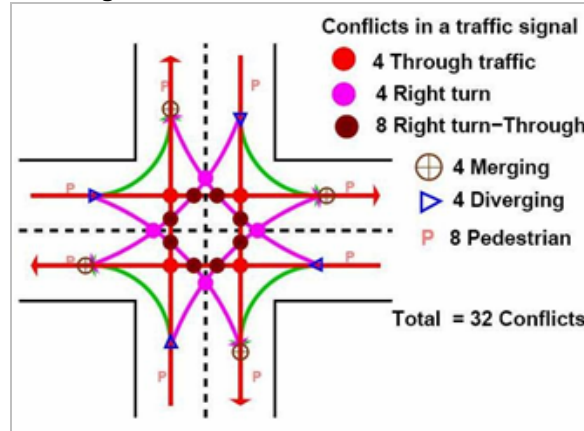
Como se ha dicho anteriormente una Intersección es un área compartida por dos o más vías, donde se permite a los vehículos girar en distintas direcciones con el fin de alcanzar su destino, por ende, su principal función es orientar el tráfico en distintas direcciones. Las problemáticas que debe afrontar una intersección son que los vehículos desean ocupar al mismo tiempo el mismo espacio, y a su vez los peatones procuran cruzar por la intersección.

Por parte del conductor, este debe tomar decisiones rápidas en una intersección teniendo en cuenta su destino, la geometría de la intersección y la velocidad a la que puede circular en la intersección. Un error en el conductor genera accidentes o demoras, mientras que una inadecuada concepción de la intersección conlleva a problemas de capacidad de la intersección.

Los conflictos en una intersección están en función del tipo de intersección. Por ejemplo, para una intersección de 4 entradas (como la mostrada en la figura 17) el número de conflictos entre movimientos que quieren ocurrir en el mismo tiempo y en el mismo espacio son 32; en cuanto a los vehículos se puede enumerar que hay 4 conflictos para los movimientos frontales, 4 para los giros a derecha, 4 para los giros a izquierda, 8 por conflicto entre los giros a derecha y los frontales, 4 conflictos por tráfico convergente y 4 por divergente. Mientras que por parte de los peatones habría 8 conflictos.

Para solucionar estos problemas las intersecciones deben tener algún tipo de control que vele por la seguridad y eficiencia en la movilidad tanto de los vehículos como de los peatones. Existen dos tipos de control de intersecciones, uno donde se comparte el tiempo y otro donde se comparte el espacio. La decisión sobre cuál tipo de control escoger depende del volumen del tráfico, la geometría de la intersección, el costo asociado y la importancia de la vía.

Figura 17: Conflictos en intersecciones



Fuente: HELMER, DAVIS 2009

1.2.2.1. Niveles de control de intersección

Existen tres tipos de niveles de control de intersecciones, los cuales están dados en función del grado de control que hay sobre el conductor por parte de la agencia de tráfico. En el nivel pasivo no hay ningún tipo de control sobre el conductor y este tiene la libertad de maniobrar según desee, en el semi controlado el conductor tiene cierta libertad, y por último, en el activo los movimientos que pueda hacer el conductor están controlados en su totalidad.

- Nivel pasivo

Este tipo de control se emplea cuando los volúmenes de tráfico son bajos y no se requiere mayor control. El conductor está obligado a cumplir únicamente con las normas básicas viales y se instauran señales de tráfico y marcas en la vía como complemento al control sobre la intersección. A continuación se presentan dos tipos de control pasivo.

a) Sin control

Simplemente se obliga al conductor a cumplir con normativas viales básicas tales como que los conductores que van al lado izquierdo de la vía deben esperar y que se debe dar prioridad a los movimientos frontales que a los giros.

b) Señales de tráfico

Este tipo de control emplea señales de tráfico de advertencia y orientación que aseguren el cumplimiento de las normativas viales básicas. Para citar unos ejemplos de señales de tráfico tenemos el “Ceda el paso” que obliga al conductor

que transita sobre la vía de menor volumen a reducir la velocidad para dar paso al vehículo que viene en la vía de mayor tráfico; el “Pare” donde se obliga al conductor que transita sobre la vía de menor tráfico a detener su marcha para esperara a avanzar cuando no haya conflictos con otras vías de mayor tráfico; y finalmente, un pare que obliga a que todos los conductores que llegan a la intersección se detengan y den prioridad al vehículo de la derecha.

c) Marcas adicionales a las señales de trafico

Son marcas sobre la vía que complementan al control por señales de tráfico, destacándose las líneas de pare, las flechas que indican los giros y de espera.

- Nivel semi controlado

Como se mencionó anteriormente este nivel de control guía al conductor a evitar posibles conflictos dejándole ciertas libertades. Como ejemplo de este tipo de control están la Canalización y las Glorietas.

- Nivel activo

Este tipo de control implica que el conductor debe seguir el camino señalado por la agencia de control del tráfico sin poder maniobrar como él lo desee. Los ejemplos más notorios de este tipo de control son las señales de tráfico y las intersecciones separadas por elevación.

a) Señales de trafico

Este tipo de control está basado en el concepto de compartir tiempo, ya que en ciertos intervalos de tiempo (fases) se permiten unos movimientos mientras que al mismo tiempo se restringen otros que podrían entrar en conflicto. Para este tipo de control se debe contar con dos o más fases, según sean las condiciones de tráfico en la intersección.

Existen dos formas de operar este tipo de control: mediante tiempos fijos y mediante señales activadas por los vehículos. En el primer caso, todas las fases conservan una duración y el número de fases se conserva, teniendo así ciclos fijos que no se adaptan a las necesidades de tráfico sobre la intersección. Por otro lado, las señales activadas por los vehículos tienen una concepción más dinámica pues se ajustan a las condiciones de tráfico.

Su funcionamiento parte de un detector ubicado en la vía antes de llegar a la intersección, el cual se activa con el paso de los vehículos y transmite la información capturada a un controlador. Según la información de tráfico registrada el controlador regula el tiempo de las fases y la duración de los ciclos.

b) Intersecciones separadas por elevación

Hay dos posibles opciones para este tipo de control que corresponden a intersecciones “A nivel” o a intersecciones separadas por elevación, en la primera todas los movimientos sobre la intersección ocurren a una misma altura mientras que en el segundo hay diferencia de alturas entre los posibles movimientos; en cualquiera de los dos casos se maneja el concepto de compartir espacio, puesto que ningún movimiento entra en conflicto con otro por interferir espacialmente.

Las ventajas de estas intersecciones es que aumentan la capacidad de la intersección y reducen la accidentalidad ya que permiten que los vehículos se desplacen a altas velocidades y no hay posibilidades de que los vehículos que siguen distintos giros entren en conflicto. Sin embargo, sus costos son elevados, por ende se emplea particularmente en autopistas.

1.3. ANTECEDENTES DE LAS INTERSECCIONES TIPO DIAMANTE

En el mundo existen numerosas soluciones novedosas para disminuir los problemas que se presentan en las intersecciones, pero muchas de estas soluciones representan en la mayoría de veces grandes inversiones, convirtiéndose en soluciones inalcanzables para el caso de países en vía de desarrollo.

En esta búsqueda de soluciones eficientes y económicas aparece una alternativa conocida como Diamond Interchange, es una solución que conduce el tráfico en sentido opuesto a la dirección normal de la vía y a su vez existe un mejoramiento a dicho tipo de intersección y es conocido como la Diverging Diamond Interchange (DDI).

Figura 18: Entrecruce de carriles en una DDI



Fuente: WARRICK, SIROMASKUL 2007

Este tipo de intersecciones fueron concebidas en Francia a mediados de los 70's, sus antecedentes muestran que se implementó por primera vez en la ciudad de Versailles France en la intersección de la autopista A13 y 182 de RD (avenida de Jardy), la Intersección de la autopista A4 (avenida des Allies) y el Boulevard de Stalingrado en Le Perreux - sur- Marne y en la ciudad de Seclin en la intersección de la autopista A1 y Encamine a d' Avelin.

En el continente americano en el otoño de 2000, Gilbert Chlewicki, un estudiante de posgrado de primer semestre en la Universidad de Maryland, College Park comenzaba su trabajo de grado para su maestría en ingeniería de transporte, Chlewicki había estado dibujando bocetos de las carreteras desde que estaba en la escuela primaria, el desarrollo de muchos diseños únicos. Decidió que quería desarrollar un nuevo diseño y escribir una monografía sobre ese diseño.

Chlewicki analizaba acerca como algunos diseños de intersecciones provienen de conceptos de intercambio. El ejemplo más destacado es el jughandle, que era muy común en Nueva Jersey. El jughandle lleva el concepto de la utilización de una rampa de intercambio para reemplazar a la izquierda en una intersección directa. Así Chlewicki comenzó a buscar en los intercambios en Maryland para determinar si alguno de ellos podría ser convertido en un concepto a nivel.

Un intercambio único de este tipo existía en la intersección formada por la I-95 con la I-695 en el lado noreste de Baltimore. Desde cualquier dirección (el diseño es simétrico en todos los lados), como la carretera entra en el intercambio. A continuación, la carretera cruza por encima o debajo del tráfico en sentido contrario de la misma carretera, Después del cruce, una salida de la izquierda directa se da para los giros izquierdos". La carretera cruza por encima o por debajo los dos sentidos de la carretera transversal. A continuación, recibe la izquierda "se convierte" de la carretera transversal de una rampa de entrada a la izquierda. Después de recibir este tráfico, la carretera cruza por encima o por

debajo de la autopista opuesta de la misma carretera de nuevo para obtener en el lado derecho de la carretera. Por último, la carretera recibe el derecho de "giros" de la carretera transversal. Chlewicki quería ver lo que sucedería en este concepto de intercambio si todos los puentes separados fueran sustituidos por las intersecciones a nivel controladas por una señal de tráfico.

El diseño se veía prometedor, pero Chlewicki consideró que la prueba real del diseño sería si era posible garantizar luces verdes a través del diseño una vez que el conductor recibiera la luz verde en primer lugar.

Para este diseño, Chlewicki determinó que sólo sería posible a través de sincronizar los movimientos de cada pista e incluso esto sólo era posible si la división del tiempo de la luz verde para ambas direcciones fuera casi idéntico.

El no poder pensar en un lugar donde este diseño a nivel, se pudiera utilizar, decidió modificar el diseño un poco a "desenredar" uno de los caminos, de manera que sólo uno de los caminos se cruzara durante las maniobras de la intersección.

Chlewicki consideró que este diseño era aún más prometedor, ya que la sincronización de las señales podría tener cabida para todos los movimientos incluidos los giros a la izquierda. Decidió llamar a este diseño de la intersección "criss-cross".

El siguiente semestre, Chlewicki quería explorar más a fondo estos diseños. Su consejero le sugirió que en el estudio de estos diseños, es posible que pudiera cambiar el nombre a algo más técnico, ya que el nombre sonaba como el cantante pop de los 80 Christopher Cross. Así Chlewicki cambió el nombre del diseño de la intersección a "intersección con eliminación dividida sincronizada" (SSP) ya que el diseño tiene características donde se vería en una intersección dividida por etapas, pero ambas partes podrían tener el verde al mismo tiempo con la ventaja de la sincronización de señales adicionales. Más adelante cambió el nombre al "intercambio de diamantes divergentes" (DDI), debido a los múltiples puntos divergentes en todo el intercambio.

Al final del semestre de primavera, Chlewicki fue a Sevilla, España, para visitar a su hermana que estaba estudiando allí y luego en una gira por Europa con sus hermanas. En su última parada en su gira de un mes de duración fue a París, Francia. Una vez allí, tomó una excursión al Palacio de Versalles. A medida que su autobús giraba a la izquierda de la carretera para llegar al palacio, Chlewicki se dio cuenta que estaban entrando en tipo de intersección divergente diamante. Se levantó en total asombro y shock. Él estaba tan feliz porque el concepto que se le

ocurrió en realidad era lo suficientemente bueno para estar en uso, pero a la vez un poco decepcionado de que su idea no era original, después de todo.

Chlewicki escribió un artículo titulado "Nuevos dibujos y modelos de intercambio de Intersección: La intersección sincronizada Split-Fases y el intercambio divergentes Diamond". Él presentó este documento en el 2º Simposio de calles urbanas en Anaheim, California, en julio de 2003.

Varias personas quedaron impresionadas con la presentación, mientras que otros se mostraron escépticos. Una persona que le impresionó fue Joe Bared, PhD, PE de la Administración Federal de Carreteras (FHWA). Bared se ha especializado en la investigación de nuevos diseños geométricos en la FHWA y vio el potencial de estos diseños. Así Bared volvió a FHWA después de la conferencia y se puso a examinar estos diseños aún más.

El primer estudio evaluó la DDI y SSP (que Bared cambió de nombre en su documento de la intersección de cruce doble o DXI) en un escenario de volumen alto, medio y bajo. Los resultados fueron aún más prometedores. Tanto la DDI y DXI tuvieron una mejoría significativa respecto a los diseños convencionales en grandes volúmenes. Este artículo se publicó en 2005.

Al parecer, la primera DDI que se iba a construir en los Estados Unidos iba a ser en Findlay, Ohio en la I-75 y EE.UU. 224. Era la mejor alternativa hasta la selección final, al parecer, la decisión final se basó en preocupaciones de seguridad de un diseño no probado, que es un miedo común para los nuevos diseños.

El siguiente candidato principal para la construcción de una DDI estaba en Kansas City, Missouri en la I-435 intercambio / Front Street. Al mismo tiempo, la FHWA quería estudiar el grado de seguridad de la DDI. Para el estudio, utilizaron sus Carreteras como Simulador de Conducción para evaluar la DDI. Usaron la I-435 / Front Street, encontrado que los conductores eran intuitivamente capaz de maniobrar dentro de la DDI y encontrar el camino hacia su destino.

Mientras tanto, con el estudio de gran alcance que fue hecho por la FHWA para respaldar la seguridad de la DDI, más organismos estaban examinando la aplicación de una DDI. El diseño estaba empezando a ser muy popular en las comunidades bolsillo porque de todas las ventajas posibles.

Don Saiko, PE, que es un gestor de proyectos del área de Springfield, Missouri Distrito de MoDOT, recibió la noticia del concepto DDI y quería investigar el diseño

en el área de Springfield. Él consiguió el permiso para probar el diseño en la I-44 y Kansas Expressway (SR 13), que había estado experimentando grandes problemas de tráfico y cuestiones de seguridad debido principalmente a las pequeñas áreas de almacenamiento de giro a la izquierda en las rampas.

Un presupuesto de \$ 10 millones de dólares fue concedido para la construcción de este proyecto. Las simulaciones para el diseño parecían muy prometedoras para solucionar el tráfico y los problemas de seguridad. También fue un costo y una solución muy eficaz.

La DDI sólo iba a costar alrededor de \$ 3 millones de dólares, ahorrándole al estado 7 millones de dólares el costo presupuestado.

El diseño iba a ser capaz de utilizar el puente existente que había cinco carriles en el puente sin aceras y convertirlo en una DDI con cuatro carriles en el puente y una acera muy amplia en la mediana.

Debido a que no se necesitaba de construcciones importantes en el puente, el tiempo de construcción sólo iba a tardar 6 meses en lugar de dos años con las otras opciones. Los planes fueron aprobados y diseño de construcción se inició en enero de 2009.

Muy poca gente sabía de este proyecto fuera de la oficina del distrito, incluyendo FHWA hasta la construcción estaba casi terminada. El proyecto se terminó a tiempo y dentro del presupuesto, con la apertura de configuración DDI el 21 de junio de 2009 y la ceremonia de corte de cinta para la realización del proyecto el 7 de julio de 2009. El DDI ha sido un gran éxito en este intercambio y que puede considerarse realizar incluso mejor que lo indicado por los modelos de simulación.

El éxito de este diseño ha estimulado aún más organismos para examinar la DDI.

El DDI está empezando a ser muy popular como una solución de transporte disponible y costo-efectiva.

Adicionalmente se han estado realizando investigaciones acerca de su implementación en el Virginia Polytechnic Institute y State University. El Departamento de Transporte de Missouri también está planeando construir 4 intersecciones de este tipo tres en Kansas City y una en St. Louis Country.

Figura 19: Intersección diamante con estructuras adicionales



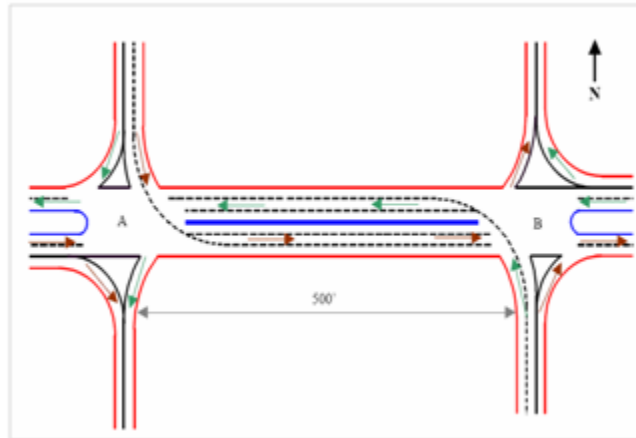
Fuente: OMH 2008

La secretaria de transporte de Oregon adelanta los estudios para la construcción de este tipo de intersecciones en un cruce conflictivo a nivel de congestión y seguridad vial de su malla ubicados a la altura de los cruces de 26 mille Road con la M-53 (Macomb County, Michigan).

Otros antecedentes que se tienen son en Maryland, Baltimore –Washington Parkway, el Ontario Ministry of Transportation está estudiando este tipo de intersección para la intersección Highway 427 y Rathburn Road.

2. INTERSECCION TIPO DIAMANTE (DIAMOND INTERCHANGE)

Figura 20: Intersección Diamante



Fuente: EDARA, BARED, JAGANNATHAN 2008

2.1. GEOMETRIA

2.1.1. Geometría General

Una intersección tipo diamante es definida como una vía de doble sentido que interseca a dos vías adyacentes de un solo sentido, del camino principal (freeway) salen cuatro rampas (frontage roads) que se unen a el camino secundario, estos cruces que se generan son usualmente diseñados como intersecciones a nivel del tipo T. El paso a desnivel (overpass o underpass) puede darse tanto en el camino principal como en el secundario, esto dependiendo de las condiciones topográficas del terreno donde se vaya a construir.

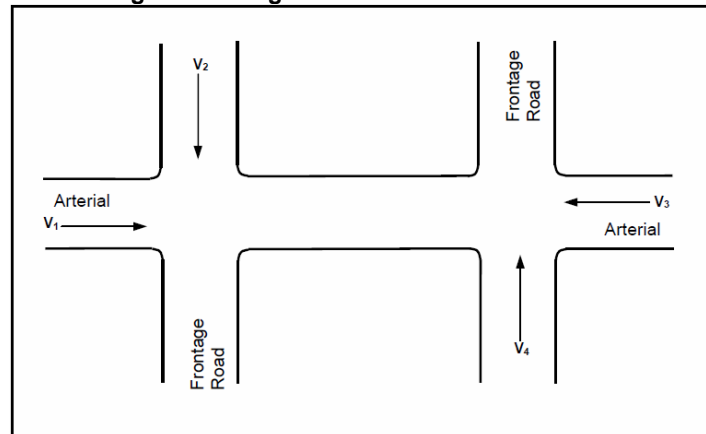
2.1.2. Geometría de los carriles

Los modelos de circulación tienen una influencia importante en el diseño de cruces de diamante. Los conteos deben ser hechos sobre las entradas externas para determinar el número de carriles requerido y la asignación de carriles a cada entrada.

En general un carril debe ser provisto para unos 400 vehículos por hora sobre una entrada. Otra metodología para determinar el número de carriles sobre cada entrada es por el método del carril crítico. Los volúmenes de entrada (V_n) sobre cada entrada son medidos como se ilustra en la figura. Estos volúmenes son

usados con el número de carriles para satisfacer los requisitos del carril críticos como se muestra a continuación.

Figura 21: Diagrama de volúmenes entrantes



Fuente: SIGNAL DESIGN MANUAL FOR DIAMOND INTERCHANGES 2000

Los ingenieros de diseño pueden evaluar el número de carriles requerido en un cruce de diamante usando los volúmenes de entrada como se muestra a continuación.

$$\frac{V_1}{L_1} + \frac{V_2}{L_2} + \frac{V_3}{L_3} + \frac{V_4}{L_4} \leq 1500 \text{ vehiculos/hora}$$

Donde:

V_1, V_2, V_3, V_4 = volúmenes de entrada [vehiculos/hora]

L_1, L_2, L_3, L_4 = numero de carriles en cada entrada

2.1.2.1. Carriles de giro en U

Los carriles de giro en U mejorarán la operación de tráfico significativamente. Son esenciales para los intercambios estrechamente espaciados, y los ingenieros deben suministrarlos para todas las intersecciones con rampas de entrada (frontage roads) de una sola dirección. Se recomienda para este tipo de intersección que el carril del giro en U sea exclusivo para evitar una mayor congestión dentro de la intersección.

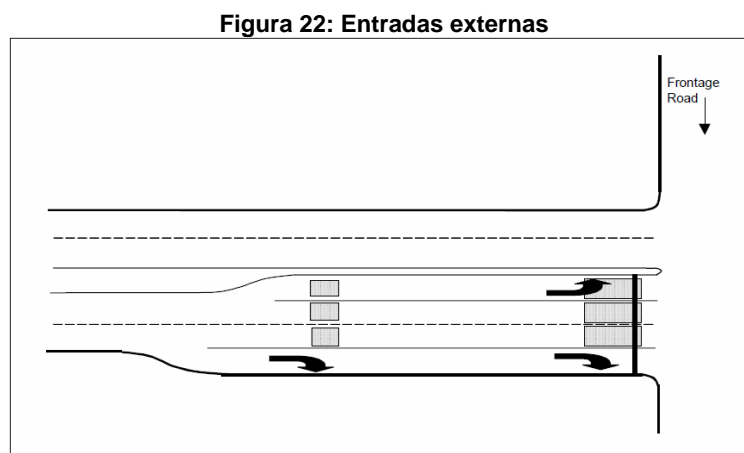
2.1.2.2. Rampas de Entrada (frontage roads approach)

La asignación del carril sobre la rampa de acceso debe reflejar la proporción de los movimientos de giro y de los movimientos a través de la intersección. El número de carriles desde los cuales los vehículos pueden doblar a la izquierda es limitado por el número de carriles disponibles en el interior del cruce. Esta limitación puede ser una restricción en la operación del cruce cuando existan tanto altos volúmenes de giro a la izquierda desde las rampas de acceso como altos volúmenes desde la entrada externa que pasan a través de la intersección. Las bahías de giro a la derecha deben ser diseñadas sobre las entradas de las rampas de acceso si el derecho de paso lo permite.

2.1.2.3. Entradas arteriales o externas

Idealmente la entrada arterial debe tener bahías de giro a la derecha.

Si la mayoría de los movimientos que van a través de la entrada arterial hacen giro a la izquierda en la señal en la parte de abajo del cruce (a través y el giro a la izquierda), será aconsejable diseñar un carril sobre la entrada arterial para el giro izquierdo en la parte de abajo como se ve en la Figura 22. Este carril adicional resultará en un uso más equilibrado de los carriles y reducirá el cruce de tráfico dentro del diamante entre los vehículos de giro izquierdo y los que van a través de la intersección.



Fuente: SIGNAL DESIGN MANUAL FOR DIAMOND INTERCHANGES 2000

2.1.2.4. Entradas internas

El número de bahías de giro a la izquierda para los giros izquierdos internos debe estar basado en la magnitud de los movimientos de giro izquierdo internos. Este número puede ser uno o dos carriles basado en el volumen. Algunos organismos también usan una configuración de carril-dividido para los movimientos de giro a la

izquierda y paso a través en la entrada interna. Los ingenieros de diseño deben evitar tales configuraciones si posible. La configuración carril-dividido debe ser utilizada cuando carriles de giro en U están presentes y la operación de cuatro fases es empleada en el cruce.

2.1.3. Diseño de las rampas de acceso

2.1.3.1. Velocidad de diseño:

La velocidad de diseño de una rampa debe ser relacionado con la velocidad de diseño del camino mayor de la intersección. Las velocidades de diseño de las rampas correspondientes a las velocidades de diseño de los caminos principales entre 80 y 100 kilómetros por hora están en la tabla. Las velocidades de diseño de 80 kilómetros por hora son aplicables a intersecciones en vías urbanas.

2.1.3.2. Distancia de visibilidad:

Los radios mínimos de la curva horizontal y la distancia de visibilidad correspondientes a las velocidades de diseño también están indicados en la tabla. Los valores de distancia de visibilidad son para proteger las condiciones de parada y ambos deben ser garantizados en las direcciones verticales y horizontales. La distancia de visibilidad debe ser medida entre dos puntos, uno a una altura de 1.2 metros sobre el nivel de la carretera representando los ojos del conductor y otro a 0.15 metros sobre el nivel de la carretera denotando el objeto.

2.1.3.3. Curvatura horizontal:

La curvatura horizontal de las rampas de acceso deberá preferiblemente ser de curva circular con transiciones en los dos finales de la rampa. Donde esto no sea posible una curva de dos radios puede ser empleada siempre y cuando el radio de la curva no sea menor a una y media veces el radio de la curva precedente.

Tabla 1: Velocidad, Curvatura horizontal y Distancia de visibilidad

VELOCIDAD, CURVATURA HORIZONTAL Y DISTANCIA DE VISIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE RAMPAS						
	Valores de diseño para vías principales con velocidades de diseño de				Para rampas de bucle	
	80 km/hr		100 km/hr			
	MIN.	RECOMENDADO	MIN.	RECOMENDADO	MIN.	RECOMENDADO
Vel. Diseño Rampa (km/hr)	40	50	50	65	30	40

Radio Curvatura (m)	60	90	90	155	30	60
Distancia Visibilidad (m)	45	60	60	90	25	45
Esta tabla contiene los valores recomendados y mínimos para diferentes elementos de diseño rampas, los valores de la velocidad de diseño de 80 km/hr son recomendados para vías urbanas						

Fuente: AASHTO 2001

2.1.3.4. Grado y Perfil:

Usualmente los perfiles de las rampas de acceso constan de una sección tangente entre dos curvas verticales, el valle de la curva está en la parte de abajo de la rampa y la cima de la curva en la parte de arriba de la curva. Las tangentes sobre las rampas deberán ser tan planas como sea posible y por conveniencia estas deberán ser limitadas a un máximo de un 4% y en ningún caso exceder un 6%.

Las curvas verticales en ambos fines de la rampa deberán ser diseñadas para que por lo menos provean la distancia mínima de frenado seguro correspondiente a la velocidad de diseño de la rampa. La longitud de las curvas verticales para velocidades entre 30 y 100 kilómetros por hora se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2: Longitud de curva vertical

LONGITUD DE CURVA VERTICAL		
Vel. Diseño (km/hr)	Dist. Frenado Seguro (m)	Long. Min. De Curva Vertical (m)
30	30	15
40	45	20
50	60	30
65	90	40
80	120	50
100	180	60
Esta tabla contiene la longitud mínima de la curva vertical para diferentes velocidades de diseño		

Fuente: AASHTO 2001

2.1.3.5. Terminales de rampa

La terminal de rampa es la porción adyacente al camino interior de la rampa en la cual están incluidos los carriles de cambio de velocidad, las disminuciones graduales (tapers) y las islas.

- Entradas

Las entradas deberán suministrar la longitud suficiente de carril de aceleración para permitir al conductor incrementar su velocidad desde que esta sobre la rampa de cambio en el camino hasta que alcance la velocidad de operación de la autopista, como también suministrar el espacio de maniobra para que el conductor pueda ver y tomar ventaja de una apertura en el flujo de tráfico adyacente y moverse dentro de él. En el final del carril de aceleración es de importancia que no haya bordillos u otras obstrucciones las cuales pueden ser peligrosas para el conductor, incapacitando su unión con el tráfico sobre carril adyacente dentro de la longitud del carril de aceleración.

Los carriles de aceleración son diseñados en dos formas generales, concretamente, el tipo de disminución gradual directa y el tipo paralelo. El tipo de disminución gradual trabaja sobre el principio de entrada directa en un ángulo plano y parte de carril es separado desde la autopista. Sin embargo esta forma es preferida generalmente por los vehículos, estos requieren más espacio con el giro localizado más allá del borde de la carretera principal. El tipo paralelo tiene un carril adicional construido sobre la autopista para propósitos de cambio de velocidad. Ambos tipos operaran satisfactoriamente si es diseñado apropiadamente, aunque el tipo de disminución gradual directa será apropiado para más casos.

La longitud de los carriles de aceleración es gobernada por la diferencia entre las velocidades de entrada de la rampa y la velocidad de la autopista. La longitud mínima y la longitud deseable de los carriles de aceleración se muestran en la tabla.

- Salidas

Las salidas deberán ser provistas con la suficiente longitud de carril de desaceleración para hacer posible que los vehículos dejen la autopista y reduzcan su velocidad para sortear la curva sobre la salida de la rampa. De forma similar a los carriles de aceleración, los carriles de desaceleración pueden ser de dos formas, del tipo de disminución gradual directa o del tipo paralelo. Las longitudes mínimas y deseables de los carriles de desaceleración están indicadas en la tabla.

Tabla 3: Longitudes de carriles de cambio de velocidad

LONGITUDES DE CARRILES DE CAMBIO DE VELOCIDAD	
TIPO DE CARRIL	LONGITUDES (m)

	Recomendada	Mínima
Carril Aceleración	250	180
Carril Desaceleración	120	90
Esta tabla contiene las longitudes mínimas y recomendadas para carriles de aceleración y desaceleración		

Fuente: AASHTO 2001

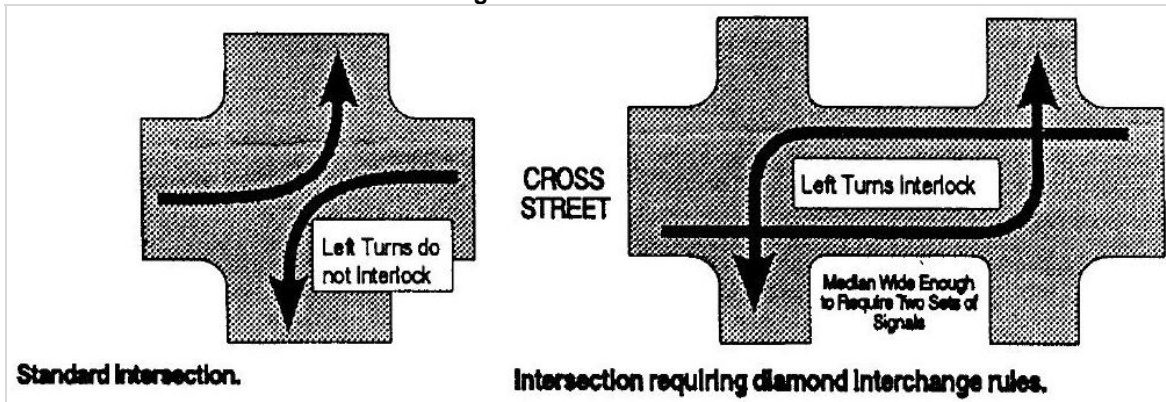
2.1.3.6. Secciones de entrecruzamiento

Las maniobras de entrecruzamiento tienen lugar en intersecciones donde sucesivas entradas y salidas están localizadas cerca de la otra como en un trébol. La capacidad de la sección de entrecruzamiento la cual depende de la longitud, el número de carriles de entrecruzamiento y la proporción de tráfico de entrecruzamiento deberá ser bastante adecuada para ejecutar la maniobra de entrecruzamiento sin una pérdida apreciable en la velocidad. Las longitudes deseables y mínimas de sección de entrecruzamiento son de 300 metros y 200 metros respectivamente.

2.2. OPERACIÓN

Una intersección tipo Diamante se caracteriza por componerse de dos vías de un solo sentido que están separadas por una pequeña distancia que pueden tener o no un tramo interno (ver figura 23), y que difieren en su operación con respecto a una intersección típica porque los giros a izquierda en ambos sentidos se cruzan, evitando que se atiendan en simultáneo.

Figura 23: Cruces viales



Fuente: DE CAMP 93

Para la operación de este tipo de intersecciones lo fundamental es una buena elección del sistema de fases y a su vez esto va ligado en primer lugar a su geometría, después las condiciones de tráfico a las cuales está sometida, y el derecho a vía, otros parámetros que determinan cuál seleccionar es el volumen transportado por ciclo para cada uno de los cuatro giros a la izquierda posibles y la capacidad de almacenamiento en las otras vías en espera.

Hay tres sistemas de operación para estas intersecciones, la TTI⁷ o sistema de operación de cuatro fases, el sistema de operación de tres fases y el sistema de operación Lead-Lag⁸.

A continuación se establecen ciertos conceptos que serán empleados en lo que sigue y que aclararan posibles confusiones:

- Fase

Históricamente se ha entendido por fase como el conjunto de movimientos que se pueden dar en simultáneo bajo un mismo contacto electromagnético en un controlador de indicadores de señales. Sin embargo, actualmente este concepto hace alusión a cada movimiento posible a realizar en la intersección.

- Overlap:

El término hace alusión a un intervalo de tiempo de carácter transicional en una intersección tipo diamante con un operador de cuatro fases. Sin embargo, en el contexto de los modernos controladores de tráfico un Overlap es un movimiento que puede ser controlado por dos o más fases.

- Intervalo:

Comúnmente hace referencia a un periodo de tiempo en el cual los indicadores de señalización no cambian, es decir, todas las fases conservan sus tiempos de rojo, amarillo o verde. Por otro lado, un intervalo de verde es aquel periodo de tiempo en el cual ninguno de los tiempos de verde cambia.

2.2.1. Sistema de operación de cuatro fases (TTI phasing)

⁷ Nombre dado a la operación de cuatro fases por la Texas Transportation Institute

⁸ Nombre dado por (XI)

Se caracteriza por operar las fases en el sentido de las manecillas del reloj con el fin de garantizar que quien entra a la primera intersección en verde tenga de nuevo una fase verde en la segunda intersección. La principal ventaja es que en este tipo de operación los giros a la izquierda tienen la prioridad, garantizando un flujo rápido al interior de la intersección. Por otro lado, es un tipo de operación bastante eficiente ya que permite el traslapeo de dos fases (cerca de 8 segundos) entre los sentidos opuestos de la arteria principal que llega a la intersección, esto se logra gracias a los tiempos de viaje dentro de la intersección.

La principal ventaja del sistema de operación de cuatro fases es que mantiene el interior de la intersección limpio de tráfico. Esto es de gran ayuda cuando los giros izquierdos están muy cargados de tráfico y el espacio de almacenamiento dentro de la intersección es muy pequeño a causa de la estrechez de las rampas de acceso.

El sistema de operación de cuatro fases es bueno para las expectativas del conductor porque a este siempre se provee una luz verde en el lado más lejano de la intersección. Esta progresión a través de la intersección es útil cuando el puente de la autopista principal obscurece la visibilidad hacia la parte de abajo del semáforo.

Otra ventaja es que el servicio alternado del cruce es a veces de gran ayuda para solucionar los problemas de difícil tráfico en esa calle. La progresión a lo largo de la intersección es a menudo un gran problema, especialmente cuando los giros izquierdos de las rampas de entrada están muy cargados comparado con los movimientos a lo largo de la vía secundaria.

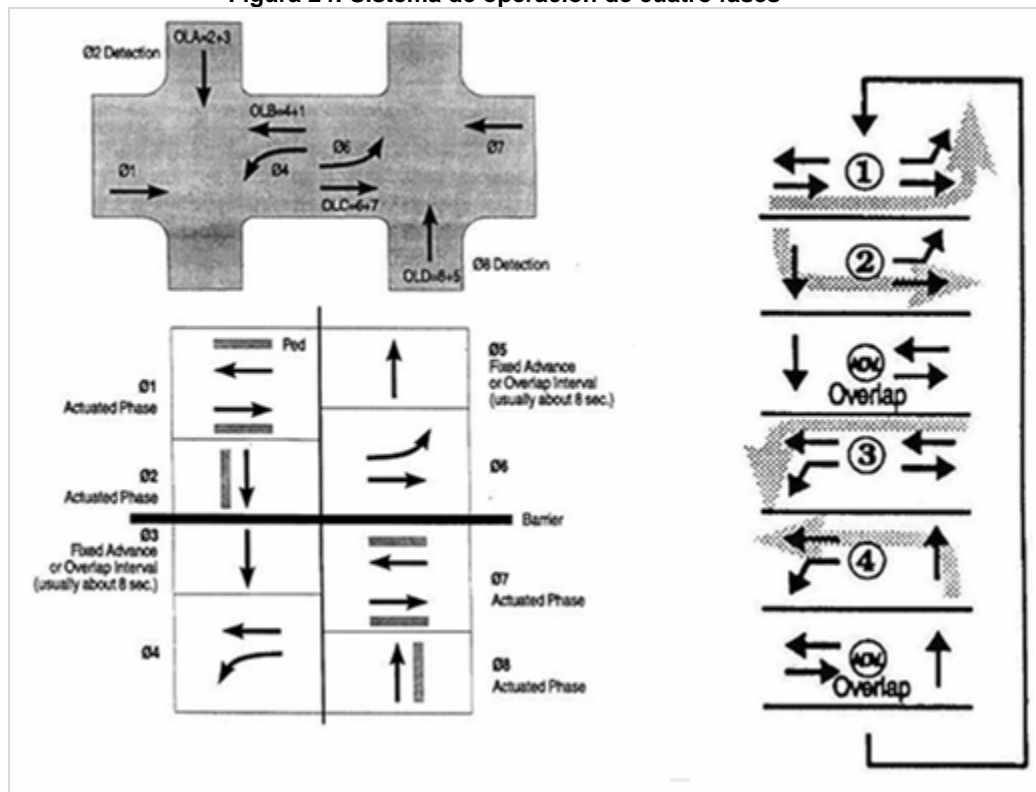
El mayor problema de este tipo de operación es que restringe el flujo en los carriles más externos de la intersección ya que se habilitan los giros a izquierda pero se limitan los cruces frontales. Esto resulta ser un problema cuando los volúmenes de tráfico son mayores en dirección de la arteria que llega a la intersección.

Para este tipo de operación los ciclos no deben ser menores al doble del tiempo que toma cruzar la intersección pues de lo contrario se dará embotellamiento de carros en el interior de la intersección. Por otro lado, los ciclos semafóricos no deben ser mayores a lo necesario para proveer equidad en los cruces frontales, considerándose equitativo cuando el grado de saturación en todas las direcciones es semejante.

Adicionalmente, mayores tiempos semafóricos en este tipo de intersección repercute en mayores tiempos de espera que en mayores capacidades de tráfico, por ello no se aconsejan ciclos muy grandes. Con respecto a los demás tipos de operación el TTI se destaca porque reduce tiempos con los “overlaps” o traslapos, ya que permiten que dos fases distintas trabajen en simultáneo por un corto espacio de tiempo.

Por otro lado, de la geometría se puede decir que el ancho interno de la intersección debe ser tal que se alcance a recorrer en medio tiempo del ciclo que permite el cruce frontal, para evitar congestiones en la parte interna y cuando se den los “overlaps”.

Figura 24: Sistema de operación de cuatro fases



Fuente: DE CAMP 93

El interior de la intersección limpio no obstante algunas veces trae consigo un muy alto precio. Porque el ciclo es dividido en cuatro intervalos externos separados, cada división externa es seriamente limitada especialmente cuando es comparada

con una intersección regular que tiene simultáneos giros a la izquierda y movimientos a lo largo de esta. Estos problemas no son resueltos con ciclos largos. El sistema de operación de cuatro fases es equivalente a una intersección regular con fases divididas en ambas calles. Esto no es del todo malo, porque los “*overlaps*” adicionan alguna eficiencia, y los diamantes usualmente están equipados con más carriles que una intersección convencional, pero aun así las señales tendrán la menor eficiencia sobre las entradas arteriales.

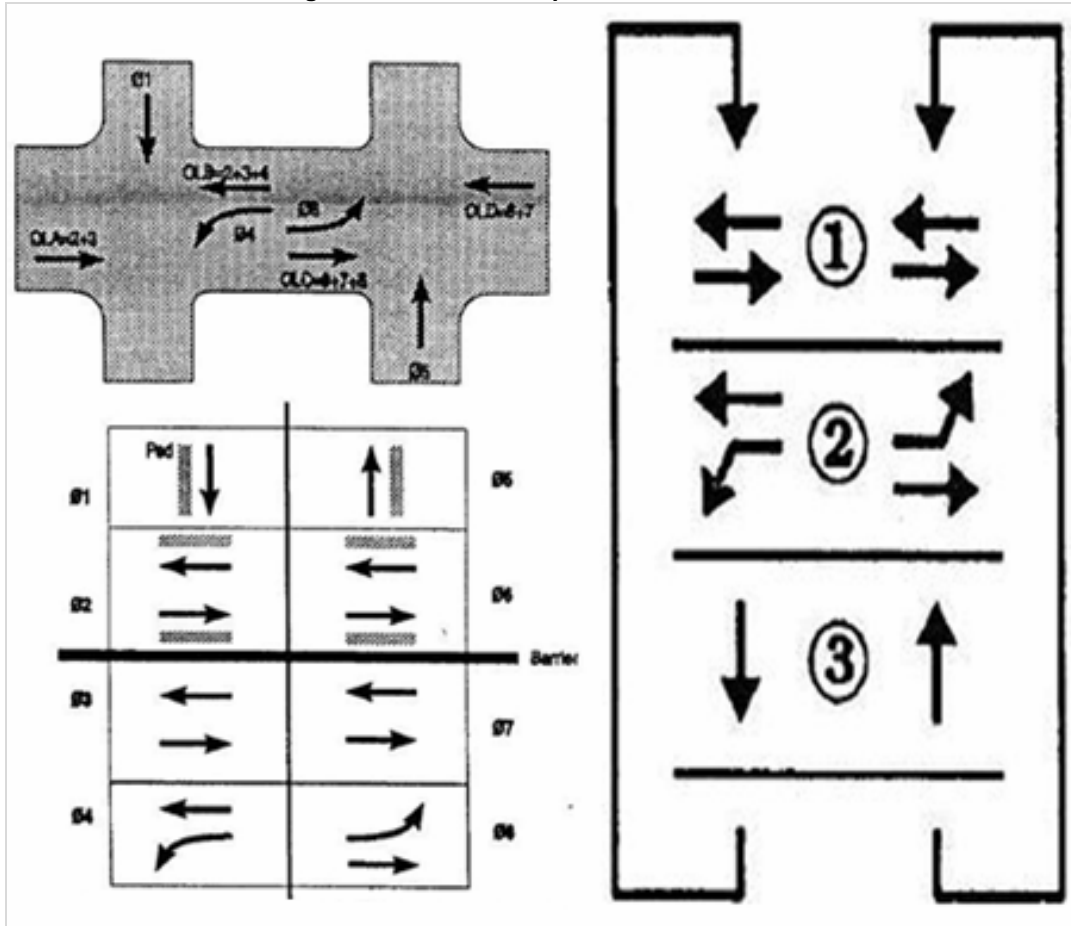
2.2.2. Sistema de operación de tres fases

Porque todos los movimientos a lo largo de la intersección corren simultáneamente, el sistema de operación de tres fases es más eficiente que el sistema de operación de cuatro fases cuando el espacio de almacenamiento en el interior de la intersección es adecuado. La única fase adicional es el giro interior izquierdo, el cual nunca deberá ser más largo que lo que se toma en despejar de todos los vehículos que se pueden almacenar entre las rampas de acceso. Porque el sistema de operación de tres fases no garantiza una progresión del tráfico a través de la intersección, los tiempos de luz verde externos no están limitados por los mecanismos de despeje vehicular del interior. El sistema de operación de tres fases por ende provee de una gran flexibilidad en la asignación de tiempos verdes y también generalmente concede ciclos cortos.

El sistema de operación de tres fases solo funciona cuando el interior de la intersección es lo suficientemente largo como para contener todos los giros izquierdos. O el espaciado debe ser sustancial, o las luces de los giros izquierdos. Por esta razón el sistema de operación de tres fases es apropiada para correr con los problemas de almacenamiento cuando estos volúmenes son pesados.

En este tipo de operación se le da prioridad a los cruces frontales los cuales tienen fases simultáneas. Al relegarse a un segundo plano los giros a la izquierda estos se tornan lentos. Dado que en este tipo de operación las fases para los cruces frontales son simultáneas no hay problemas de almacenamiento. A diferencia de un cruce típico con tres fases, este tipo de operación permite aliviar los giros a izquierda por el interior y a su vez mantener cruces frontales tal y como lo muestra la ilustración.

Figura 25: Sistema de operación de tres fases



Fuente: DE CAMP 93

Como los tiempos de espera en el interior de la intersección son mayores a los de una operación tipo TTI se espera que en este caso se cuente con un mayor espacio en el interior de la intersección tipo diamante que del que se necesitaría en una TTI, esto con el fin de garantizar el almacenamiento de vehículos que giran a la izquierda. El mayor inconveniente de este tipo de operación es que el almacenamiento de vehículos que giran a izquierda sea tal que bloquee el cruce frontal.

Para este caso de intersección tipo diamante se aconseja emplear ciclos más pequeños que los demandados por el tráfico, con el fin de evitar acumulación de tráfico en el interior de la intersección por parte de los vehículos que giran hacia la izquierda. Adicionalmente, esto garantiza equidad en la saturación en todas las vías que llegan a la intersección.

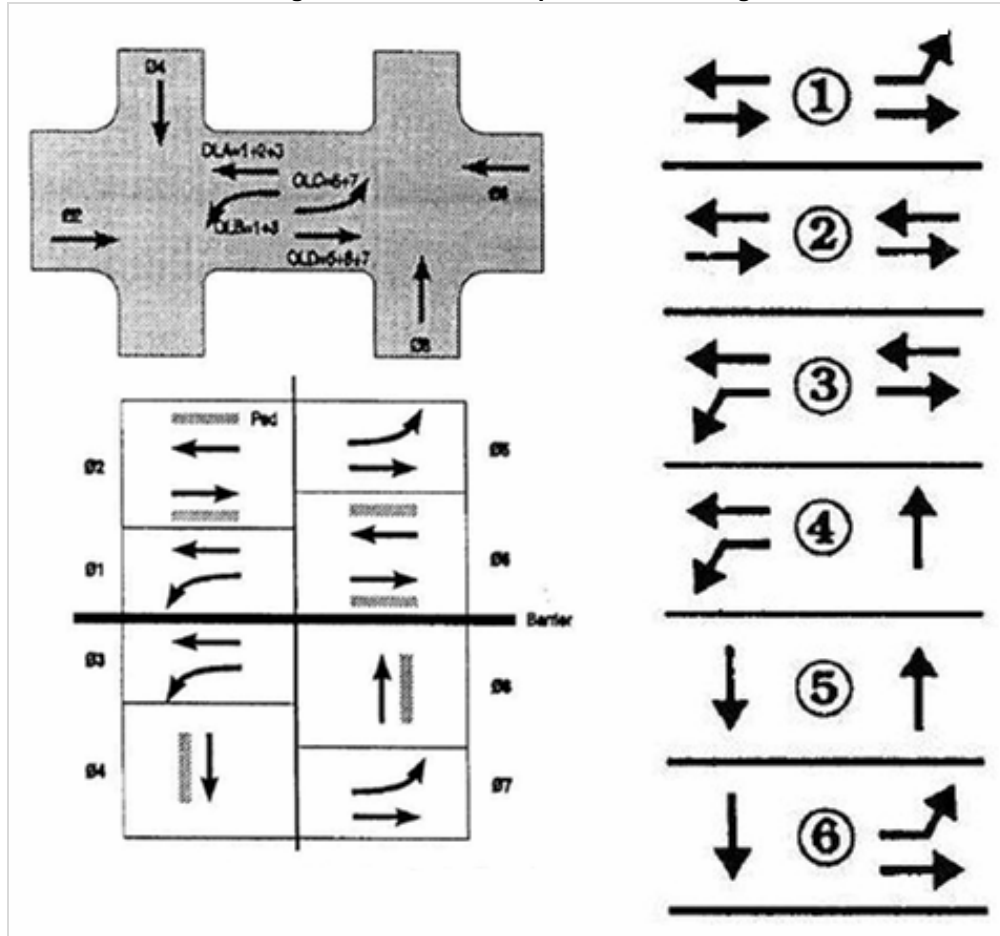
Con respecto a la geometría cabe resaltar que a mayor espacio interno mejor opera la intersección ya que evita la interferencia de los vehículos que esperan en los giros a izquierda con los vehículos que cruzan frontalmente.

2.2.3. Sistema de operación Lead-Lag

Cuando las divisiones resultantes del sistema de operación de cuatro fases causan aun mucha congestión, y el almacenamiento es inadecuado para el sistema de operación de tres fases, el sistema de operación Lead-Lag puede venir en ocasiones al rescate. El giro izquierdo más pesado es usualmente mejor atendido por el giro izquierdo retardado de este sistema de operación, porque estos giros izquierdos tienen la menor de las esperas y estos están completamente vacíos antes de que los giros de las rampas de entrada sean atendidos.

Adicionalmente en estas intersecciones las fases de los cruces frontales no son en simultáneo para la primera y la segunda intersección, sino que se inicia primero la fase de la segunda intersección para aliviar el interior de la intersección.

Figura 26: Sistema de operación Lead-Lag



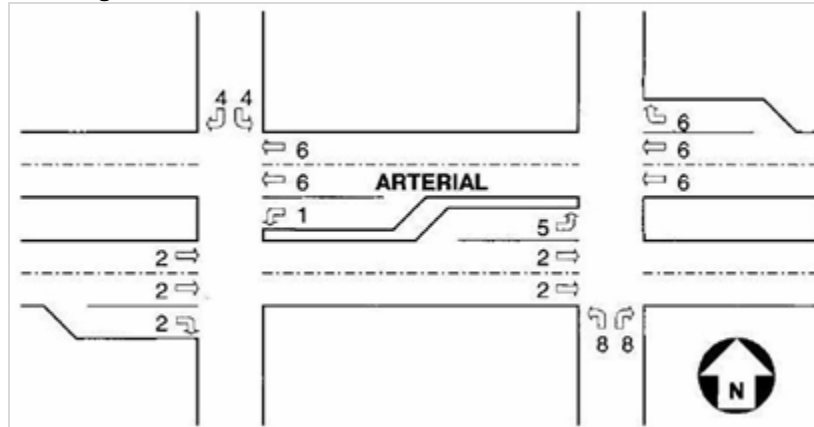
Fuente: DE CAMP 93

2.2.4. Controladores intersecciones diamante

El procedimiento más común para controlar una intersección tipo diamante es empleando dos controladores, uno para cada rampa (intersección derecha e izquierda), tal y como se aprecia en la figura 27, y donde cada controlador presenta una estructura de anillos (figura 28).

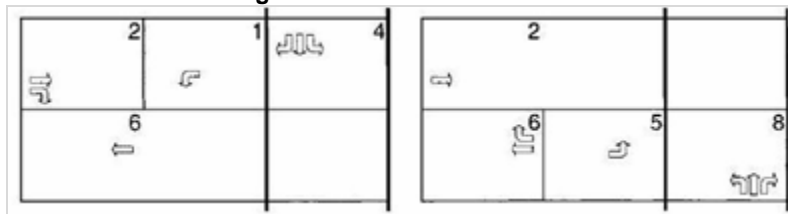
Si no se emplea un coordinador entre las dos intersecciones estas trabajan de forma independiente pudiéndose generar ineficiencia en el caso de haber un volumen importante de tráfico en la arteria. Para evitar tal ineficiencia se recurre a un coordinador de fondo que permita un nivel razonable de progresión del tráfico a través de la intersección tipo diamante. Con esta coordinación se busca que haya dos fases en simultaneo (1 y 2, y 2 y 5 o 2 y 6, y 1 y 6) y que el desplazamiento relativo entre las fases coordinadas sea cero o cercano a cero.

Figura 27: Numeración de fases de la intersección diamante



Fuente: NELSON, BULLOCK, URBANIK 2000

Figura 28: Secuencia de fases



Fuente: NELSON, BULLOCK, URBANIK 2000

Este tipo de controladores funcionan bien siempre y cuando las distancias al interior de la intersección sean grandes, pero a medida que estas distancias disminuyen y los volúmenes de tráfico en los giros internos a izquierda aumentan la eficiencia disminuye y se empiezan a presentar represamientos de tráfico en el interior de la intersección.

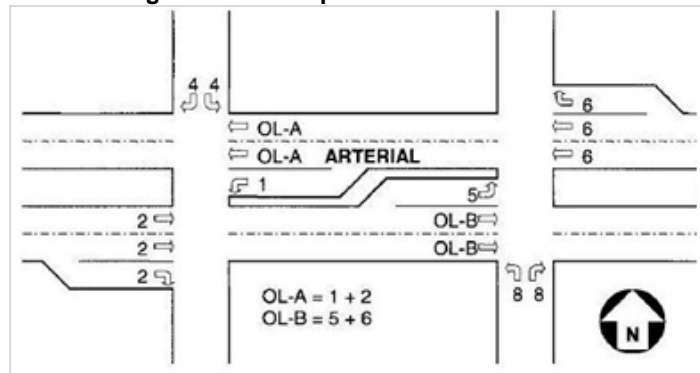
- Un controlador en un operador de tres fases.

Sobre el uso de dos controladores en una intersección tipo diamante se pueden hacer varias anotaciones, en primer lugar, mientras las fases 1 y 2 están siendo servidas también lo hace la fase 6. Si se considerara esta última fase como un Overlap se podría un solo anillo para controlar la intersección de la izquierda. Así mismo ocurre con la fase 2 mientras son servidas las fases 5 y 6 en la intersección de la derecha, por ende se crean dos Overlaps: A y B para las fases 6 y 2, respectivamente (figura 29).

En la estructura de anillos para un solo controlador (figura 30) la parte superior controla la intersección izquierda mientras la parte inferior controla la derecha. Se presentan cuatro alternativas, una con tres barreras, otra con dos, con una barrera y sin barreras. Cada barrera es una restricción a la progresión del tráfico a través

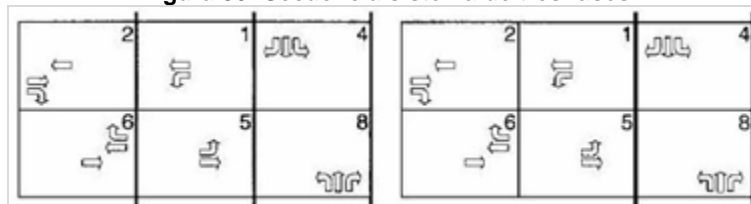
de la intersección, donde cuatro barreras es la opción con mayor restricción y sin barreras es semejante a una intersección sin coordinación y las dos intersecciones operan independientemente. El uso de dos barreras permite independencia para los movimientos frontales externos mientras que una sola barrera solo es conveniente emplearla en caso tal que los volúmenes de tráfico en las rampas sean bajos y brinden más tiempo de verde a la arteria.

Figura 29: Overlaps sistema de tres fases



Fuente: NELSON, BULLOCK, URBANIK 2000

Figura 30: Secuencia sistema de tres fases



Fuente: NELSON, BULLOCK, URBANIK 2000

Varias anotaciones hay que mencionar al respecto, primero las fases 1 y 5, alusivas a movimientos a izquierda internos, emplean un detector estándar y todas las rampas y movimientos frontales en la arteria (fases 2, 4, 6 y 8) utilizan detectores avanzados para mejorar la eficiencia reduciendo tiempos de verde excesivos. Adicionalmente cuentan con Stop bars que previene que los vehículos queden atrapados entre el detector avanzado y el Stop bar, adicionalmente, permanecen activas hasta que la fila en espera es atendida.

Las ventajas de emplear un solo controlador en este tipo de intersecciones diamante es que reduce el costo que incluye el requerir de otra cabina de control del tráfico, lográndose ahorrar hasta 6000 dólares en equipos. Por otro lado, con un controlador la intersección gana dinamismo ya que la coordinación de las señales se hace según la demanda y no por ciclos fijos según la hora del día tal y como ocurre en el caso de emplear dos controladores.

Sin embargo, se advierte que una desventaja es que al haber un único controlador, en el caso de fallar este la intersección fallaría en su totalidad, es decir, ambos lados de la intersección (derecha e izquierda) colapsarían.

- Un controlador en un operador de cuatro fases.

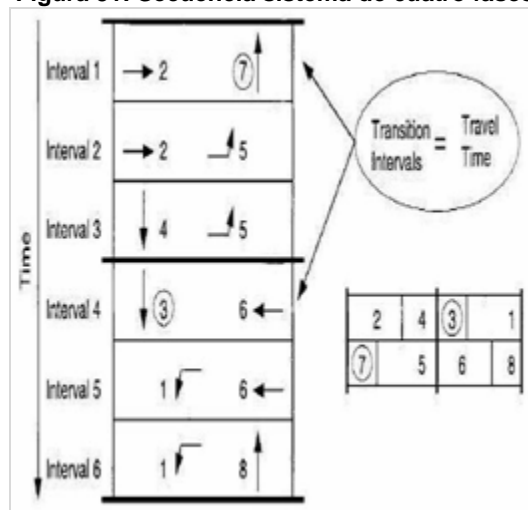
Como ya se menciona el operador de cuatro fases se emplea cuando es de interés resolver los problemas de almacenamiento de tráfico en los giros internos hacia izquierda, ya sea porque el espacio entre las dos vías de un solo carril decrece o los volúmenes de tráfico en los giros internos hacia izquierda son altos. La lógica de este operador es ir sirviendo secuencialmente a los cuatro giros externos (fases 2, 4, 6 y 8 ver figura 31) con dos intervalos de verde de transición.

Al observar la estructura de anillos se puede describir cada uno de los intervalos de verde como sigue:

- a) Intervalo dos

En la intersección de la izquierda la fase 2 es atendida mientras que en la intersección derecha es servida la fase 5. Dado que el Overlap B es servido al mismo tiempo que la fase 5 en esta fase también se realiza el movimiento frontal sobre la artería en la intersección de la izquierda.

Figura 31: Secuencia sistema de cuatro fases



Fuente: NELSON, BULLOCK, URBANIK 2000

- b) Intervalo tres

Se sigue sirviendo a la fase 5 y al Overlap B en la intersección derecha, sin embargo, para la intersección izquierda se atiende al tráfico proveniente de la vía en un solo sentido (Overlap C). Cabe indicar que los tiempos de las fases 3, 4 y 5 han de estar coordinados de forma tal que cuando termine la fase 3 quede suficiente tráfico represado en el Overlap C para que la duración del intervalo 4 sea suficiente para que todo este tráfico represado en el Overlap C alcance a ser despachado mientras el tráfico proveniente de la intersección derecha atraviese todo el interior de la intersección, fase 6, justo antes de iniciar el intervalo cinco. Esta coordinación se logra gracias a los dos detectores que se instalan en el Overlap C y con este método se incrementa la eficiencia del operador pues da un pequeño intervalo de transferencia sirviendo por corto tiempo a dos movimientos que parecieran entrar en conflicto como lo son el Overlap C y la fase 6.

c) Intervalo cinco

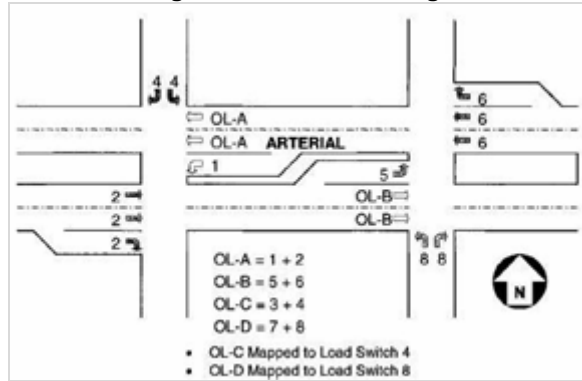
En la intersección derecha se sigue atendiendo la fase 6 tal y como se hizo en el intervalo cuatro, mientras que en la intersección izquierda se sirven al tiempo al Overlap A y al giro interno hacia la izquierda, fase 1.

Los intervalos restantes, seis y uno, son análogos a el tercer y cuarto intervalo; con la anterior descripción queda clara la importancia de un solo controlador para la intersección tipo diamante, ya que de esta forma se pueden controlar los detectores en las dos intersecciones (derecha e izquierda) al tiempo y permitir intervalos de transición como lo son el uno y el cuatro, los cuales no se podrían llevar a cabo con igual precisión y dinamismo en el caso de usar dos controladores.

- Asignación de bahías de carga.

Los Overlaps C y D son necesarios para un operador de cuatro fases, sin embargo, para un operador de tres fases es necesario eliminar estos Overlaps para sostener las tres fases, por ende, se sugiere asignar a cada uno una bahía de carga, en la figura 32 se muestra que para el Overlap C se asigna la bahía de carga 4 y para el Overlap D la bahía de carga 8.

Figura 32: Bahías de carga

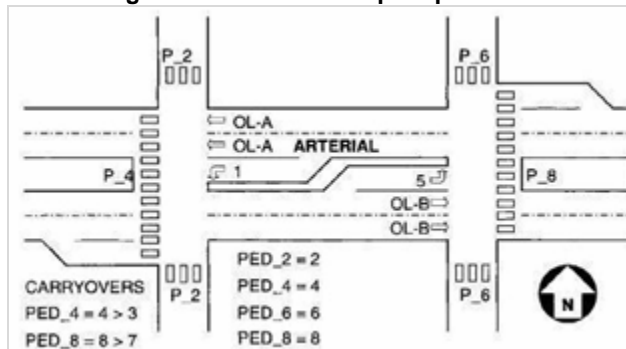


Fuente: NELSON, BULLOCK, URBANIK 2000

- Indicaciones para peatones.

Las indicaciones para peatones deben configurarse como se ilustra en la figura 33. Para un peatón que desee cruzar las dos vías en un solo sentido (P_2 y P_6) mientras se sirve el tráfico vehicular en la arteria no debe tener problemas dadas las cortas distancias en esa dirección, sin embargo, el peatón tendrá problemas cuando desee cruzar la arteria (P4_ y P_8). Por ello se plantea la posibilidad de dar paso a los peatones mediante Overlaps que habiliten el cruce del peatón durante dos fases. Así para alguien que desee hacer el paso P_4 tendrá las fases peatonales 4 y 5, mientras que alguien que desee hacer el paso P_8 tendrá las fases peatonales 7 y 8.

Figura 33: indicaciones para peatones



Fuente: NELSON, BULLOCK, URBANIK 2000

- Operando tanto tres como cuatro fases por un controlador.

En ciertas ocasiones es deseable trabajar con un operador de tres fases y en otras con un operador de cuatro fases, dependiendo de los volúmenes de tráfico presentes en los giros a izquierda internos. Por ejemplo, se puede recurrir a un operador de cuatro fases en horas pico y a un operador de tres fases en horas no

pico. Para trabajar ambos operadores bajo un solo controlador se deben montar los seis intervalos del operador de tres fases y los ocho intervalos del operador de cuatro fases, para un total de catorce fases que deben ser controladas y que se programan para ser ejecutadas en ciertas horas del día.

- Selección del número de controladores.

El principal problema a resolver es el número de controladores que se requieren para operar en la intersección diamante. Un solo controlador es en general suficiente y tiene la operación superior en comparación a dos controladores.

Dos controladores de vez en cuando son requeridos cuando existe más tiempo de separación entre las intersecciones.

Existe un rango que determina el número de controladores en función de la separación de las intersecciones.

- a) Espaciamento intersección ≤ 800 ft (Aproximadamente 244 mts) un controlador
- b) Espaciamento intersección > 800 ft (Aproximadamente 244 mts) dos controladores

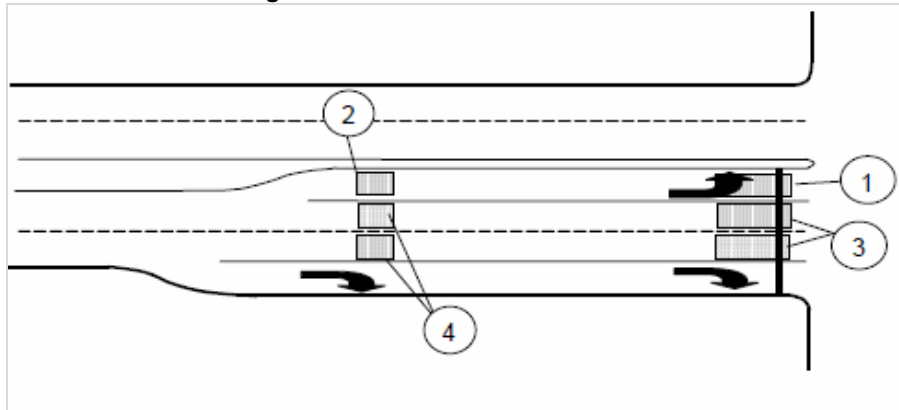
Entre las principales razones por las que se hace necesario utilizar dos controladores, son principalmente de tipo tecnológico, primero el alto costo de llevar todos los cables para los detectores y la señal a un solo lugar en el caso de un solo controlador, la caída de tensión en la señal debido a la gran longitud del cable, y las deficiencias del técnico para ver las indicaciones de la señal y el tráfico en la intersección.

- Detectores.

Su configuración y uso depende del tipo de intersección diamante que se pretenda utilizar, de su operación y del tipo de señalización.

En las siguientes figuras se muestra la ubicación de dichos detectores:

Figura 34: Localización de detectores



Fuente: NELSON, BULLOCK, URBANIK 2000

Existen unas condiciones para la ubicación de estos detectores las cuales dependen de la velocidad de aproximación y del espaciamento promedio de las intersecciones, en la siguiente figura se muestran dichas condiciones:

Tabla 4: Condiciones para la ubicación de detectores

Velocidad Aproximación	Ubicación detector regular aguas arriba (pies)	Ubicación detector regular aguas arriba de una rampa para operación de cuatro fases con varios espaciamentos (pies)					
		150 pies	200 pies	250 pies	300 pies	350 pies	400 pies
30 mph	176	529	573	639	706	750	794
35 mph	206	617	669	746	823	875	875
40 mph	235	706	764	853	941	941	941
45 mph	265	794	860	959	992	992	992

Fuente: NELSON, BULLOCK, URBANIK 2000

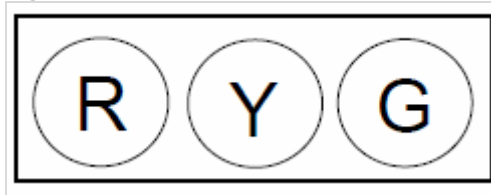
2.3. SEÑALIZACIÓN

2.3.1. Características generales

Un diseño integral de la señalización de una intersección diamante es esencial para su buen funcionamiento. El proceso de diseño debe considerar los escenarios probables de funcionamiento que el ingeniero de operaciones enfrentará en el futuro. El diseño de las señales, también debe considerar las necesidades de los técnicos encargados del mantenimiento.

En este tipo de intersecciones sobresale el tipo de señalización elevada con mástiles horizontales donde cuelgan cada uno de los controladores e indicadores para permitir o restringir el flujo según la fase semafórica correspondiente.

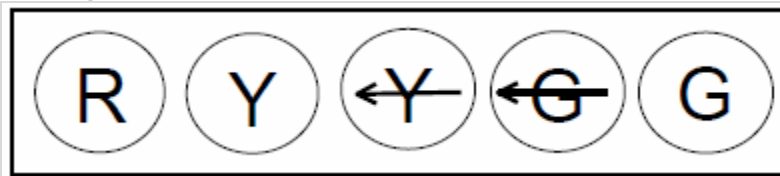
Figura 35: Señalización de mástil horizontal



Fuente: SIGNAL DESIGN MANUAL FOR DIAMOND INTERCHANGES 2000

En general, este tipo de señal debe ser instalada en los brazos del mástil montado horizontalmente, las cabezas de la señal deben tener lentes de 12-pulgadas (30,5 cm), se recomienda utilizar siempre una cabeza en cinco secciones para la circulación interna izquierda cuando existe un único giro a la izquierda con un único carril diferenciado para dicho giro, esto permite una mayor flexibilidad en la eliminación en una etapa posterior.

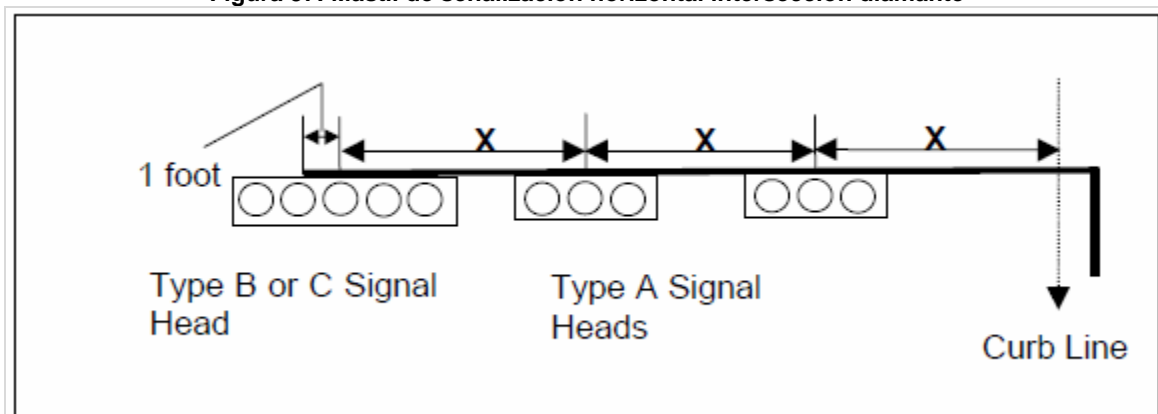
Figura 36: Señalización de mástil horizontal de 5 secciones



Fuente: SIGNAL DESIGN MANUAL FOR DIAMOND INTERCHANGES 2000

Las cabezas de la señal deben estar uniformemente espaciadas a lo largo del mástil del brazo desde la línea de acera y no necesariamente centrado sobre los carriles o líneas de carril. La longitud del brazo del mástil dependerá en el número de señales a ser instaladas, del ancho de los carriles y la topografía del sitio.

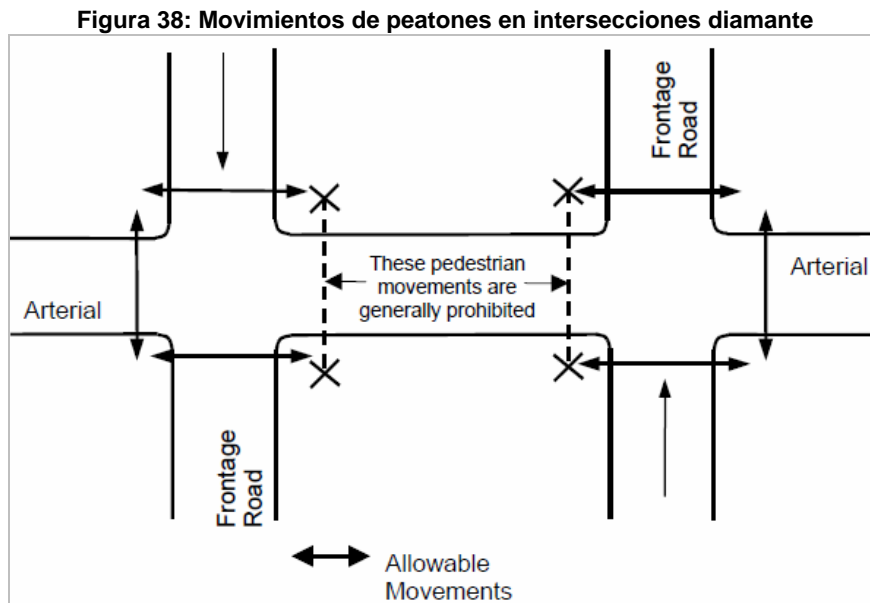
Figura 37: Mástil de señalización horizontal intersección diamante



Existe un sistema que permite el manejo o el control por parte de los peatones para este tipo de intersecciones, dichos mecanismos son botones. Los cuales son pulsadores que se encuentran siempre en todas las direcciones en que es factible para cruzar a los peatones.

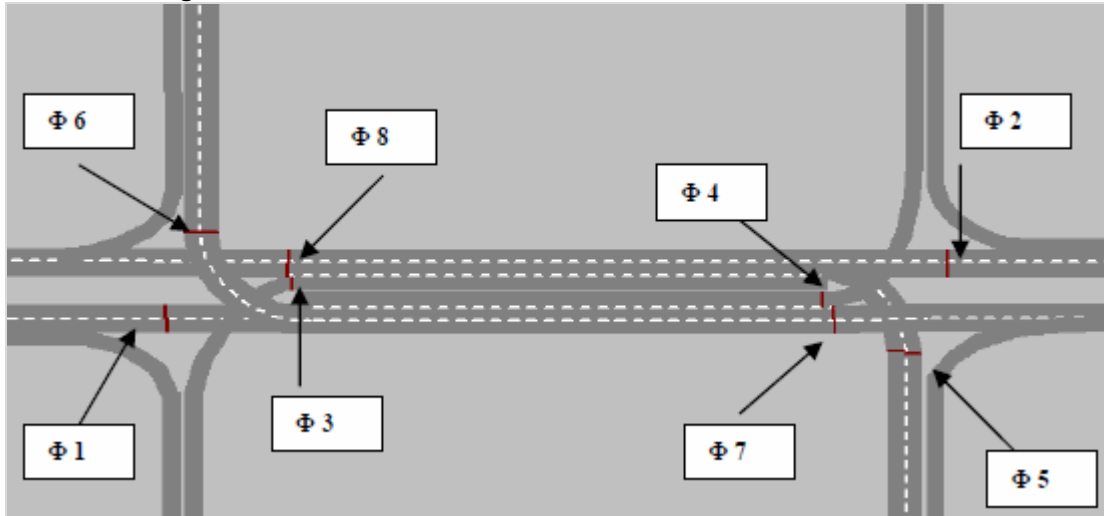
Si los movimientos peatonales deben estar prohibidos, esta deberá ser simbolizada y fijada con información que diga "No cruce de peatones".

En las intersecciones diamante señalizados, los pasos de peatones son típicamente prohibidos desde el interior del diamante, como se muestra en la figura 38:



En lo relacionado con los tiempos que controlan los ciclos semafóricos en este tipo de intersección existe un estándar mínimo que guía la operación en este tipo de intersecciones, pero que no son tiempo fijos ya que estos dependen del volumen de tráfico y de las condiciones particulares de la intersección.

Figura 39: Codificación fases semafóricas en intersecciones diamante



Fuente: EDARA, BARED, JAGANNATHAN 2008

Tabla 5: Tiempos de fases semafóricas

Fase (φ)	Tiempo verde actual (seg) long. Ciclo= 130 segs
1	18 a 65
2	17 a 64
3	71 a 95
4	70 a 119
5	124 a 12
6	101 a 10
7	18 a 102
8	18 a 87

Fuente: EDARA, BARED, JAGANNATHAN 2008

Las señales sobre las intersecciones deberán tener las siguientes funciones:

- Estas deberán suministrar la información necesaria de la entrada de la intersección
- Estas deberán dirigir bien a los conductores dentro de los carriles apropiados para los movimientos de división o unión del tráfico
- Estas deberán identificar las rutas y direcciones sobre estas rutas
- Estas deberán mostrar las distancias a los destinos
- Estas deberán proveer de otra información de importancia para el conductor

El tamaño e inscripción de las señales de la intersección deberán corresponder al tipo de carretera sobre la cual este situada la intersección. Cualquiera sea el caso,

las letras, números, símbolos y bordes deberán ser refractivos para una mejor visualización.

El plan de señalización que mostrara el tipo y localización de las diferentes señales deberá ser preparado simultáneamente con el diseño de la intersección.

2.3.2. Características específicas

A continuación se presenta un recuento de la señalización que debería llevar una intersección de este tipo basados en la normatividad dada en nuestro país.

2.3.2.1. Señalización vertical

Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas.

Existen tres tipos de señales según su función, preventivas, reglamentarias e informativas

- Señales preventivas

Llamadas también de prevención, tienen por objeto advertir al usuario de la vía la existencia de una condición peligrosa y la naturaleza de ésta. Se identifican con el código SP. Se utiliza el cuadrado con diagonal vertical rombo.

En las intersecciones tipo diamante suelen ser utilizadas las siguientes señales:

- a) SP-11

Se empleará esta señal para advertir al conductor la proximidad al cruce de dos vías. Esta señal deberá complementarse con las señales SR-01 - Pare o SR-02 - Ceda el paso y SR-30 - Velocidad máxima. En carreteras y vías urbanas de alta velocidad, también deberá complementarse con la señal SP-29 - Prevención de pare o SP-33 - Prevención de ceda el paso.

Figura 40: Señal SP-11



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

b) SP-17

Estas señales se emplearán para advertir al conductor la proximidad a una bifurcación de la vía por el costado derecho.

Estas señales deberán complementarse con las señales SR-01 - Pare o SR-02 Ceda el paso y SR-30 - Velocidad máxima. En carreteras y vías urbanas de alta velocidad, también deberán complementarse con SP-29 - Prevención de pare o SP-33 - Prevención de ceda el paso.

Figura 41: Señal SP-17



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

c) SP-22

Estas señales se emplearán para advertir al conductor la proximidad a una intersección oblicua en la cual se presenta una incorporación de tránsito por la derecha de la vía.

Deberá complementarse con la señal reglamentaria SR-01 - Pare, cuando no exista carril de aceleración y SR-02 - Ceda el paso, cuando exista éste.

Figura 42: Señal SP-22



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

d) SP-50

Esta señal se empleará para advertir al conductor la proximidad a una estructura cuyo espacio libre vertical está limitado al indicado, en metros, en la señal. La cifra anotada debe aproximarse a la décima inferior; por ejemplo 4,38, se indica en la señal 4,30. Independiente de su ubicación a lo largo de la vía, en caso de ser necesario se podrá repetir la señal con la debida anticipación de tal forma que le permita al conductor optar por una alternativa de desvío.

Deberá complementarse con la señal reglamentaria SR-32 - indicativa de altura máxima permitida, la cual deberá indicar la misma dimensión.

Figura 43: Señal SP-50



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

e) SP-51

Esta señal se empleará para advertir al conductor la proximidad a una estructura cuyo ancho libre está limitado al indicado en la señal, en metros. La cifra anotada debe aproximarse a la décima inferior; por ejemplo 3,48, se indica en la señal 3,40.

Deberá complementarse con la señal reglamentaria SR-33 - indicativa del ancho máximo permitido, la cual deberá indicar la misma dimensión.

Figura 44: Señal SP-51



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

- Señales reglamentarias

Las señales reglamentarias o de reglamentación tienen por objeto indicar a los usuarios de la vía las limitaciones, prohibiciones o restricciones sobre su uso.

Estas señales se identifican con el código SR. Su forma es circular excepto en algunos casos como las SR-01 y SR-02 entre otras

a) SR-01

Esta señal se empleará para notificar al conductor que debe detener completamente el vehículo y sólo reanudar la marcha cuando pueda hacerlo en condiciones que eviten totalmente la posibilidad de accidente, especialmente en casos como la intersección con una vía de mayor jerarquía, la intersección de una calle con una carretera, la intersección de dos vías, en la cual la prelación de paso no está definida, En cualquier tipo de intersección donde la combinación de altas velocidades, distancia de visibilidad restringida, registro de accidentes, etc., hace necesario detener el vehículo completamente para evitar accidentes, etc.

Figura 45: Señal SR-01

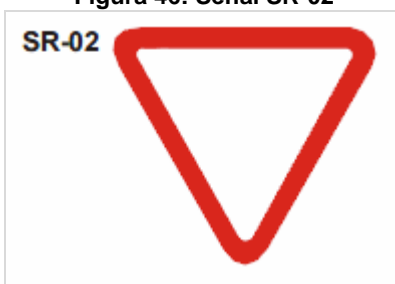


b) SR-02

Esta señal se empleará para notificar al conductor la prelación de la vía en la cual se va a incorporar. Deberá colocarse en todo lugar en donde se requiera disminuir la velocidad o detener el vehículo, para ceder el paso a los que circulan por la vía prioritaria e ingresar a ésta sólo cuando pueda hacerlo en condiciones que eviten totalmente la posibilidad de accidente.

Se usará principalmente cuando se acceda a vías con prelación de paso a través de carriles de aceleración, en glorietas y en donde el estudio de ingeniería de tránsito así lo indique.

Figura 46: Señal SR-02



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

c) SR-20

Esta señal se empleará para notificar a los peatones que está prohibida su circulación sobre la calzada. Se usará en aquellos lugares en los que el tránsito vehicular haga peligrosa la circulación de peatones por la vía.

Figura 47: Señal SR-20



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

d) SR-30

Esta señal se empleará para notificar la velocidad máxima a la que se puede circular (velocidad de operación), expresada en múltiplos de 10 y en kilómetros por hora (km/h). La limitación de velocidad debe aparecer razonable y no innecesariamente restrictiva, pues los límites excesivos perjudican la credibilidad de la señalización, la capacidad de la carretera, o provocan accidentes por alcance o formación de colas. Su utilización deberá estar soportada en un estudio de velocidad de operación.

Figura 48: Señal SR-30



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

e) SR-32

Esta señal se empleará para notificar a los conductores la altura máxima total permitida a los vehículos y su carga, para el tránsito por la vía. Deberá expresarse en metros y aproximarse a la décima inferior; Por ejemplo 4,38 m se indica en la señal 4,30 m. Deberá ser el complemento de la señal SP-50 Altura libre y ser concordante con la dimensión expresada en ésta.

Figura 49: Señal SR-32



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

f) SR-33

Esta señal se empleará para notificar a los conductores el ancho máximo total permitido a los vehículos y a su carga, expresado en metros. Esta dimensión

deberá corresponder al 90% del espacio total de la estructura, aproximada a la décima menor. Esta señal deberá ser el complemento de la señal preventiva SP-51 - Ancho libre y ser concordante con la dimensión expresada en ésta.

Figura 50: Señal SR-33



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

- Señales informativas

Las señales informativas o de información, tienen por objeto guiar al usuario de la vía suministrándole la información necesaria sobre identificación de localidades, destinos, direcciones, sitios de interés turístico, geográficos, intersecciones, cruces, distancias por recorrer, prestación de servicios, etc. Estas señales se identifican con el código SI.

- a) SI-01

Esta señal se empleará para informar a los usuarios el carácter de nacional de una vía y la codificación que le corresponde en la nomenclatura vial.

Figura 51: Señal SI-01



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

- b) SI-05

Esta señal se empleará para indicar a los conductores, antes del paso por una intersección, la dirección correcta a seguir para llegar a una población, sitio de interés, o destino de viaje, mediante el uso de mensajes escritos y flechas. Deben

ser complementadas con señales reglamentarias que regulen la velocidad de aproximación a la intersección, lo mismo que de señales preventivas que adviertan al usuario sobre el tipo de intersección que encontrará. Igualmente podrán complementarse con la señal de ruta correspondiente.

La señal deberá indicar al menos dos destinos con orientaciones diferentes. Los destinos se ubicarán en la señal de acuerdo con la prioridad de uso de las flechas, así:

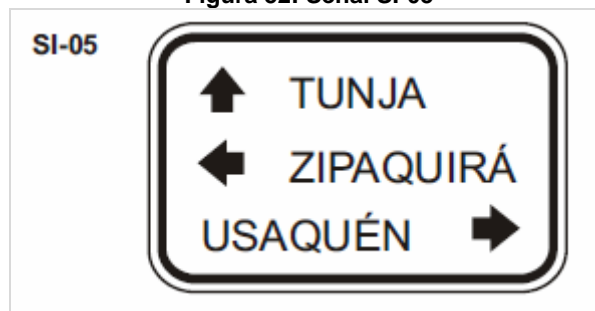
Siempre en primer lugar el (los) destino(s) indicado(s) para seguir de frente. En este caso se coloca inicialmente, al lado izquierdo, una flecha dirigida hacia arriba, seguida del destino por señalar.

Seguido a los destinos con tránsito de frente, o en primer lugar en el caso de no existir estos, se ubicará(n) el (los) destino(s) indicado(s) para girar a la izquierda. Se coloca al lado izquierdo una flecha dirigida hacia la izquierda, seguida del destino señalado.

En el (los) último(s) renglón(es) de la señal siempre se ubicará(n) el (los) destino(s) que indique giro a la derecha. Se colocará al lado izquierdo el destino señalado, seguido de una flecha dirigida hacia la derecha.

En estas señales las leyendas no deben indicar más de tres destinos, uno por renglón. En caso de ser necesario indicar más destinos, deben ser colocadas más señales de este tipo, separadas a una distancia no menor de 60 m. Para el caso de las señales elevadas se indicará un máximo de dos destinos.

Figura 52: Señal SI-05



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

c) SI-05A

Esta señal se usará para informar a los conductores, en el sitio mismo de decisión, los destinos a que conducen cada uno de los ramales de una intersección. Está

representada por medio de mensajes modulares con tableros en forma de flecha que indican una misma dirección, sin exceder tres (3) destinos.

Figura 53: Señal SI-05A



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

d) SI-05B

Esta señal se empleará para informar a los conductores los diferentes destinos y sus correspondientes movimientos en glorietas, rampas de salida y conexiones de las intersecciones a desnivel.

Figura 54: Señal SI-05B



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

e) SI-06

Esta señal se empleará para informar a los conductores, después del paso por una intersección o población, el nombre y la distancia, en kilómetros, por recorrer para llegar a los destinos indicados en la señal. Podrá estar acompañada de la señal de ruta correspondiente.

El orden en que se colocarán los destinos en la señal, estará de acuerdo con las distancias indicadas, quedando primero el destino más próximo y de último el más lejano. El nombre de los destinos se colocará al lado izquierdo y las distancias al lado derecho de la señal. Deben ser incluidas máximo tres localidades, a excepción de las señales elevadas que máximo deberán indicar dos destinos.

Se pueden combinar en una misma señal la SI-05 y la SI-06, en vías con volumen de tránsito inferior a 250 vehículos por día.

Figura 55: Señal SI-06



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

f) SI-26

Esta señal se empleará para informar a los usuarios de las vías urbanas acerca de la nomenclatura vial de la ciudad.

Figura 56: Señal SI-26



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

- Señales elevadas

Algunos mensajes informativos pueden darse a través de señales elevadas, las cuales corresponden a estructuras de gran tamaño, visibles a distancias lejanas y las cuales son aplicables en vías principales, autopistas o vías expresas en donde los vehículos circulan a velocidades relativamente altas.

Estos dispositivos de tránsito, en ningún caso deben contener mensajes publicitarios.

Existen tres clases de señales elevadas, bandera, doble bandera y pasavías, las señales elevadas en la intersección se utilizarán como señales de destino (SI-05, SI-05A, SI-05B, SI-06).

Para el caso de las señales de destino tipo pasavías se colocará, en lo posible, una lámina informativa por cada carril de circulación.

En el diseño del mensaje de las señales informativas elevadas se debe utilizar el alfabeto serie estándar para las minúsculas y para la primera letra que va en mayúscula emplear la serie E del alfabeto contenido en el presente capítulo. La altura de las letras mayúsculas depende del límite de velocidad establecido en el sector o del 85% del promedio de velocidad utilizado por los usuarios; la cual corresponde a 1,5 veces la altura de la letra minúscula.

Las señales informativas elevadas, SI-05, colocadas sobre carriles de circulación se ubican de acuerdo con el tránsito promedio diario (TPD) de la vía, así:

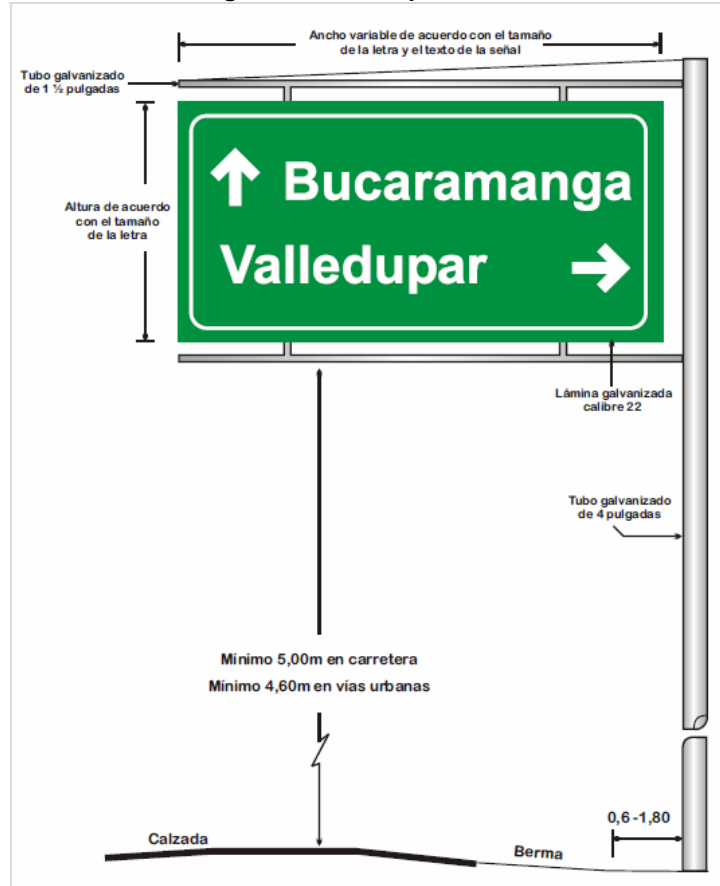
Cuando el desvío es hacia una vía con TPD > 5.000 vehículos, se instalan tres señales: Una 1.000 m antes del desvío, la segunda a 500 m y la tercera aproximadamente en el sitio del desvío.

Cuando el desvío es hacia una vía con TPD < 5.000 vehículos, se ubican dos señales: Una 1.000 m antes del desvío y la otra aproximadamente en el sitio del desvío⁹.

a) Bandera

⁹ Los datos de TPD dados corresponden a la normativa colombiana de señalización

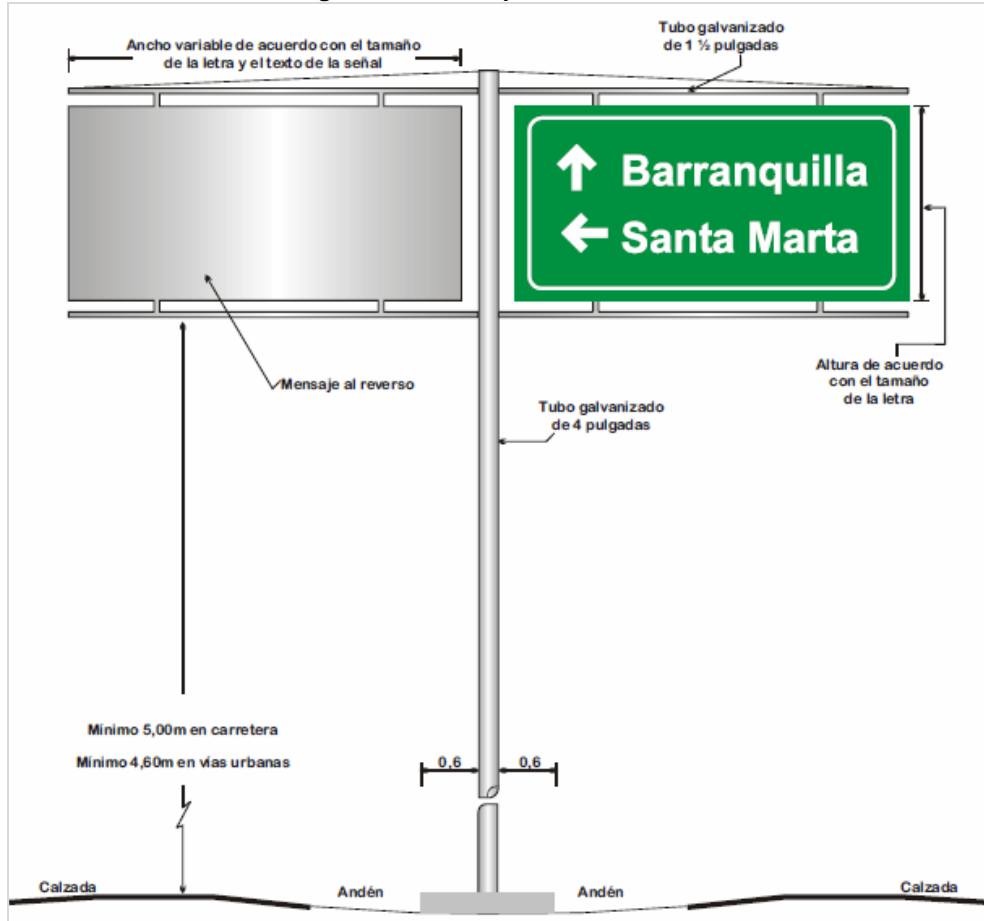
Figura 57: Señal tipo Bandera



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

b) Doble bandera

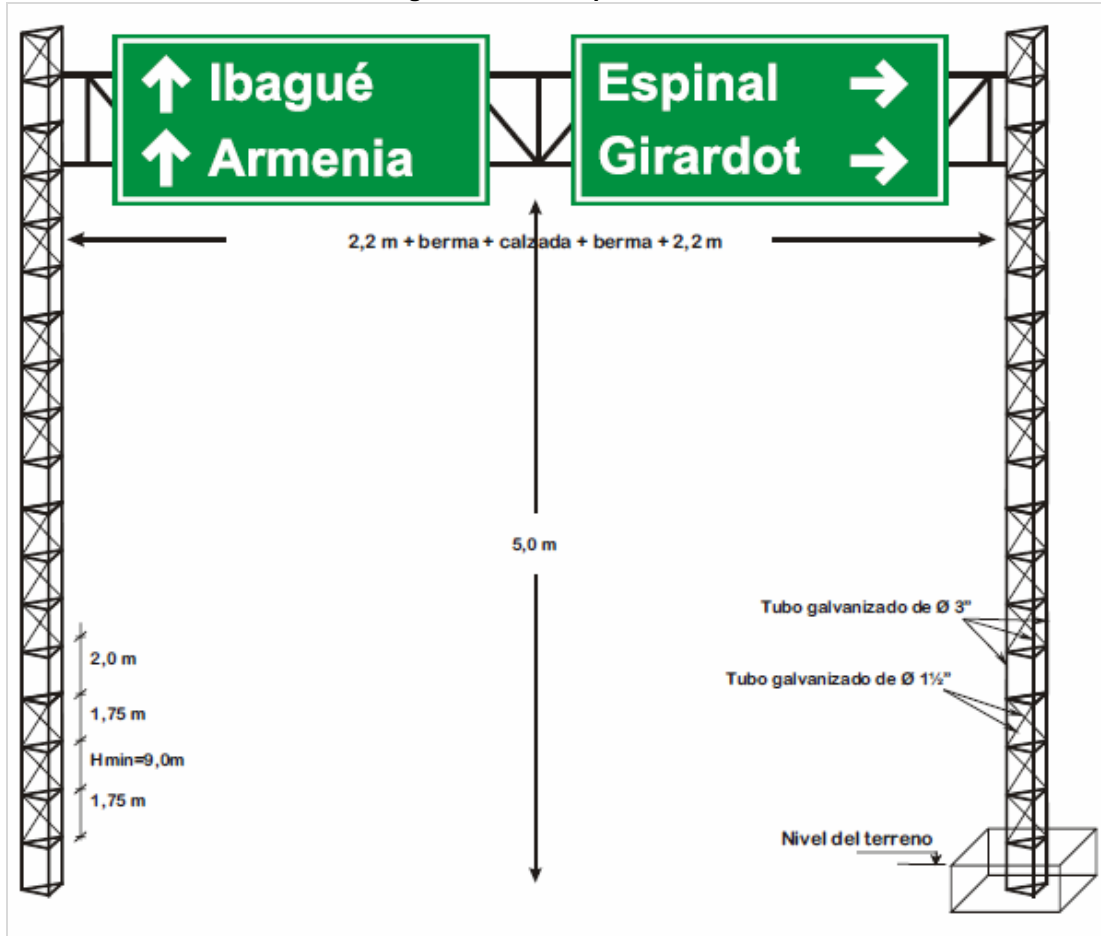
Figura 58: Señal tipo Doble Bandera



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

c) Pasavías

Figura 59: Señal tipo Pasavías



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

2.3.2.2. Señalización horizontal

La señalización horizontal, corresponde a la aplicación de marcas viales, conformadas por líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordillos o sardineles y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodadura, con el fin de regular, canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos.

Existen cuatro tipos de señalización horizontal, longitudinal, transversal, bordillos y sardineles y marcas de objetos

- Marcas longitudinales

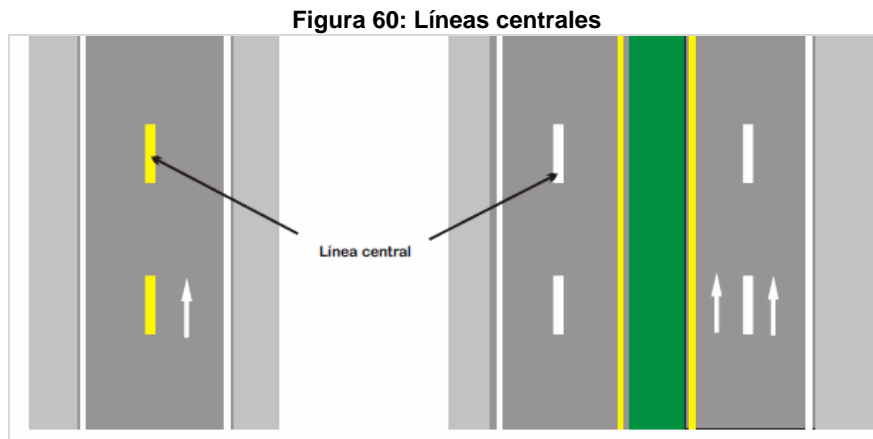
Una línea continua sobre la calzada significa que ningún conductor con su vehículo debe atravesarla ni circular sobre ella, ni cuando la marca separe los dos sentidos de circulación, circular por la izquierda de ella.

Una marca longitudinal constituida por dos líneas continuas tiene el mismo significado. Se excluyen de este significado las líneas continuas de borde de calzada.

a) Líneas centrales

Se emplearán estas líneas de color amarillo, para indicar el eje de una calzada con tránsito en los dos sentidos y de color blanco para separar carriles de tránsito, en el mismo sentido. En circunstancias especiales esta línea puede no estar en el centro geométrico de la calzada, como es el caso de transiciones en el ancho del pavimento, cuando hay un carril adicional para marcha lenta, en la entrada a túneles o puentes angostos, etc.

Las líneas centrales estarán conformadas por una línea segmentada de 12 cm de ancho, como mínimo, con una relación de longitudes entre segmento y espacio de tres (3) a cinco (5).

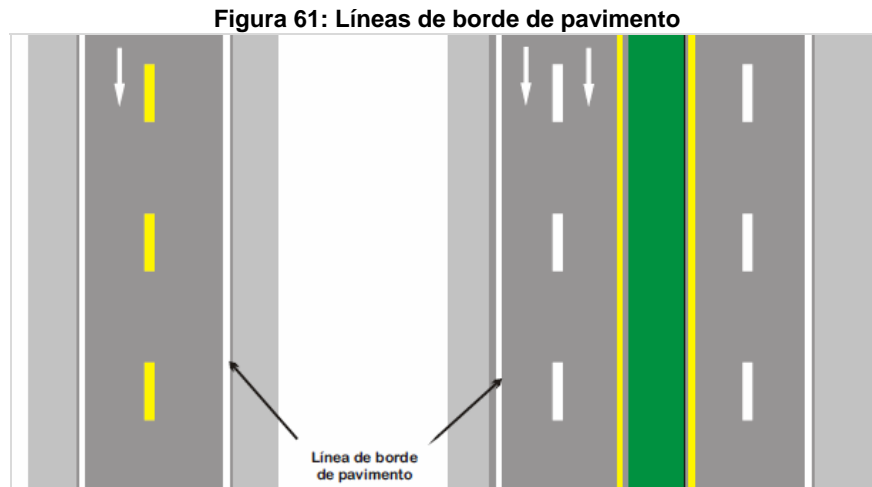


Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

b) Líneas de borde

Esta línea separa la berma del carril de circulación, indicando el borde exterior del pavimento. Estará formada por una línea blanca continua de 12 cm de ancho.

En todas las vías, urbanas y rurales que no cuenten con sardineles y en las vías arterias o de jerarquía superior, se debe delimitar el borde de pavimento para impedir el tránsito de vehículos por la berma y especialmente en la aproximación a intersecciones, cruces, puentes angostos, perímetros urbanos, etc.



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

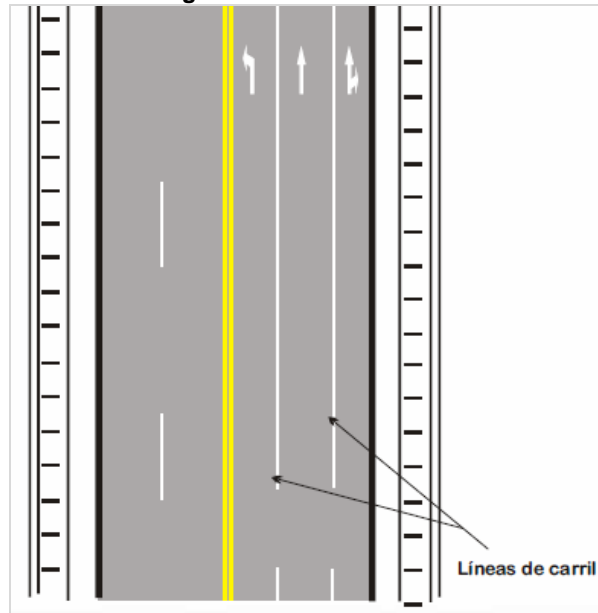
c) Líneas de carril

Estas líneas servirán para delimitar los carriles que conducen el tránsito en la misma dirección. También cumplen la función de incrementar la eficiencia del uso de una calle en sitios en donde se presentan congestionamientos.

Para indicar que el cambio del carril se puede hacer sin afrontar un riesgo, se usará una línea blanca segmentada de 12 cm de ancho, como mínimo, con relación de longitudes entre segmento y espacio de tres (3) a cinco (5).

Cuando el cambio de carril puede acarrear un riesgo, si no se efectúa con precaución, se usará una línea blanca continua de 12 cm de ancho, como mínimo.

Figura 62: Líneas de carril

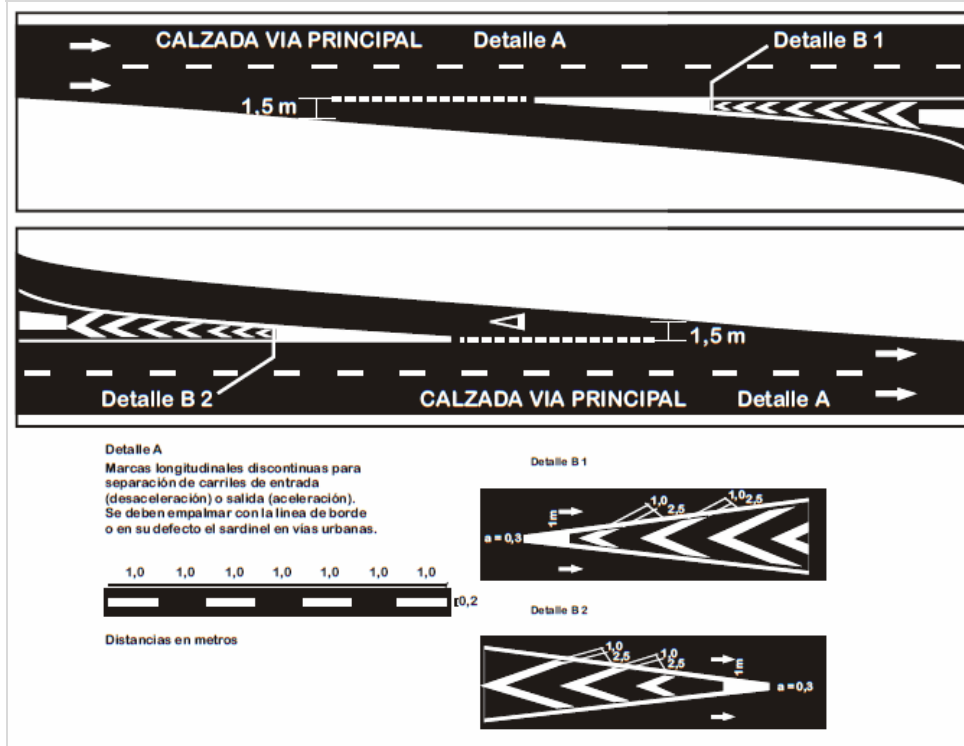


Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

d) Líneas de separación de rampas

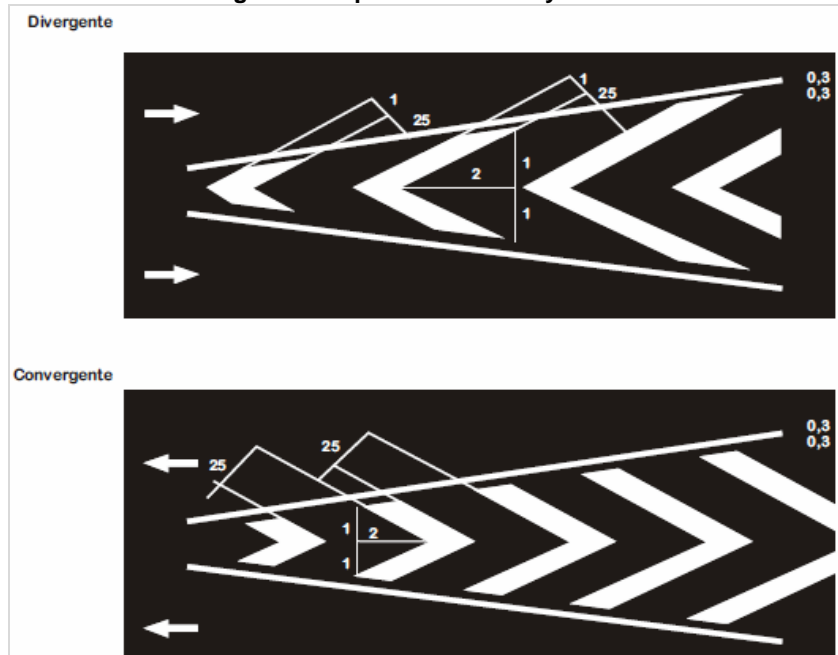
Tienen por objeto hacer la separación entre el carril de circulación de una vía de alta velocidad y la rampa de entrada o de salida, en donde existen carriles de aceleración o desaceleración para los vehículos. Estas líneas serán de color blanco, intermitentes con tramos de un metro (1,0 m), separadas un metro (1,0 m) y con un ancho de 0,20 m.

Figura 63: Entradas y salidas de las rampas de acceso



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

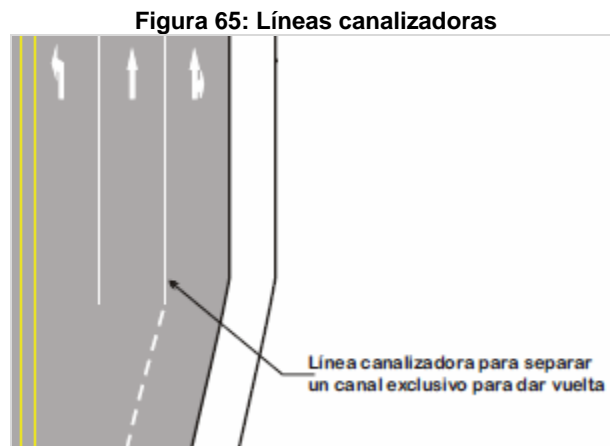
Figura 64: Tipos de entradas y salidas



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

e) Demarcación de canalización

Las demarcaciones de canalización se harán con líneas blancas continuas de 15 cm de ancho, como mínimo. Esta línea, por su anchura, es un valioso medio de regulación del tránsito, para canalizarlo o encarrilarlo y disminuir los cambios de carril, son utilizados demarcar rampas de entrada y salida en autopistas.

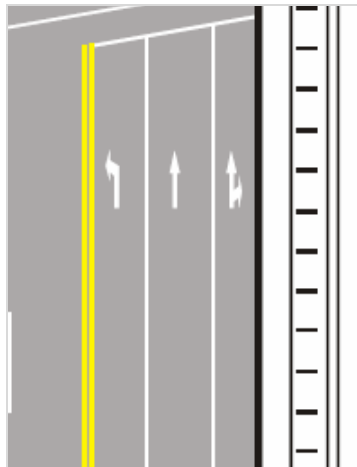


Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

f) Demarcación de uso de carril

Esta demarcación se hará a la entrada a intersecciones para indicar al usuario la manera correcta de entrar, previéndole los giros derechos o izquierdos e indicándole el sitio en donde debe efectuarlos y se hará con leyendas y flechas de color blanco, que complementan las señales verticales.

Figura 66: demarcación de uso de carril



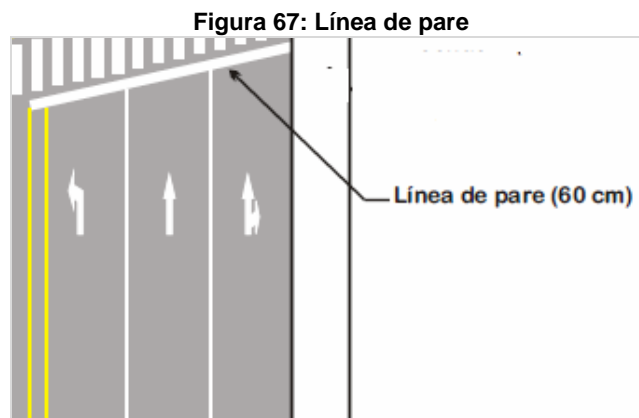
Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

- Marcas transversales

a) Demarcación de línea de pare

Esta demarcación deberá usarse en zonas urbanas y rurales para indicar el sitio de parada de vehículos anterior a una señal de tránsito o un semáforo, que reglamenta su detención antes de entrar a una intersección. Su color será blanco. Estará ubicada antes de la demarcación de pasos peatonales, cuando existan estos, a una distancia de 120 cm. Se hará empleando una franja blanca continua de 60 cm de ancho, que se extenderá a través de todos los carriles de aproximación que tengan el mismo sentido del tránsito.

Estas líneas podrán ser complementadas con la leyenda “PARE”, de color blanco, para cada carril de circulación.



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

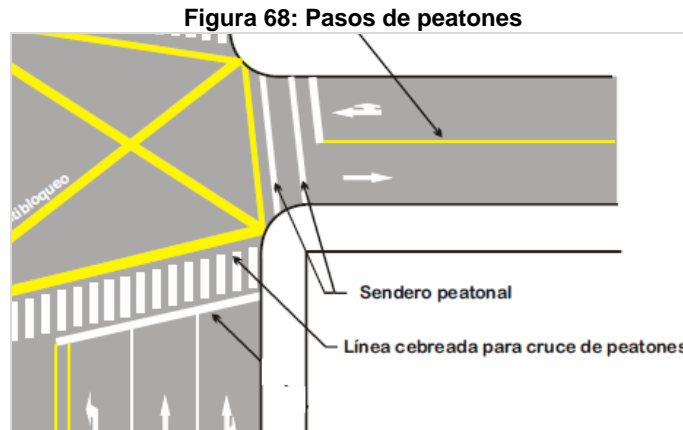
b) Demarcación de pasos peatonales

Esta demarcación se empleará para indicar la trayectoria que deben seguir los peatones al atravesar una calzada de tránsito. Estas marcas serán de color blanco.

En vías rurales y vías urbanas de altos volúmenes peatonales que dispongan de dispositivos que brinden protección a las personas que cruzan la vía (semáforos, resaltos, etc.), consistirán en una sucesión de líneas paralelas de 40 cm de ancho, separadas entre sí 40 cm y colocadas en posición paralela a los carriles de tránsito en forma “cebreada”, es decir, perpendicular a la trayectoria de los peatones, con una longitud que en general, deberá ser igual al ancho de las aceras entre las que se encuentren situadas, pero en ningún caso menor de 2,0 m.

En calles con bajo volumen de peatones, y sin protección para el cruce de estos, consistirán en dos líneas continuas paralelas transversales a la vía de circulación

del tránsito, con un ancho de 30 cm como mínimo y color blanco, trazadas a una separación que se determinará, generalmente, por el ancho de las aceras entre las que se encuentren situadas.

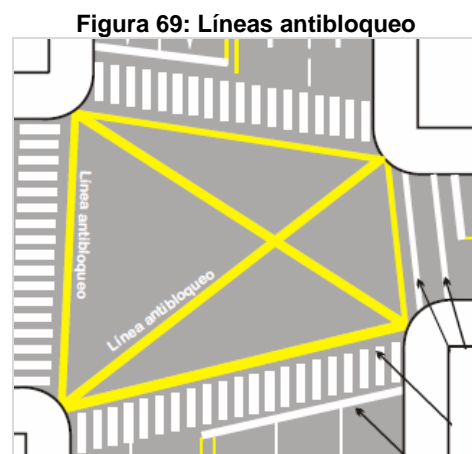


Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

c) Líneas antibloqueo

Tienen por objeto notificar a los conductores la prohibición de obstruir en una intersección, aún cuando el semáforo se lo permita o gocen de prioridad, si la situación de la circulación es tal, que previsiblemente puedan quedar detenidos de forma que impidan u obstruyan la circulación transversal.

Estas líneas estarán formadas por el cuadrilátero cuyos vértices están definidos por las cuatro (4) esquinas que conforman la intersección y sus dos (2) diagonales. Estas líneas serán de color amarillo y de 30 cm de ancho como mínimo.



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

d) Flechas

Son marcas en el pavimento con forma de saeta denominadas flechas que indican los sentidos de circulación del tránsito y se utilizarán como señal de reglamentación para el conductor. Cuando un movimiento en otro sentido esté prohibido, se deberá agregar la palabra “SOLO” o cuando el carril permite un movimiento en especial.

Estas marcas deberán repetirse anticipadamente sobre el carril exclusivo de giro, para prevenir y ayudar a los conductores a seleccionar el carril adecuado, antes de alcanzar la línea de pare. El espaciamiento será de 20 m aproximadamente entre cada mensaje.

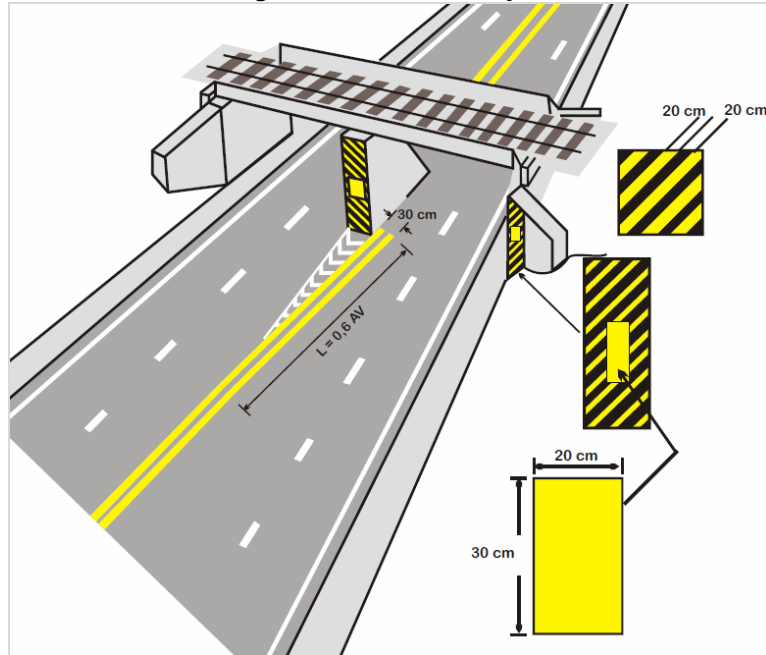
- Marcas de bordillos y sardineles

Se deberán demarcar los bordillos y sardineles que indiquen riesgo o encauzamientos, con el fin de hacerlos más visibles. Será de gran ayuda para los conductores el pintar los sardineles frente a una intersección en “T” o cruces similares. La demarcación de los bordillos y sardineles se hará cubriendo sus caras con pintura amarilla.

- Marcas de objetos

Se señalarán con material reflectivo todos los objetos, tales como: estribos o pilas de puentes, islas de canalización de tránsito, bases de semáforos y señales elevadas, andenes en zonas de cargue y descargue, barreras en pasos a nivel, puentes, barandas de puentes angostos, muros de contención y aletas o cabezales de alcantarillas que sobresalgan de la superficie del pavimento o de los taludes, árboles, rocas, etc., que puedan constituir riesgo para el usuario de la vía.

Figura 70: Marcas de objeto



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

3. INTERSECCION TIPO DIAMANTE DIVERGENTE (DIVERGING DIAMOND INTERCHANGE)

Figura 71: Intersección tipo diamante divergente



Fuente: <http://www.divergingdiamond.com>

3.1. GEOMETRIA

Tal y como se ve en la figura anterior, la geometría de la intersección tipo diamante divergente no cambia mucho con respecto a la de su antecesora, las rampas de acceso, el número de carriles, etc. Se diseñan de la misma manera que la intersección tipo diamante convencional, el único cambio importante en su geometría es la configuración de las miniintersecciones, ya que pasan de ser intersecciones comunes tipo T entre dos vías, a ser un entrecruzamiento de los carriles de una misma vía y unas convergencias y divergencias de carriles entre las rampas de acceso y la vía arteria.

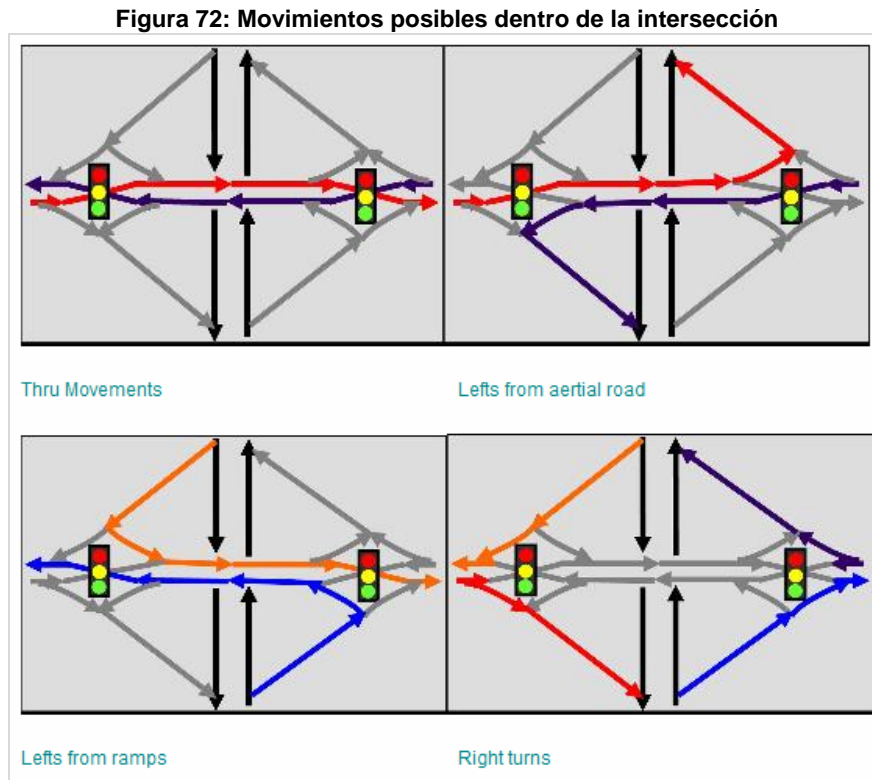
3.2. OPERACIÓN

El cambio más importante entre estas intersecciones se da en su sistema de operación, mientras que la intersección tipo diamante convencional tiene tres tipos la tipo diamante divergente solo tiene uno, esto debido al entrecruzamiento de los carriles en la vía arteria, además es un sistema de operación de dos fases.

3.2.1. Sistema de operación de dos fases

Debido a que en esta intersección los giros izquierdos no presentan problemas de entrecruzamiento con tráfico opuesto, el sistema de operación se simplifico a uno de dos fases. El entrecruce más importante se da entre los carriles de la vía arteria los cuales cambian de sentido dentro de la intersección.

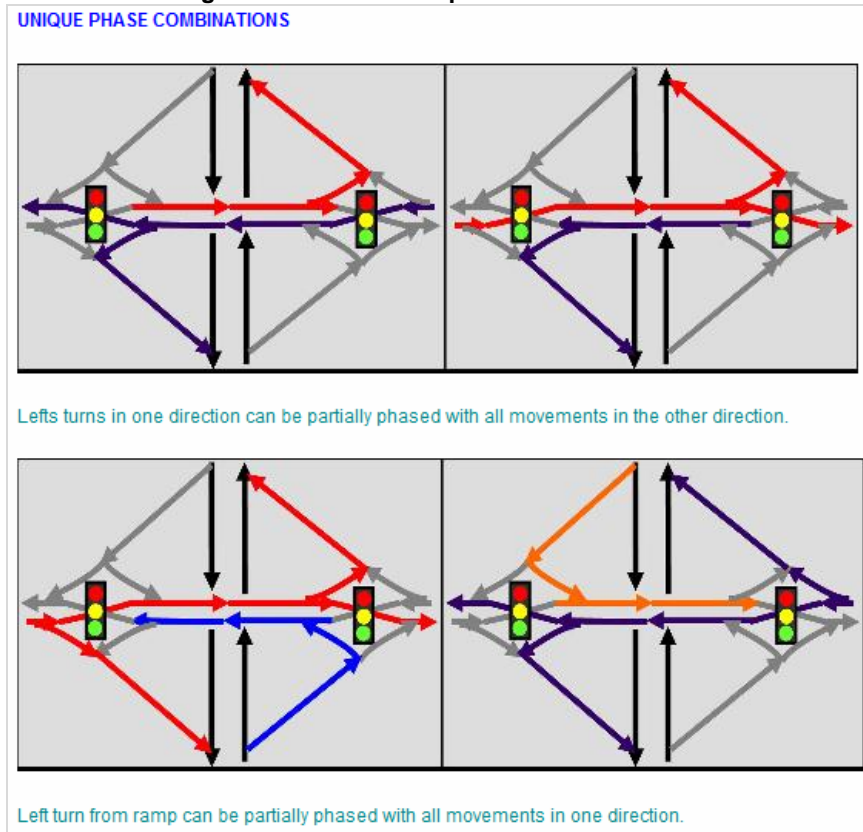
A continuación se presentan todos los posibles movimientos dentro de la intersección



Fuente: <http://www.divergingdiamond.com>

El sistema de operación de dos fases es muy simple, mientras que el giro izquierdo de una de las rampas de acceso es atendido, también son atendidos todos los movimientos en la dirección contraria a esta y después se repite la fase con la otra rampa. Los giros derechos de la intersección son controlados con marcas de pavimento y señalización de ceda el paso, si el volumen de tráfico es muy pesado se recurre a los semáforos. Los semáforos se utilizan en el entrecruzamiento de los carriles de la vía arteria y cuando se necesite en el giro izquierdo de la rampa de acceso

Figura 73: Sistema de operación de dos fases



Fuente: <http://www.divergingdiamond.com>

3.3. SEÑALIZACION

En esta intersección a causa de su inusual configuración se requiere más señalización que la utilizada en la tipo diamante convencional, ya que es un tipo novedoso de intersección el usuario de la vía no está habituado a esta y puede cometer errores al entrar. Además de toda la señalización utilizada en la intersección tipo diamante convencional esta requiere de otras señales adicionales para evitar el mal uso de la intersección. El sistema de semáforos será utilizado de acuerdo con el sistema de operación utilizado.

a) SR-03

Esta señal se empleará en una intersección o empalme para notificar al conductor la obligación de seguir de frente.

Figura 74: Señal SR-03

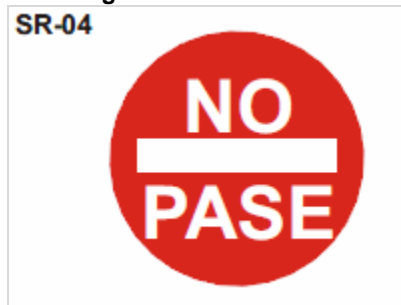


Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

b) SR-04

Esta señal se empleará para notificar al conductor la prohibición de entrar en una zona restringida al tránsito. El texto "NO PASE", podrá ser eliminado cuando se considere que los conductores ya reconocen el símbolo.

Figura 75: Señal SR-04

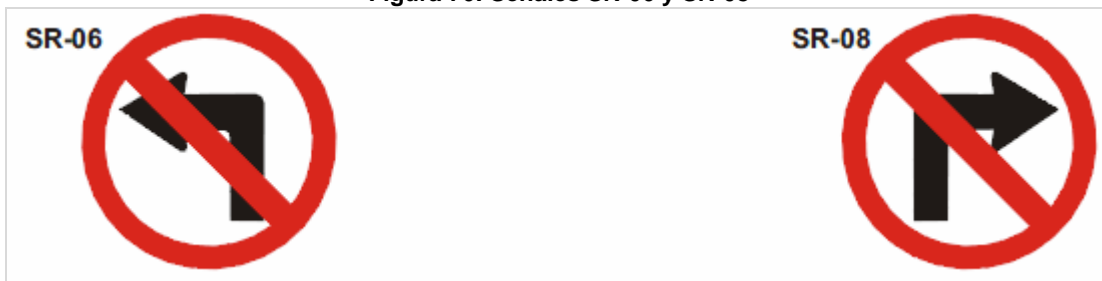


Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

c) SR-06 y SR-08

Estas señales se emplearán para notificar al conductor la prohibición de girar a la izquierda o a la derecha.

Figura 76: Señales SR-06 y SR-08

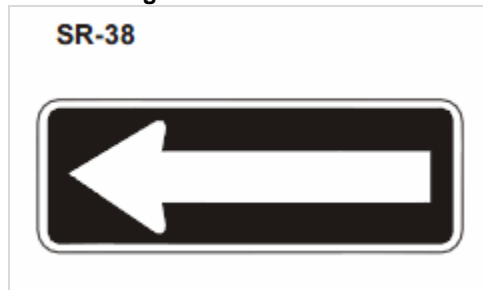


Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

d) SR-38

Esta señal se empleará para notificar a los usuarios el único sentido de circulación en la vía a la cual se va a entrar o interceptar. En caso de no existir una señal que indique el sentido de circulación de la vía, se entenderá que el sentido de la misma es doble. Se utilizará, en zonas urbanas.

Figura 77: Señal SR-38

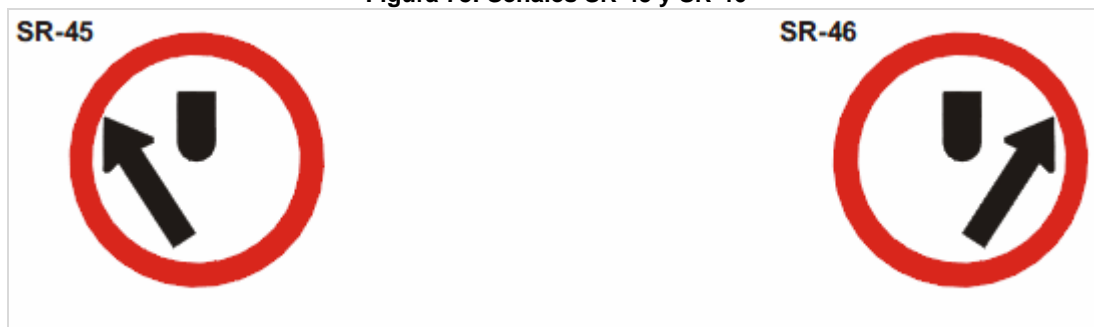


Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

e) SR-45 y SR-46

Esta señal se empleará para indicar al conductor el inicio de un tramo de la vía con separador central, en el cual se continúa la circulación en el mismo sentido en que se viene dando, por la calzada izquierda (SR-45) o por la calzada derecha (SR-46).

Figura 78: Señales SR-45 y SR-46



Fuente: MANUAL DE SEÑALIZACIÓN 2004

4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

4.1. INTERSECCION TIPO DIAMANTE

La forma más sencilla y quizá la configuración de intercambio más común es el diamante. Un intercambio tipo diamante completo se forma cuando una rampa diagonal de un solo sentido entra en cada cuadrante del intercambio. Las rampas están alineadas con el flujo libre de la carretera principal y una intersección en el cruce. Intercambios tipo diamante tienen una aplicación tanto en zonas rurales y urbanas. Ellos se adaptan particularmente a los cruces mayor-menor donde los giros a la izquierda del camino menor pueden ser manejados con una mínima interferencia con el tráfico que se acerca a la intersección desde la otra dirección.

Los cruces formados por las rampas de acceso y el camino menor son manejados como intersecciones tipo T a nivel. Sin embargo, debido a que estas intersecciones realmente tienen cuatro ramas, dos de los cuales son de sentido único, presentan un problema de control de tráfico debido a una mala entrada en el cruce. Por esta razón, una medida puede ser proporcionada en el cruce de caminos para facilitar la adecuada canalización del tráfico. Esta medida puede ser pintada y una firma adicional es útil para prevenir el uso indebido de las rampas.

En los intercambios tipo diamante puede ser necesario el control del tráfico adicional cuando se realiza el cruce de medianos a grandes volúmenes de tráfico.

4.1.1. Ventajas

- a) Es la configuración de intercambio más común¹⁰. Por lo que cumple con las expectativas del usuario.
- b) Es muy adecuado para zonas urbanas y rurales.
- c) Adaptable a los cruces mayor-menor donde los cruces a nivel del camino menor pueden ser manejados con muy poca interferencia al tráfico que se acerca desde cualquier dirección.
- d) Menor costo que otras configuraciones de intercambio.

¹⁰ En EE.UU. es la configuración de intersección más común.

- e) Requiere menos derecho de paso que otras configuraciones de intercambio.

4.1.2. Desventajas

- a) La posible entrada de manera equivocada en las rampas del cruce debe ser considerada.
- b) El mayor impedimento para el buen funcionamiento del cruce es el giro a la izquierda en el cruce.
- c) El nivel de servicio disminuye a medida que el volumen de tráfico en el cruce se incrementa.

4.2. INTERSECCION TIPO DIAMANTE DIVERGENTE

La intersección tipo diamante divergente permite la operación de dos fases en todos los cruces del intercambio. Esta es una mejora significativa a la seguridad, ya que no debe girar a la izquierda con tráfico en contra y todos sus movimientos son discretos, con la mayoría controlados por señales de tráfico. Además el diseño puede mejorar la eficiencia de un intercambio, como el tiempo perdido en las diversas fases del ciclo puede ser redistribuido en tiempos de luz verde, solo hay dos fases a diferencia de las tres o cuatro de otros intercambios.

4.2.1. Ventajas

- a) Tiene dos fases de señales con tiempos de ciclo cortos, disminuyendo así la demora.
- b) Aumenta la capacidad de movimientos de giro desde y hacia las rampas de acceso.
- c) Potencialmente puede reducir el número de carriles en el cruce, minimizando los impactos ya existentes del derecho a vía.

- d) Reduce sustancialmente el número de puntos de conflicto mejorando la seguridad.

4.2.2. Desventajas

- a) Los usuarios pueden no estar familiarizados con la configuración, en particular con respecto a la fusión de maniobras a lo largo del lado izquierdo de la vía o la inversión del flujo de tráfico.
- b) No existen actualmente normas para su diseño y su diseño es extremadamente dependiente de condiciones específicas.
- c) Señales, iluminación y marcas en el pavimento adicionales serán necesarias.
- d) No hay antecedentes de accidentes disponibles a la fecha ya que este es un nuevo concepto de intercambio.
- e) La velocidad de diseño del camino menor debería ser menor a la considerada para una intersección tipo diamante convencional.

4.3. VARIACIONES

El diseño de la intersección diamante normal ha sido modificada en diversas formas, ya sea para aumentar la capacidad o el rendimiento del flujo.

La mayor parte de estas variaciones incluye la reorientación de algunos movimientos a la izquierda o de otros movimientos que fluyen en sentido contrario.

Las exigencias del diseño se complican si las rampas también llevan el tráfico en carreteras adyacentes, o está conectado a recuperarse en rampas de intercambio.

No hay ninguna diferencia entre los movimientos extra por caminos laterales y los movimientos extra para un intercambio de rebote.

A continuación se presentan una comparación entre diferentes propuestas de modificación que se han implementado.

Tabla 6: Tabla de variaciones de intersecciones tipo diamante

TABLA DE VARIACIONES DE INTERSECCIONES DIAMANTE												
Nombre	Nombre del Autor Variación	N° intersecciones	N° fases	N° divergencias	N° convergencias	N° cruces	N° entret ejidos	T XS	T E	T Ex	Penalizaciones	Condiciones
1. Diamante Standard	Diamante Standard	2	3(6)	6	6	6	0	0	2	2	0	flujo limitado por almacenamiento
2. Igual, con caminos laterales	con caminos laterales	2	6(3)	10	10	10	4	0	2	2	0	flujos limitados por almacenamiento
3. Contraflujo Izquierdo	Entradas izquierdas trenzadas	2	3	6	6	8	0	0	0	2	0	salida de flujo limitada por almacenamiento
4. Igual, con caminos laterales	con caminos laterales	2	3	10	10	10	4	0	0	2	0	salida de flujo limitada por almacenamiento
5. Giros Divergentes	Izquierdos trenzados	6	3(5)	8	8	6	2	0	0	0	0	flujo no limitado
6. Igual, con caminos laterales	con caminos laterales	2(4)	4(8)	12	12	14	6	0	0	0	1	flujo no limitado
7. Diamante Divergente	Cruces de vía trenzados	2	2	6	6	2	2	2	0	0	0	50% limitado, salidas limitadas por almacenamiento
8. Igual, con caminos laterales	con caminos laterales	2	3	10	10	6	6	2	0	0	1	salida limitada por almacenamiento
9. Medio Diamante Divergente	Un solo giro trenzado	4	3(5)	7	7	4	2	0	0	0	0	flujo no limitado
10. Igual, con caminos laterales	con caminos laterales	4	4(8)	11	11	10	6	0	0	0	1	flujo no limitado
11. Single Point Urban (SPUI)	SPUI	1	3(5)	6	6	8	0	0	0	0	0	flujo no limitado, puente largo
12. Igual, con caminos laterales	con caminos laterales	1	4(8)	10	10	16	4	0	0	0	1	flujo no limitado, puente largo

Fuente: <http://midimagic.sgc-hosting.com/diamseq.htm>

T XS: Lugares donde los movimientos a través de la calle se cruzan entre sí.

TE: Lugares en los giros a la izquierda a la entrada en pista donde se cruzan entre sí.

T Ex: Lugares en los giros a la izquierda de la rampa de salida donde se cruzan entre sí

Penalizaciones: En fase de períodos extra, para agregar carreteras adyacentes.

A continuación se explican algunas de las variaciones presentadas en la tabla.

- Diamante Estándar
 - a) La distancia entre las intersecciones limita el almacenamiento de los giros izquierdos cuando la señal de tres fases es usada.
 - b) La señal de seis fases remueve el límite de almacenamiento
 - c) El puente necesita carriles in ambas direcciones, mas los carriles izquierdos de almacenamiento
- Diamante estándar, con caminos laterales
 - a) La distancias entre las intersecciones limita el almacenamiento de los giros izquierdos cuando la señal de tres fases es usada
 - b) La señal de seis fases remueve el límite de almacenamiento
 - c) El puente necesita carriles in ambas direcciones, mas los carriles izquierdos de almacenamiento
 - d) Los caminos laterales adicionales no tienen fases extras, pero la capacidad para los giros izquierdos es limitado
 - e) Esta intersección es la más utilizada para conectar las intersecciones de retorno
- Contraflujo izquierdo

- a) El almacenamiento entre las intersecciones limita la capacidad de las rampas de salida, pero no la de las rampas de entrada
 - b) Las fases del giro izquierdo de la rampa de entrada y las fases opposing straight ahead pueden ser divididas
 - c) El almacenamiento del giro izquierdo es grande para un lagging izquierdo, como opuesto para un leading izquierdo
 - d) El puente necesita carriles en ambas direcciones, mas los carriles izquierdos de almacenamiento y tres divisores de tiras
- Contraflujo izquierdo, con caminos laterales
 - a) El almacenamiento entre las intersecciones limita la capacidad de las rampas de salida, pero no la de las rampas de entrada
 - b) Las fases del giro izquierdo de la rampa de entrada y las fases opposing straight ahead pueden ser divididas
 - c) El almacenamiento del giro izquierdo es grande para un lagging izquierdo, como opuesto para un leading izquierdo
 - d) El puente necesita carriles en ambas direcciones, mas los carriles izquierdos de almacenamiento y tres divisores de tiras
 - e) Los caminos laterales adicionales no tienen fases extras, pero la capacidad para los giros izquierdos es limitada
- Giros divergentes
 - a) El flujo no esta limitado por el diseño
 - b) Las fases del giro izquierdo de la rampa de entrada y las fases opposing straight ahead pueden ser divididas
 - c) El almacenamiento del giro izquierdo es grande para un lagging izquierdo, como opuesto para un leading izquierdo

- d) El puente necesita carriles en ambas direcciones, mas los carriles izquierdos de almacenamiento y tres divisores de tiras
- Giros divergentes, con caminos laterales
 - a) El flujo no está limitado por el diseño
 - b) Todas las fases de los giros izquierdos y las fases opposing straight ahead pueden ser divididas
 - c) El almacenamiento del giro izquierdo es grande para un lagging izquierdo
 - d) La intersección puede ser operada como una large 8-phase quad left turn intersección
 - e) El puente necesita carriles en ambas direcciones, mas los carriles izquierdos de almacenamiento y tres divisores de tiras
 - f) Los caminos laterales adicionales tienen fases extras

CONCLUSIONES

- 1) Debido al escaso tiempo en que se ha venido aplicando este tipo de intersección en el mundo, la información existente sobre su funcionamiento y resultados no es escasa pero su obtención siempre se hace difícil ya que los estudios son documentos muy recientes y en las bases de datos existentes dicha información es muy exclusiva.
- 2) El volumen de tráfico y la geometría del diseño de la intersección son factores fundamentales para determinar la clase de fase dispuesta para la operación de la intersección, esto junto a un diseño adecuado de señalización determinara se eficiencia y buen funcionamiento.
- 3) El sistema de operación de cuatro fases es adecuado para intersecciones con poco espacio interior, mientras que el sistema de operación de tres fases es más adecuado para intersecciones con gran espaciamiento, por lo tanto se puede decir el sistema más optimo para las condiciones urbanas es el de cuatro fases debido a los pequeños espacios manejados por estas en las ciudades como es el caso de Colombia.
- 4) Dada su inusual configuración, la intersección tipo diamante divergente trae consigo grandes ventajas operacionales con respecto a la intersección tipo diamante convencional, pero cabe anotar que estas ventajas se dan bajo ciertos parámetros específicos como son geometría en espacios grandes (Radios de giro grandes, accesos con visibilidad total) que en muchos casos no se dan, por lo que esto se convierte en una desventaja para esta en el caso de quererla implementar en una ciudad típica colombiana.
- 5) Un factor que causa desconfianza en la operación de la intersección tipo diamante divergente es el cambio de sentido que sufren sus carriles, esto ha causado que se genere un ambiente de duda respecto a la seguridad del conductor dentro de la intersección ya que se podría dar el caso de un error en la entrada , esto ha hecho que en varias ocasiones se desista de su uso, aunque vale la pena decir que este inconveniente no lo sufren los peatones

- 6) Al ser un concepto nuevo de intersección, la intersección tipo diamante divergente acarrea consigo la incertidumbre de no tener antecedentes de accidentalidad, lo cual le genera inconvenientes a la hora de su modelación y validación de resultados.

- 7) Debido a que la mayoría de estudios de las intersecciones tipo diamante son del tipo experimental su diseño puede estar muy limitado al proceso de modelación utilizado en la validación de su comportamiento para un determinado sitio de una ciudad.

BIBLIOGRAFIA

- 1) 200th STREET INTERCHANGE REVIEW, Ministry of Transportation, British Columbia 2001
- 2) ALVAREZ Luis, HOROWITZ Roberto, LI Perry, Traffic flow control in automated highway systems, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, University of California, University of Minnesota, 1998
- 3) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO), chapter 9 intersections, fourth edition, Washington D.C., 2001, ISBN: 1-56051-156-7
- 4) BONNESON James, PRATT Michael, ZIMMERMAN Karl, Development of a traffic signal operations handbook, Texas A&M University 2008
- 5) CAPELLE D.G., and PINELL C. (1961), "Design and operation of diamond interchanges." *Rep. E-45-61*, Texas Transp. Inst., Texas A&M University, College Station, Tex.
- 6) DE CAMP, G. B. (1993). "A primer on diamond interchanges." *TexITE News*, Texas Section of Institute of Transportation Engineers, Houston.
- 7) DIVERGING DIAMOND INTERCHANGE, OMH advancing communities, Livonia Michigan, 2008
- 8) EDARA Praveen K., BARED Joe G., JAGANNATHAN Ramanujan, Diverging Diamond Interchange and Double Crossover Intersection – Vehicle and Pedestrian Performance, Virginia, 2008
- 9) FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways—2003*. Federal Highway Administration, Washington, DC, 2003.
- 10) G. CHLEWICKI, New Interchange and Intersection Designs: The Synchronized Split-Phasing Intersection and the Diverging Diamond Interchange. 2nd Urban Street Symposium: Uptown, Downtown, or Small Town: Designing Urban Streets That Work, Anaheim, CA, 2003.

- 11) HELMER James R and DAVIS Matthew, Traffic Engineering and Design: Trends and Considerations, *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal*; Jul 2009; 79, 7; ABI/INFORM Global pg. 18
- 12) LEE Sibok, KRAMMES Raymond, YEN John, Fuzzy-logic-based incident detection for signalized diamond Interchanges, Department of Computer Science, Texas A&M University, USA, 1998
- 13) MAHENDRAN Ashok Kumar, Application of nontraditional interchange treatments to improve quality of service and preserve the service life of narrow over- and underpass roadways, Tennessee Technological University 2009
- 14) MANUAL DE DISEÑO PARA CARRETERAS (GEOM 98), capítulo 3 criterios de diseño, Santafé de Bogotá D.C. 1998
- 15) MANUAL DE SEÑALIZACIÓN DISPOSITIVOS PARA LA REGULACIÓN DEL TRÁNSITO EN CALLES, CARRETERAS Y CICLORRUTAS DE COLOMBIA, capítulos 2, 3 y 7 señalización vertical, señalización horizontal y semáforos, Santafé de Bogotá D.C. mayo 2004
- 16) NELSON eric j., BULLOCK darcy, and URBANIK tom, implementing actuated control of diamond interchanges, *journal of transportation engineering* / September / october 2000
- 17) ROADWAY DESIGN MANUAL, Texas Department of Transportation, (512) 302-2453 all rights reserved, Revised March 2009.
- 18) SEDENSKY Matt, Mo. to Try Putting Drivers on Left at I-435 Approach, *Inform Trade and Industry* 2006
- 19) SIGNAL DESIGN MANUAL FOR DIAMOND INTERCHANGES, Srinivasa R. Sunkari and Thomas Urbanik II, P.E., Texas Transportation Institute The Texas A&M University System College Station, Texas 77843-3135, September 2000
- 20) STANEK David, Innovative diamond interchange designs: How to increase capacity and minimize cost, *Fehr & Peers* 2008
- 21) TIAN Zong, Development and evaluation of operational strategies for providing an integrated diamond interchange ramp-metering control system, Texas A&M University 2004

- 22)TIAN Zong, BALKE Kevin, A model for evaluating integration strategies for operating diamond interchange and ramp metering, Texas A&M University 2003
- 23)TIAN Zong, BALKE Kevin, ENGELBRECHT Roelof, RILETT Larry, Integrated control strategies for surface street diamond interchange and freeway ramp metering, Texas A&M University 2002
- 24)WARRICK David y SIROMASKUL Smith, Diverging Diamond Interchanges: Oregon's Planned Applications, Presentation for the ITE District 6 Meeting, July 2007, Portland, OR
- 25)<http://earth.google.es/>
- 26)http://epg.modot.org/index.php?title=234.2_Diamond_Interchanges
Category : 234 Interchanges
- 27)<http://midimagic.sgc-hosting.com/diamseq.htm>
- 28)<http://proquest.umi.com/>
- 29)<http://search.ebscohost.com/>
- 30)<http://www.asce.org/>
- 31)<http://www.divergingdiamond.com/>
- 32)<http://www.google.com>
- 33)<http://www.icevirtuallibrary.com/>

