

**HERRAMIENTA DE APOYO PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO GEOMÉTRICO DE
INTERSECCIONES VIALES A NIVEL**

ZORANY AGUDELO PÉREZ

FRANK JOSEF REYES CARDOZO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**HERRAMIENTA DE APOYO PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO GEOMÉTRICO DE
INTERSECCIONES VIALES A NIVEL**

ZORANY AGUDELO PÉREZ

FRANK JOSEF REYES CARDOZO

Trabajo de Grado en la modalidad de investigación para optar al título de
Ingeniero Civil

DIRECTOR

HERNÁN PORRAS DÍAZ

Ingeniero civil, Ph. D. – Profesor UIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1. METODOLOGÍA	18
1.1 ANÁLISIS DE TRÁFICO	19
1.1.1 Intersecciones controladas con semáforos	21
1.1.1.1 Demora Uniforme d1	26
1.1.1.2 Demora incremental d2	28
1.1.1.3 Demora por cola inicial d3	29
1.1.1.4 Capacidad en el acceso	30
1.1.1.5 Demora en el acceso	30
1.1.1.6 Demora en la intersección	31
1.1.2 Intersecciones controladas por pare	31
1.1.2.1 Capacidad de movimiento del Rango 1	35
1.1.2.2 Capacidad de movimiento del Rango 2	35
1.1.2.3 Capacidad de movimiento del Rango 3	36
1.1.2.4 Capacidad de movimiento del Rango 4	37
1.1.2.5 Demora para los movimientos de los Rangos 2, 3 y 4	38
1.1.2.6 Demora del acceso y de la intersección	39
1.1.2.7 Criterios de Nivel de Servicio	40
1.1.3 Glorietas	41
1.1.3.1. Metodología según el HCM10	41
1.1.3.2. Metodología de Transport and Road Research Laboratory TRRL, Gran Bretaña	43
1.1.3.3. Metodología de Wardrop, Gran Bretaña	45
1.1.3.4 Cálculo de Demoras	46

1.1.3.5 Criterios de nivel de servicio	47
1.2 ANÁLISIS GEOMÉTRICO	47
2. RESULTADOS	48
2.1 ANÁLISIS DE TRÁFICO	49
2.1.1 Intersección controlada por semáforos	50
2.1.2 Intersección controlada por pare de 3 accesos (tipo T)	50
2.1.3 Intersección controlada por pare de 4 accesos (tipo +)	50
2.1.4 Glorieta	51
2.2 ANÁLISIS GEOMÉTRICO	51
3. CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Movimientos existentes en una intersección controlada por Pare tipo + y T	32
Figura 2: Flujo en conflicto frente a un acceso.	42
Figura 3: Elementos de flujo de la glorieta	44
Figura 4: Elementos de geométricos de la glorieta	45
Figura 5: Intersecciones seleccionadas	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: NDS según la relación v/c y la demora	22
Tabla 2: Rp y FPA para cada tipo de llegada AT	27
Tabla 3: NDS según la relación v/c y la demora	40

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Guía para el usuario de la herramienta de apoyo para el análisis y diseño geométrico de intersecciones viales a nivel	56
Anexo B: Resumen de la metodología usada para el desarrollo de la herramienta	121
Anexo C: Aplicación, resultados y conclusión	231

RESUMEN

TITULO: HERRAMIENTA DE APOYO PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIONES VIALES A NIVEL ¹

AUTORES: ZORANY AGUDELO PÉREZ
FRANK JOSEF REYES CARDOZO²

PALABRAS CLAVES: Intersecciones viales a nivel, capacidad de intersecciones viales, nivel de servicio de intersecciones viales, diseño geométrico de intersecciones viales, software.

DESCRIPCION:

El aumento de la movilidad en las ciudades colombianas y particularmente en Bucaramanga es constante a lo largo del tiempo. Esto genera problemas a diario como embotellamientos, demoras excesivas en recorridos cortos y otros, en los diferentes corredores viales. Una parte fundamental de la infraestructura vial son las intersecciones, que son dispositivos viales en los que dos o más carreteras se encuentran, ya sea, en un mismo nivel o a desnivel, produciéndose cruces y cambios de trayectorias de los vehículos que por ellas circulan³.

El diseño de una intersección vial implica la elaboración de un análisis profundo de ciertos indicadores como son la capacidad y el nivel de servicio NDS (indicadores de tráfico), además de combinar una serie de elementos geométricos que permitan seleccionar un tipo de solución que deje a los conductores realizar maniobras con comodidad y seguridad.

El presente trabajo plantea facilitar el análisis y diseño de intersecciones viales a nivel, resumiendo y sintetizando las metodologías existentes en una herramienta software elaborada con el lenguaje de programación de Matlab, en donde el usuario logre obtener datos de capacidad, demora, nivel de servicio y además, pueda verificar parámetros de diseño geométrico de una intersección vial a nivel.

¹ Proyecto de grado. Modalidad Investigación

² Facultad Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Hernán Porras Díaz

³ Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

SUMMARY

TITLE: SUPPORT TOOL FOR THE ANALYSIS AND GEOMETRIC DESIGN OF LEVEL ROADWAY INTERSECTIONS¹

AUTHOR: ZORANY AGUDELO PÉREZ²
FRANK JOSEF REYES CARDOZO²

KEYWORDS: Road intersections, capacity intersections, level of service intersections, geometric design of intersections, software.

DESCRIPTION:

The increment of the fleet in the Colombian cities, specially, in Bucaramanga is constant through the time. As a result of that has born diary problems in mobility like traffic jams, excessive delays in short travels and others, in the different pathways. The intersections are roadway devices where two or more roads cross each other either at the same level or overpass, this generate crosses and path changes for the vehicles that go through the passage.

The design of a road intersection need a deep analysis of such marks as capacity and the service level (traffic marks), furthermore combining certain geometric elements that let choose a solution for the drivers to handle comfortably and securely.

The aim of this work is to ease the analysis and design of level roadway intersections, summarizing the existing methodologies in a new software tool based on the programing language MATLAB, where the user obtain the capacity data, delay, service level and, besides to be able to verify the geometric design parameters of a level roadway intersection.

¹ Proyecto de grado. Modalidad Investigación.

² Facultad Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Hernán Porras Díaz.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la movilidad en las ciudades colombianas y particularmente en Bucaramanga es constante a lo largo del tiempo y se puede explicar rápidamente mediante dos factores principales que influyen en esta: el crecimiento poblacional y el crecimiento económico; este último permite la adquisición de vehículos y motocicletas, además de motivar a las personas a realizar más actividades culturales, educativas y de recreación. Esto conlleva a más viajes y por ende, la necesidad de más y mejores redes viales.

Sin hacer una proyección a futuro, en la actualidad ya se presentan una serie de problemas debido al crecimiento poblacional y sobretodo, al crecimiento del parque automotor. Estudios demográficos revelan que la población colombiana entre el 2005 y 2010 creció a una tasa media anual de 1.18%. En Santander fue del 0.8% en 2010. [2]El aumento del parque automotor es realmente considerable en relación con el poblacional, y fue de 40.5% anual en 2011. [3]Particularmente en Santander, en el periodo comprendido entre 1990 y 2009, se presentó un aumento aproximado de 70%.

Debido a estos factores, los problemas se presentan a diario; embotellamientos, demoras excesivas en recorridos cortos, accidentes, etc. Esto se debe a que la gran mayoría de los corredores viales están presentando un NDS bajo. Es por ello que el diseño de cada elemento de infraestructura vial es de gran importancia.

Una parte primordial de dicha infraestructura son las intersecciones viales a nivel, que permiten el intercambio de corredores. Según un estudio elaborado por el grupo de investigación Geomática de la escuela de Ingeniería Civil con el nombre de “Inventario de intersecciones viales en la ciudad de Bucaramanga” existen aproximadamente 3977 intersecciones, incluyendo a nivel y a desnivel; entre las intersecciones a nivel las más importantes son las que tienen algún tipo de controlador para regular el tránsito, que corresponden al 25,8% de las intersecciones a nivel, dentro de las cuales el 80,76%(764) están controladas con pare y el 18,29%(173) están controladas con semáforos de tiempo fijo y la mayoría de estas últimas son de 4 accesos, el 80,3%; y el 1% (9) son glorietas. En base a esta información y teniendo en cuenta en que este proyecto está enfocado únicamente a intersecciones viales a nivel, se seleccionaron las más comunes en la ciudad de Bucaramanga que son: *intersecciones controladas con semáforos de tiempo fijo de 4 accesos, las controladas con señal de pare de 3 y 4 accesos y las glorietas.*

El estudio y análisis de dichas intersecciones permite hacer una caracterización en forma cualitativa y cuantitativa de estas, proporcionando la capacidad de seleccionar una solución factible para la necesidad que se quiera satisfacer. Dicho estudio debe ser de dos tipos: de tráfico y geométrico.

El análisis de tráfico hace referencia a la estimación de 3 indicadores importantes como son: la capacidad, la demora y el nivel de servicio de la intersección.

El análisis geométrico se encarga del cumplimiento de parámetros respecto a la geometría de la intersección de acuerdo a las normas establecidas.

La estimación de los indicadores de tráfico y la verificación de los parámetros geométricos puede ser algo compleja debido a la existencia de varias circunstancias que se pueden presentar en las trayectorias de las intersecciones, así como la extensión de las metodologías actuales. Por ello, es de gran importancia el uso de herramientas que permitan facilitar y sintetizar los procesos de cálculo necesarios, integrando las normativas más recientes competentes a este ámbito y brindando la posibilidad de un software gratuito. Con el ánimo de responder a dicha necesidad se desarrolló una herramienta software con el lenguaje de programación de Matlab y su respectivo manual de usuario [9], que permite determinar valores de capacidad, demora y NDS de intersecciones viales a nivel, así como la verificación de parámetros geométricos. Dicha herramienta se acoge a las normas existentes más recientes como el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008, The Policy on geometric design of highway and streets-AASHTO 2011 y The Highway Capacity Manual 2010 (HCM10).

En este trabajo se presentan las metodologías utilizadas en la herramienta desarrollada y la validación de esta, comparando los resultados obtenidos del análisis de 4 intersecciones de la ciudad de Bucaramanga con los obtenidos en el programa de microsimulación Transmodeler.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Facilitar el análisis de intersecciones viales a nivel a través de una herramienta software que permita determinar la capacidad y el nivel de servicio de éstas, teniendo en cuenta parámetros de diseño geométrico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las especificaciones, los métodos y procesos que se indican en las normativas existentes para el análisis de intersecciones viales a nivel.
- Definir los parámetros de entrada, así como los datos de salida necesarios para el desarrollo de la herramienta.
- Elaborar una herramienta software que permita la entrada de datos para el cálculo de resultados sobre la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones a analizar, teniendo en cuenta parámetros geométricos.
- Validar el funcionamiento de la herramienta desarrollada mediante la aplicación a un caso de estudio de la ciudad de Bucaramanga apoyándonos en herramientas de micro simulación.

1. METODOLOGÍA

Desde que surgió la necesidad de caracterizar las carreteras mediante indicadores que permitieran conocer el desempeño de estas, para poder determinar soluciones factibles a necesidades existentes, se han establecido manuales o documentos que explican las metodologías para realizar dicha caracterización.

El HCM 1950 fue el primer documento en cuantificar el concepto de capacidad para las instalaciones de transporte. Este enfoque fue en respuesta a la rápida expansión del sistema vial en EE.UU. después de la Segunda Guerra Mundial y la necesidad de determinar las condiciones de carril para el sistema de autopistas interestatales y las carreteras que daban acceso a la misma.

El propósito de un manual como el HCM es proporcionar un conjunto de metodologías y procedimientos para evaluar el desempeño de la carretera y las instalaciones de la calle en cuanto a las medidas operativas e indicadores de calidad de servicio[4]. Estas medidas e indicadores se resumen en dos conceptos principales que son: capacidad y nivel de servicio.

El HCM 2010 (última versión de esta normativa) define la capacidad como la razón de flujo máxima sostenible por hora en el que se puede esperar, razonablemente, que los vehículos atraviesen un punto o una sección uniforme de un carril o carretera durante un periodo de tiempo dado, bajo condiciones ambientales, de tráfico y de control de la vía existente. Igualmente, habla del NDS como una estratificación cuantitativa de una medida de desempeño, que representa la calidad del servicio, en una escala A-F, en donde el NDS A representa las mejores condiciones de operación desde la perspectiva del viajero y el NDS F como el peor.

Las metodologías usadas para la estimación de los indicadores mencionados anteriormente que caracterizan una carretera, contienen o están en función de

parámetros geométricos de esta que deben cumplir con criterios establecidos en normas existentes. En el caso colombiano, el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS es la normativa que rige el diseño geométrico de carreteras en donde se establecen parámetros que garantizan servir a la demanda de transporte en forma segura, cómoda y eficiente.

En el presente documento, todas las metodologías, parámetros, indicadores y conceptos ya citados se enfocan a una parte primordial de la infraestructura vial que son las intersecciones viales a nivel. Como se dijo anteriormente, en la ciudad de Bucaramanga, los 4 tipos de intersecciones a nivel más usados son: intersecciones controladas por semáforos de tiempo fijo, intersecciones controladas por señal de pare de 3 y 4 accesos y glorietas.

A continuación se presentan las metodologías utilizadas para obtener los indicadores y parámetros necesarios en un análisis de tráfico y de diseño geométrico de una intersección vial a nivel en forma general.

1.1 ANÁLISIS DE TRÁFICO

Se refiere a la estimación de indicadores que permitan caracterizar la intersección de manera cuantitativa y cualitativa como son la capacidad, la demora y el NDS.

Para determinar la capacidad y la demora es necesario conocer los procedimientos existentes para cada intersección, ya que depende del tipo de esta. Por el contrario, el NDS, aunque depende de las demoras calculadas como se verá más adelante, ya tiene una definición determinada para cada clasificación en la escala mencionada anteriormente así:

Nivel de servicio A

Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al motorista, o pasajero, es excelente.

Nivel de servicio B

Está dentro del rango del flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas, sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra en relación con la del NDS A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del NDS A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.

Nivel de servicio C

Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.

Nivel de servicio D

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.

Nivel de servicio E

El funcionamiento está en él, o cerca del, límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo a “ceder el paso”. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

Nivel de servicio F

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto o calzada, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables. [7].

Como se mencionó antes, en este trabajo se describe la metodología usada para determinar los indicadores de tráfico para cada tipo de intersección a nivel por separado así:

1.1.1 Intersecciones controladas con semáforos El HCM10 propone un análisis de tráfico para intersecciones controladas con semáforo donde se puede determinar el NDS de toda la intersección y para cada uno de sus accesos, así como la capacidad para estos.

El concepto de NDS dice que es una medida cualitativa que refleja condiciones de operación, la calidad de flujo de vehículos, la libertad de maniobra en términos de tiempo de recorrido (demora por cada vehículo) y la relación volumen-capacidad. La tabla1 describe el NDS a partir de las demoras en segundos de cada vehículo. Si el grado de saturación x , (relación volumen –capacidad $x = v/c$), es menor que 1.0, así la demora no sea mayor que 80 s, el NDS es F. El NDS F no indica

necesariamente que la intersección o el acceso estén por debajo de la capacidad, ni que el flujo de demanda esté por debajo de la capacidad para un rango de NDS de A a E.

Tabla 1: NDS según la relación v/c y la demora

NDS Por relación v/ c		DEMORA (Seg)
≤ 1	>1	
A	F	≤ 10
B	F	>10 y ≤ 20
C	F	>20 y ≤ 35
D	F	>35 y ≤ 55
E	F	>55 y ≤ 80
F	F	> 80

Fuente: HCM 2010

Se requiere una serie de datos de entrada para el análisis que son clasificados como condiciones geométricas (número y anchos de carril, pendiente, etc.), condiciones de tránsito (volúmenes vehiculares, peatonales y de bicicletas, factor de hora pico, entre otros) y condiciones de señalización (incluye el plan de fases, tiempos de verde, amarillos, etc.).

La metodología está basada en un concepto fundamental que habla de grupos de carriles, en donde todos los procedimientos se aplican primero a estos para después ser generalizados por accesos y por toda la intersección. Es necesario efectuar una asignación de estos grupos de carriles en cada acceso, debido a que no se puede realizar el mismo análisis para ciertos movimientos de giros en condiciones geométricas específicas igual que los movimientos directos.

Inicialmente, se determina la capacidad para cada grupo de carriles usando el concepto de tasa de flujo de saturación. Esta es la tasa de flujo en veh/h (vehículo/hora) que puede soportar el grupo de carriles, si continuamente tiene luz verde. De igual forma, se calcula la demora para grupo de carriles que es función de la capacidad y está definida por la demora uniforme d_1 (debido a las llegadas uniformes), la demora incremental d_2 (debido a las llegadas no uniformes y aleatorias), la demora por colas d_3 (debido cola residual que existe antes del período de análisis T) y el factor de ajuste PF (que ajusta d_1 por medio del tipo de llegada AT). Subsiguientemente se calcula la capacidad, la demora y el NDS por cada acceso y finalmente la el NDS de toda la intersección.

A continuación se hablará más detalladamente de los términos mencionados anteriormente:

- I. Grupos de carriles: Un grupo de carriles consta de uno o más carriles en el acceso de una intersección y tienen la misma fase verde. Son definidos principalmente por la existencia de condiciones específicas de geometría para la realización de giros. Esta asignación se hace de la siguiente manera:
 - Si existe un carril exclusivo de giro a la izquierda se asignará un grupo de carril separado para este movimiento. Los demás movimientos se agruparan en otro grupo de carril.
 - Si no existe un carril exclusivo de giro a la izquierda todos los movimientos se agruparan en un único grupo de carril.
 - Si existe un carril individual de giro derecho, este movimiento no se incluirá en ningún grupo de carril.

- II. Tasa de flujo de saturación S : El flujo de saturación ideal S_0 , se ajusta para obtener el flujo de saturación para el grupo de carriles. El ajuste se hace mediante la introducción de 12 factores de corrección. Esto se muestra en la ecuación 1 así:

$$S = S_o f_w f_{HV} f_g f_{pb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (1)$$

Donde,

S = Tasa de flujo de saturación de ajuste [veh/h/carril];

S_o = Tasa de saturación base [%/h/carril];

f_w = Factor de ajuste por ancho de carril;

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo vehicular;

f_g = Factor de ajuste por la pendiente del acceso;

f_p = Factor de ajuste por parqueo o estacionamiento;

f_{bb} = Factor de ajuste por el efecto de bloqueo de los autobuses locales;

f_a = Factor de ajuste por tipo de área;

f_{LU} = Factor de ajuste por la utilización del carril;

f_{LT} = Factor de ajuste por giros a la izquierda en el grupo de carriles;

f_{RT} = Factor de ajuste por giros a la derecha en el grupo de carriles;

f_{Lpb} = Factor de ajuste por peatones y bicicletas para giros vehiculares a la izquierda;

f_{Rpb} = Factor de ajuste por peatones y bicicletas para giros vehiculares a la derecha;

- III. Capacidad del grupo de carril: La capacidad de un determinado grupo carril o de un acceso se define por la ecuación 2.

$$c = N s \frac{E}{c} \quad (2)$$

Donde

c = Capacidad [veh/h];

N = Número de carriles en el grupo de carriles

(Carriles);

C = Duración del ciclo;

g = Tiempo efectivo de Luz verde para el grupo de carriles i (s);

s = Flujo de saturación para [veh/h].

- IV. Grado de saturación X (v/c) del grupo de carril: El grado de saturación (relación volumen capacidad) para un grupo carriles se define como la relación del volumen del grupo de carriles y su capacidad. Se calcula utilizando la ecuación 3.

$$X = \frac{v}{c} = \frac{v}{Ns \frac{g}{C}} \quad (3)$$

Dónde:

X = Grado de saturación (relación volumen- capacidad v/c);

v = demanda flujo [veh/h];

Las demás variables fueron definidas previamente.

- V. Demora en el grupo de carriles: La demora calculada representa el control de demora promedio experimentado por todos los vehículos que llegan durante el período de análisis. El control de demora para un grupo determinado carril se calcula utilizando la ecuación 4.

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (4)$$

Dónde:

d = Demora total promedio por vehículo [s/veh];

d_1 = Demora uniforme, por llegadas uniformes [s/veh];

PF = Factor de ajuste de demora uniforme o de progresión;

d_2 = Demora incremental, por llegadas aleatorias
 [s/veh];
 d_3 = Demora por cola inicial [s/veh].

1.1.1.1 Demora Uniforme d_1 La Ecuación 5 da un estimado de la demora, suponiendo que las llegadas de los vehículos son uniformes en un flujo estable y si no presenta saturación ($X \leq 1$) durante cualquier ciclo, sin fila inicial.

$$d_1 = \frac{0.5C * [1 - (g/C)]^2}{1 - [(g/C) * \min(1, X)]} \quad (5)$$

Las variables fueron definidas previamente.

Factor de ajuste de demora uniforme, PF: El Factor de ajuste de demora uniforme, de progresión, de coordinación o calidad de avance, PF, tiene en cuenta los efectos de la progresión de los semáforos, es decir el efecto de la calidad de avance de las fases del semáforo en la intersección. El PF, completa el efecto positivo de las fases del semáforo sobre el tránsito que atraviesa la intersección y su dependencia del tipo de llegada.

El PF depende del **AT** (Arrival Type, Tipo de llegada) que presenta la intersección.

Tipo de llegada 1, AT1: Representa la condición de llegada más adversa. Pelotones densos que llegan al inicio de la fase de luz roja. Calidad de progresión muy deficiente y contiene más del 80% del volumen del grupo de carriles.

Tipo de llegada 2, AT2: Todavía desfavorable, pero aún mejor que AT1. Consiste en un pelotón denso que llega a la mitad de la fase de luz roja o en un pelotón disperso que llega durante la fase de luz roja y contiene del 40 al 80 % del volumen del grupo de carriles.

Tipo de llegada 3, AT3: Generalmente se presenta en intersecciones aisladas y que no están interconectadas, se caracteriza por pelotones muy dispersos, lo que implica la llegada aleatoria de vehículos, en el cual el grupo principal contiene menos del 40% del volumen del grupo de carriles. Las llegadas en las intersecciones coordinadas con beneficios mínimos de avance o de progresión, también pueden describirse en este tipo de llegada.

Tipo de llegada 4, AT4: Progresión favorable en calles de dos sentidos. Puede ser un pelotón moderadamente denso que llega a la mitad de la de la fase de luz verde, o un grupo disperso que contiene del 40 al 80 % del volumen del grupo de carriles que llega durante la totalidad de la fase de luz verde.

Tipo de llegada 5, AT5: Representa la mejor condición de llegada que frecuentemente se presenta, es un pelotón denso que contiene más del 80% del volumen del grupo de carriles que llegan en el inicio de luz verde.

Tipo de llegada 6, AT6: Representa una calidad excepcional de avance, es un pelotón muy denso que avanza a través de varias intersecciones cercanas con muy poco tránsito proveniente de las calles laterales.

Con ayuda de la tabla 2, la ecuación 6 y los tipos de llegada descritos, PF se determina así:

$$PF = \frac{(1-P)FPA}{1-(g/C)} \quad (6)$$

Dónde:

P =Proporción de vehículos que llegan en verde;

FPA = Factor de corrección, depende el AT ;

Las demás variables fueron definidas previamente.

Tabla 2: R_p y FPA para cada tipo de llegada AT

AT	R_p	FPA
-----------	-------------------------	------------

1	0,333	1,0
2	0,667	0,9
3	1,000	1,0
4	1,333	1,2
5	1,667	1,0
6	2,000	1,0

Fuente: HCM 2010

Dónde:

R_p = Proporción de pelotón;

Las demás variables fueron definidas previamente.

$$P = R_p * (g/C) \quad (7)$$

Dónde:

Las variables fueron definidas previamente.

1.1.1.2 Demora incremental d_2 La Ecuación 8 estima la demora por incremento debido a las llegadas no uniformes y colapsos temporales de ciclos (demora aleatoria), así como las causadas por períodos sustanciales de sobresaturación (demora de saturación).

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8KIX}{cT}} \right] \quad (8)$$

Dónde:

T = duración del período de análisis $T = 0.25$ [h];

K = factor de demora incremental. Depende del ajuste de los controladores en intersecciones accionadas ($k = 0,5$ para prefijadas);

I = factor de ajuste por entradas de la intersección

corriente arriba, considera los semáforos ubicados antes de la intersección. (Para intersecciones aisladas $I=1$; para intersecciones no aisladas ver ecuación 9. Las demás variables fueron definidas anteriormente.

$$I = 1,0 - 0,91X_u^{2,68} \leq 1,0 \quad (9)$$

En donde X_u es el grado de saturación en la intersección antes del acceso; Las demás variables fueron definidas anteriormente.

1.1.1.3 Demora por cola inicial d_3 Cuando una cola residual, existe antes del período de análisis T , los vehículos experimentan (los que llegan durante T) una demora adicional, debido a que la cola deberá desalojar primero la intersección. Una forma generalizada de la demora por formación de la cola, d_3 , se define en la ecuación 10.

Cuando $Q_b=0$, cuando no hay cola inicial, la Demora por cola inicial es cero ($d_3=0$); de lo contrario, la demora d_3 está dado por:

$$d_3 = \frac{1800 Q_{bi}(1+u_i)t_i}{T * c_i} \quad (10)$$

Donde

Q_{bi} = cola inicial al principio del período T [veh];

t_i = duración de la demanda insatisfecha en T para grupo de carriles i [h];

u_i = parámetro de demora para grupo de carriles i ;

Las demás variables fueron definidas anteriormente.

$$t_i = \min \left[T, \frac{Q_{bi}}{c_i [1 - \min(1, X_i)]} \right] \quad (11)$$

Si $t_i < T$, Entonces $u_i = 0$;

Si $t_i = T$, Entonces:

$$u_i = 1 - \frac{T c_i}{Q_{bi} [1 - \min(1, X_i)]} \quad (12)$$

1.1.1.4 Capacidad en el acceso

$$c_A = \sum_{i=1}^{n_A} (c_{ia}) \quad (13)$$

En donde c_A es la capacidad del acceso A, dado en [veh/h]; n_A es el número de grupos de carriles en el acceso A, dado en [Carriles]; y C_{ia} es la capacidad para el grupo de carril i del acceso A dado en [veh/h].

1.1.1.5 Demora en el acceso

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} v_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} (v_i)} \quad (14)$$

Dónde:

d_A = Demora para el acceso A (seg/veh);

d_{ia} = Demora para el grupo de carril i del acceso A
[seg/veh];

v_i = volumen para el grupo de carril i del acceso A
[veh].

1.1.1.6 Demora en la intersección Se estima con la ecuación 15 que describe el promedio ponderado de las demoras de los accesos de la intersección:

$$d_I = \frac{\sum_{A=1}^{A_n} (d_A v_A)}{\sum_A^{A_n} (v_A)} \quad (15)$$

Dónde:

d_I = Demora promedio para la intersección [seg/veh];

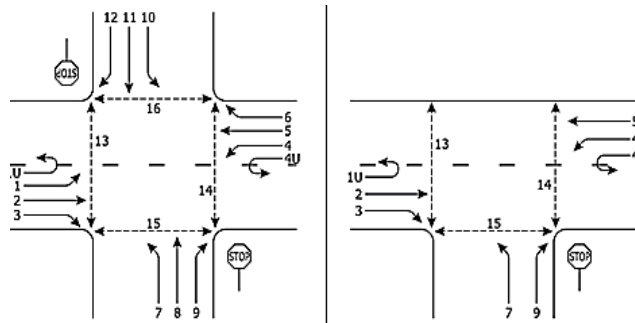
A_n = Número de accesos en la intersección;

Las demás variables fueron definidas anteriormente.

1.1.2 Intersecciones controladas por pare Se habla de dos configuraciones principales. Una configuración típica es una intersección de 4 accesos (Tipo +) en donde existe una calle principal no controlada, y una calle menor controlada por señales de parada. Otra configuración típica es una intersección de 3 accesos (Tipo T), donde se controla el acceso único menor, es decir, el vástago de la configuración T, por una señal de parada.

Figura 1: Movimientos existentes en una intersección controlada por Pare tipo + y

T



Fuente: HCM 2010

El análisis de capacidad de estas intersecciones requiere una descripción clara y la comprensión de la interacción entre los viajeros en el acceso de menor importancia, o el acceso controlado con parada, con los viajeros de la calle principal.

Las intersecciones controladas por pare requieren que solo los conductores de la calle menor paren antes de proceder a la intersección. Los conductores de giro izquierdo de la calle principal pueden tener que ceder al aproximarse a los movimientos directos y de giro a la derecha de esta calle, pero no están obligados a parar en ausencia de tráfico. En estas intersecciones, los conductores en los accesos controlados por parada necesitan seleccionar huecos en el flujo principal de la calle a fin de ejecutar el cruce o las maniobras de giro. En la presencia de una cola, cada conductor en el acceso controlado también debe utilizar algún tiempo para pasar a la primera posición de la cola en donde se preparan para evaluar huecos en el flujo principal de la calle. Por ello, la capacidad de los accesos controlados se basa principalmente en tres factores: la distribución de los huecos del flujo en la calle principal, el juicio del conductor en la selección de las brechas a través de las cuales se ejecutan las maniobras deseadas, y los avances de seguimiento requeridos por cada conductor en una cola.

El modelo de capacidad base asume que las diferencias en los movimientos conflictivos están distribuidas al azar. Cuando existen señales de tráfico en la calle principal que se encuentran a 0,25 millas de la intersección tema, los flujos no pueden ser al azar, pero es probable que tengan alguna estructura pelotón.

La metodología mostrada a continuación es la descrita en el HCM10 que se basa principalmente en mediciones de campo en los Estados Unidos que se han aplicado a un modelo de brechas aceptables desarrollado y perfeccionado en Alemania. Estas se basan en datos de flujo y geométricos de la intersección como volúmenes en la hora pico, porcentaje de vehículos pesados, número de carriles, aspectos de canalización, pendientes, etc. para calcular la capacidad por movimientos y por accesos. Esta capacidad es usada para la determinación de la demora de cada movimiento, acceso y de la intersección como un todo, así como el NDS que depende de dicha demora.

El cálculo de estos indicadores se basa en una jerarquía organizada de acuerdo a la primacía de los movimientos de la intersección. Cada movimiento tiene una clasificación diferente en una jerarquía de prioridad. Por lo general, los procesos de brechas aceptables suponen que los conductores en la calle principal no se ven afectados por los movimientos de la calle menor. En el uso de la metodología para intersecciones controladas por pare, la prioridad del derecho de paso a cada movimiento debe ser identificado. Algunos movimientos tienen prioridad absoluta, mientras que otros tienen que ceder o rendirse a los movimientos de orden superior.

Los movimientos pueden ser clasificados por derecho de prioridad de paso de la siguiente manera:

Movimientos de rango 1: Incluye el tráfico directo en la calle principal, el giro a la derecha de la calle principal, y los movimientos de los peatones que cruzan la calle menor.

Movimientos de rango 2: Incluye los giros a la izquierda de la calle principal, los giros a la derecha de la calle menor y los peatones que cruzan la calle principal.

Movimientos de rango 3: Incluye el tráfico directo de la calle menor (en el caso de las intersecciones de 4 accesos) y el giro a la izquierda de la calle menor (en el caso de la intersección T).

Movimientos de rango 4: Incluye el giro a la izquierda de la calle menor. Este rango solo ocurre en las intersecciones de 4 accesos. [7].

Una vez se han clasificado los movimientos en un rango de prioridad, cada uno de estos se analiza de forma independiente.

Para calcular la capacidad de cada movimiento es necesario ajustar una capacidad potencial $C_{p,x}$ determinada para cada uno de estos. Dicha capacidad depende de unos factores como el flujo en conflicto, el avance crítico y el avance de seguimiento de cada movimiento. Llámese flujo en conflicto $v_{c,x}$ a los vehículos que se interponen al movimiento analizado, avance crítico $t_{c,x}$ al intervalo de tiempo mínimo de la corriente de tráfico en la calle principal que permite la entrada a la intersección para los vehículos de la calle menor y avance de seguimiento $t_{f,x}$ al tiempo entre la salida de un vehículo de la calle menor y la salida del vehículo siguiente con el mismo avance de la calle principal, bajo una condición de cola continua en la calle menor.

La capacidad potencial, cuando no existen señales a menos de 0.25 millas de la calle principal de la intersección, se determina con la siguiente ecuación:

$$C_{p,x} = V_{c,x} * \frac{e^{-v_{c,x} * t_{c,x} \frac{x}{3600}}}{1 - e^{-v_{c,x} * t_{f,x} \frac{x}{3600}}} \quad (16)$$

Donde $C_{p,x}$ es la capacidad potencial en [veh/h]; $v_{c,u,x}$ es el flujo conflictivo para x movimiento durante el período desbloqueado en [veh/h]; Las demás variables fueron definidas anteriormente.

De lo contrario, la capacidad potencial se determina como sigue:

$$C_{p,x} = (1 - p_{b,x}) * V_{c,u,x} * \frac{e^{-v_{c,u,x} * t_c \frac{x}{3600}}}{1 - e^{-v_{c,u,x} * t_f \frac{x}{3600}}} \quad (17)$$

Donde $p_{b,x}$ es la proporción de tiempo que el movimiento x es bloqueado por el pelotón de la calle principal en [s]; Las demás variables fueron definidas anteriormente.

Después de obtener la capacidad potencial de cada movimiento, esta debe ser ajustada para determinar la capacidad de movimiento de cada rango así:

1.1.2.1 Capacidad de movimiento del Rango 1 Para los movimientos del rango 1 se asume que no están obstaculizados por ningún movimiento de menor rango. Este rango también implica que los movimientos de la calle principal pertenecientes a este, no incurren en una demora a medida que viajan por la intersección. Las observaciones empíricas han demostrado que estas demoras se producen de vez en cuando, y se tienen en cuenta mediante el uso de ajustes.

1.1.2.2 Capacidad de movimiento del Rango 2 Los movimientos de rango 2 deben ceder el paso al conflicto del movimiento directo de la calle principal y los movimientos vehiculares de giro a la derecha de esta (rango 1). La capacidad de cada movimiento $C_{m,x}$ del rango 2 del es igual a su capacidad potencial, como se muestra:

$$C_{m,x} = C_{p,x} \quad (18)$$

1.1.2.3 Capacidad de movimiento del Rango 3 Los movimientos de la calle menor del rango 3 deben ceder el paso a los movimientos en conflicto del rango 1 y rango 2. No todos los huecos de longitud aceptable que hay a través de la intersección normalmente estarán disponibles para el uso de los movimientos del rango 3, porque algunos de estos huecos son susceptibles de ser utilizados por los movimientos del rango 2.

Los movimientos directos de la calle menor o de giro a la izquierda de esta calle pueden completar su maniobra en una o dos etapas. Una etapa de brechas aceptables no asume que está disponible alguna área de refugio mediana para que los conductores de la calle menor puedan guardar y evaluar las brechas en las dos direcciones de la calle principal al mismo tiempo. Por el contrario, las brechas aceptables de dos etapas suponen que un área de refugio mediana está disponible para los conductores de la calle menor. Durante la etapa 1, los conductores de la calle menor evalúan las brechas de la calle principal en flujo de tráfico del lado cercano (tránsito en conflicto desde la izquierda), durante la etapa 2, los conductores de la calle menor evalúan las brechas de la calle principal en el flujo de tráfico del lado lejano (tráfico en conflicto desde la derecha).

Para maniobras en una etapa, la capacidad de movimiento se determina así:

$$C_{m,x} = C_{p,x} * f_x \quad (19)$$

En donde f_x es un factor de ajuste que tiene en cuenta los efectos de obstáculo de los movimientos de rangos más altos, que depende de la probabilidad de que los movimientos de rango 2 operen en estado libre de cola.

Para maniobras hechas en dos etapas, la capacidad de movimiento se determina así:

$$C_{m,x} = \frac{a}{y^{nm+1}-1} (y(y^{nm}-1)(C_{II} - v_L) + (y-1) * C_{m,x}) \quad (20)$$

Donde:

nm = Número de espacios de almacenamiento en el medio;

y = Factor que depende de las capacidades de la etapa I y II);

c_{II} = Capacidad de movimiento para el proceso de la etapa II, calculado con la ecuación (19), [veh /h];

v_L = Volumen del flujo de giro a la izquierda de la calle principal, v_1 o v_4 [veh/h];

$c_{m,x}$ = Capacidad de movimiento.

1.1.2.4 Capacidad de movimiento del Rango 4 Los movimientos del rango 4 se producen solo en intersecciones de 4 accesos. Estos son impedidos por los movimientos de los otros rangos. Las maniobras de cruce de la intersección para estos movimientos también se pueden dar en 1 o 2 etapas como el rango 3.

La capacidad de movimiento para una etapa es:

$$C_{m,x} = C_{p,x} * f_p \quad (21)$$

En donde f_p es un factor de ajuste de capacidad que tiene en cuenta los efectos de impedancia de los rangos superiores.

La capacidad de movimiento para dos etapas se determina de la misma manera que el rango 3.

Habiendo obtenido la capacidad para cada uno de los movimientos, se puede determinar el control de demora de los movimientos del rango 2 al 4, ya que para los movimientos del rango 1 la demora es considerada como 0; para cada acceso y para la intersección como un todo, así como el NDS que depende de estas demoras.

1.1.2.5 Demora para los movimientos de los Rangos 2, 3 y 4 La demora experimentada por un automovilista se compone de una serie de factores que relacionan el tipo de control, geometría, el tráfico y los incidentes. En la metodología de las intersecciones DSC, únicamente la parte de demora atribuido al aspecto de control de parada de la intersección, conocido como control de demora, se cuantifica. El control de demora incluye la demora debida a la desaceleración para una parada en la parte posterior de la cola de la velocidad de flujo libre, tiempo de movimiento hacia arriba dentro de la cola, demora de parada en la parte delantera de la cola y demora debida a la desaceleración de la parte de atrás a la velocidad de flujo libre. Con respecto a las mediciones, el control de demora se define como el tiempo total que transcurre desde el momento que un vehículo para y el fin de la cola a la vez que el vehículo sale de la línea de parada. El control de demora medio para cualquier movimiento particular es función de la capacidad del acceso y el grado de saturación. El modelo de análisis utilizado para estimar el control de demora (ecuación 7) asume que la demanda es menor que la capacidad para el periodo de análisis. En la mayoría de los casos, el periodo de análisis recomendado es 15 min. Si la demanda excede la capacidad durante un periodo de 15 min, los resultados de demora calculados por el procedimiento pueden no ser exactos.

$$d = \frac{3600}{C_{m,x}} + 900T \left(\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) \left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right)}{450T}} \right) + 5 \quad (22)$$

Donde:

d = control de demora [s/veh];

v_x = volumen de flujo para el movimiento x [veh/h];

$c_{m,x}$ = capacidad del movimiento x [veh/h];

T = Análisis de periodo de tiempo (igual a 0.25 h para un periodo de 15-min) [h].

1.1.2.6 Demora del acceso y de la intersección El control de demora para todos los vehículos en un acceso particular puede ser calculado como el promedio ponderado del control de demora calculado para cada movimiento en el acceso.

$$d_A = \frac{d_r V_r + d_t V_t + d_l V_l}{V_r + V_t + V_l} \quad (23)$$

Dónde:

d_A = Control de demora en el acceso [s/veh];

d_r, d_t, d_l = Cálculo del control de demora para movimientos de giro a la derecha, directo y giro a la izquierda, respectivamente [s/veh];

v_r, v_t, v_l = Tasa de flujo o volumen de giro a la derecha, directo y a la izquierda en el acceso, respectivamente [veh/h].

Del mismo modo, el control de demora de la intersección se puede calcular con:

$$d_I = \frac{d_{A,1} V_{A,1} + d_{A,2} V_{A,2} + d_{A,3} V_{A,3} + d_{A,4} V_{A,4}}{V_{A,1} + V_{A,2} + V_{A,3} + V_{A,4}} \quad (24)$$

Al obtener el valor de las demoras se puede determinar el NDS relacionado a estas. Los criterios que se deben tener en cuenta son los siguientes:

1.1.2.7 Criterios de Nivel de Servicio El NDS para una intersección controlada con pare se determina por el control de la demora calculada o medida. Para los vehículos de motor, el NDS se determina para cada movimiento de la calle menor así como para el giro a la izquierda de la calle principal. Así mismo, se puede determinar para cada acceso.

El NDS no está definido por la intersección en su conjunto o por el acceso de la calle principal por tres razones principales:(a) Se supone que los vehículos de la calle principal experimentan demora cero,(b) el número desproporcionado de los vehículos de la calle principal en una intersección controlada con pare típica, distorsiona el promedio ponderado de todos los movimientos, lo que resulta en una demora media muy baja en general para todos los vehículos y(c) la demora resultante baja puede enmascarar importantes deficiencias en el NDS para movimientos menores.

En la tabla 3 el NDS F está asignado al movimiento, si la relación volumen-capacidad para el movimiento excede de 1,0, independientemente, del control de demora. [7].

Tabla 3: NDS según la relación v/c y la demora

NDS Por relación v/ c		Demora [s/veh]
≤ 1	>1	
A	F	≤ 10
B	F	>10 y ≤ 15

C	F	$>15 \text{ y } \leq 25$
D	F	$>25 \text{ y } \leq 35$
E	F	$>35 \text{ y } \leq 50$
F	F	> 50

Fuente: HCM 2010

1.1.3 Glorietas Son intersecciones con una forma generalmente circular, que se caracteriza por el rendimiento de entrada y la circulación alrededor de una isla central. [7]

La metodología usada para la estimación de la capacidad descrita en el HCM10 tiene una limitación importante en cuanto al número de carriles máximo que puede tener la glorieta tanto en su anillo de circulación como en los accesos de entrada a esta.

Por ello, en este trabajo se presentan dos metodologías más desarrolladas en Gran Bretaña en donde no existe esta limitación para el cálculo de la capacidad de esta intersección.

1.1.3.1. Metodología según el HCM10 En el capítulo 21 (Glorietas) del HCM10, se presenta el procedimiento para el análisis de estas intersecciones. Esta metodología se apoya en el proyecto National Cooperative Highway Research Program 3-65 que proporcionó una amplia base de datos de las operaciones de las glorietas para las condiciones de Estados Unidos sobre la base de un estudio de 31 sitios. Los procedimientos presentados se basan en gran medida en las recomendaciones de este estudio y permiten al analista evaluar el rendimiento operativo de una glorieta y de los niveles de demanda de tráfico dado un solo carril o dos carriles existentes o previstos en esta. [7]

Por ello, la limitación más importante de esta metodología, como se dijo anteriormente, es que se puede aplicar solo a glorietas con máximo dos carriles en el anillo de circulación y en los accesos, además de que no tiene en cuenta los efectos de otras intersecciones alrededor de la glorieta.

La capacidad de los accesos en una glorieta está en función del flujo en conflicto v_c , que pasa por el frente de este así:

$$C_{i,pce} = 1130e^{(-x*10^{-5})V_{c,i,pce}} \quad (25)$$

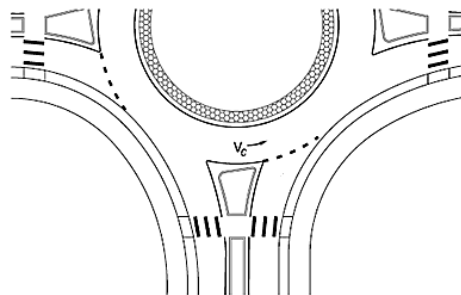
Dónde:

C_{pce} = Capacidad de un acceso, ajustado para
vehículos pesados (pc/h);

x = Factor que depende del número de carriles en el
anillo de circulación y en el acceso analizado
(máximo 2 carriles);

$v_{c,pce}$ = Flujo que circula por el anillo frente al acceso
en análisis en la hora pico, ajustado a
vehículo pesados (pc/h).

Figura 2: Flujo en conflicto frente a un acceso.



Fuente: HCM 2010

Debido a que el tráfico peatonal puede reducir la capacidad vehicular de una glorieta si están presentes suficientes peatones, esta debe ajustarse con un factor que tenga en cuenta esta condición. Bajo altos flujos vehiculares en conflicto, los peatones suelen pasar entre los vehículos en cola en la entrada y por lo tanto, tienen un impacto insignificante sobre la capacidad de entrada adicional vehicular. Sin embargo, en condiciones de bajos flujos contrapuestos de vehículos, los peatones efectivamente pueden funcionar como vehículos adicionales conflictivos y así reducir la capacidad vehicular de la entrada. El efecto de los peatones es más pronunciado con el aumento de volumen de peatones. Por ello, el ajuste de la capacidad calculada para el acceso se hace como sigue:

$$C_i = C_{i,pce} * f_{HV} * f_{ped} \quad (26)$$

C_i = Capacidad ajustada en vehículos por hora [veh/h]

$C_{i,pce}$ = Capacidad en vehículos pesados por hora
[pc/h];

f_{hv} = Factor de ajuste de vehículos pesados para el
carril

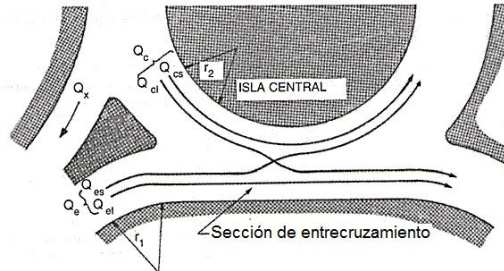
f_{ped} = Factor de impedancia de peatones que depende
del número de peatones que cruzan el acceso.

1.1.3.2. Metodología de Transport and Road Research Laboratory TRRL,

Gran Bretaña Las expresiones del TRRL permiten determinar la capacidad, en términos del flujo que pueda entrar a la glorieta desde un acceso dado, a partir del conocimiento del flujo en circulación y de las características geométricas del

acceso y de la sección de entrecruzamiento. [7] Estos elementos se indican en las figuras 3 y 4:

Figura 3: Elementos de flujo de la glorieta



Fuente: ARBOLEDA VÉLEZ, Germán. Cálculo y diseño de Glorietas

La capacidad de flujo de entrada por un acceso determinado de la glorieta está dada por:

$$C_i = F_i - f_{c,i} * Q_c \quad (27)$$

En donde C_i es la Capacidad del acceso i en ade/h (1 Veh pesado= 2 ade);

$$F_i = 233 e_1 \left(1.5 - \frac{1}{\sqrt{r_1}} \right) - 255 \quad (28)$$

$$f_{c,i} = 0.0449(2e_1 - W) + 0.282 \quad (29)$$

Dónde:

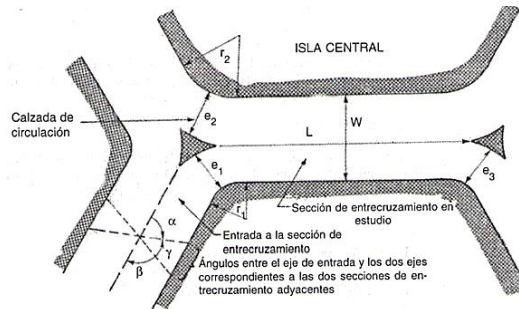
Q_c = Flujo en conflicto frente al acceso (ade/h);

W = ancho de entrecruzamiento después del acceso [m];

r_1 = radio de entrada del acceso [m];

e_1 = ancho de entrada [m].

Figura 4: Elementos de geométricos de la glorieta



Fuente: ARBOLEDA VÉLEZ, Germán. Cálculo y diseño de Glorietas.

Las limitaciones de esta metodología están dadas en los siguientes rangos, en donde los datos de entrada no deben estar muy desfasados de estos:

$$e_1: 0.4 \text{ a } 12.5 \text{ m} \qquad \frac{e_1}{\sqrt{r_1}}: 0.74 \text{ a } 3.3 \text{ m}$$

$$2e_1 - W: 2.5 \text{ a } 9.5 \text{ m} \qquad Q_C: 580 \text{ a } 3890 \text{ ade/h}$$

1.1.3.3. Metodología de Wardrop, Gran Bretaña Este método, a diferencia de los dos anteriores, permite determinar la capacidad por secciones de entrecruzamiento de la glorieta, más no por accesos. No está en función del flujo existente, solo depende de las características geométricas de la intersección. No tiene ningún tipo de limitación, y se calcula como sigue:

$$C_{sección} = \frac{160W(1 + \frac{e}{W})}{1 + \frac{W}{L}} \quad (30)$$

Donde:

$C_{sección}$ = Capacidad de la sección de

entrecruzamiento en vehículos por hora;

W = Ancho de la sección de entrecruzamiento en metros

e = Promedio de los anchos de entrada del acceso (e_1 y e_2) en metros;

L = Longitud de la sección de entrecruzamiento.

1.1.3.4 Cálculo de Demoras La ecuación 16 muestra el modelo que se debe utilizar para estimar el control de demora promedio para cada carril de un acceso de la glorieta y tiene la misma base teórica de las demás intersecciones:

$$d = \frac{3600}{c} + 900T \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{(3600)^2}{450T}} \right] + 5 * \min [x, 1] \quad (31)$$

Donde

d = Control de demora [s/veh];

v_x = Volumen de flujo para el carril o acceso x [veh/h];

cm_x = Capacidad del carril x [veh/h];

T = Análisis de periodo de tiempo (igual a 0.25 h para n periodo de 15-min) (h).

Para determinar la demora de cada acceso o de la intersección como un todo, se realiza un promedio ponderado como se vio en las otras intersecciones:

$$d_A = \frac{d_r V_r + d_l V_l}{V_r + V_l} \quad (32)$$

Donde:

d_A = Control de demora en el acceso [s/veh];

d_r, d_l = Cálculo del control de demora para el carril

derecho e izquierdo del acceso,
respectivamente [s/veh];

v_r, v_l = Tasa de flujo o volumen de del carril derecho e
izquierdo del acceso, respectivamente [veh/h].

$$d_I = \frac{\sum d_A * V_A}{\sum V_A} \quad (33)$$

d_I = demora de la intersección [s/veh];

d_A = demora de los accesos [s/veh];

v_A = Volumen de flujo del acceso [veh/h].

Al haber determinado la demora para cada acceso y para la intersección como un todo, se puede caracterizar el NDS de estos así:

1.1.3.5 Criterios de nivel de servicio El NDS para una glorieta se determina de la misma manera y con los mismos criterios de las intersecciones controladas por pare.

1.2 ANÁLISIS GEOMÉTRICO

El análisis geométrico para una intersección se centra en los parámetros como pendientes, ángulos de entrada, anchos de carril, longitudes de entrecruzamiento, etc. que deben cumplir con normas estipuladas. En el caso Colombiano, el Manual de diseño Geométrico del INVIAS es la normativa que rige los diseños geométricos en el país, el cual está basado en la norma americana AASHTO.

Aquí se dictan y se sintetizan de manera coherente los criterios actuales para el diseño geométrico de carreteras, estableciendo parámetros que garantizan la consistencia y conjugación armoniosa de todos sus elementos unificando

procedimientos y documentación requeridos para la elaboración de un proyecto. Estos criterios corresponden a la sistematización de experiencias obtenidas tanto en Colombia como en otras naciones, expresadas en términos de datos puntuales o rangos admisibles.[1]Por ello, antes de realizar cualquier estudio o análisis de tráfico, se debe cumplir con los criterios establecidos en la normativa para el diseño geométrico de una intersección.

2. RESULTADOS

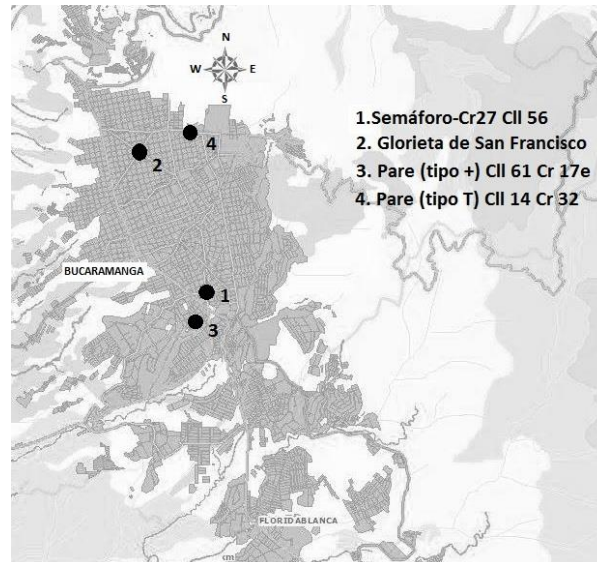
La herramienta de apoyo para intersecciones viales a nivel permite el análisis de tráfico y la verificación de diseño geométrico de cuatro tipos de intersecciones. La selección de estas en la ciudad de Bucaramanga para el análisis que se realizó, se hizo de acuerdo con intersecciones de las cuales se contara con datos de tráfico, de geometría y de señalización. El grupo de investigación Geomática de la Escuela de Ingeniería Civil brindó dicha información, así como los modelos de microsimulación en el software Transmodeler de cada una de las intersecciones para realizar la validación de la herramienta de apoyo.

Se escogieron las siguientes cuatro 4 intersecciones, una de cada tipo:

- Intersección de 4 accesos controlada por semáforos de tiempo fijo: *Kra 27 con Cll 56*
- Intersección de tres accesos (tipo T) controlada con señal de pare: *Cll 14 con Kra 32*
- Intersección de cuatro accesos (tipo +) controlada con señal de pare: *Cll 61 con Kra 17e*
- Glorieta de 8 accesos: *Glorieta San Francisco*

En la Figura 5 se muestra un mapa de la ciudad de Bucaramanga, en donde se ubican las 4 intersecciones viales a nivel seleccionadas para el análisis:

Figura 5: Intersecciones seleccionadas



Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta una descripción de los resultados obtenidos en los análisis realizados. En la referencia [11] se encuentra una descripción más detallada de los resultados con tablas y la impresión de resultados del programa.

2.1 ANÁLISIS DE TRÁFICO

La herramienta desarrollada realizó el análisis de tráfico usando las metodologías descritas anteriormente de las 4 intersecciones seleccionadas y comparando sus resultados con los obtenidos de los modelos de microsimulación de Transmodeler se obtuvo lo siguiente:

Debido a que el análisis de tráfico de la herramienta de apoyo que se desarrolló se basa en la metodología del HCM 2010 (versión más reciente) y el programa de microsimulación Transmodeler se basa en la metodología propuesta en el HCM 2000, los resultados obtenidos tienen un porcentaje de diferencia al realizar la comparación entre las dos herramientas, debido a que existen cambios y a la vez, se agregan algunos parámetros a las ecuaciones planteadas por dicha norma.

2.1.1 Intersección controlada por semáforos Hablando de porcentajes de diferencia entre los resultados obtenidos por la herramienta de apoyo desarrollada y el programa de microsimulación Transmodeler, para la intersección controlada por semáforos se obtuvo un 7.7% de diferencia promedio en el cálculo de capacidades, demoras y NDS. Esta diferencia se debe al cambio de parámetros entre versiones de la norma en las cuales se basa cada herramienta y a su vez, la adición de otros como la demora por cola inicial.

2.1.2 Intersección controlada por pare de 3 accesos (tipo T) Después de obtenidos los resultados de la intersección controlada por pare tipo T escogida, en la herramienta desarrollada, se comparó con los arrojados por el programa Transmodeler y se obtuvo un porcentaje de diferencia de 5.4%.

2.1.3 Intersección controlada por pare de 4 accesos (tipo +) El porcentaje de diferencia obtenido para este tipo de intersección comparando la herramienta desarrollada con el programa Transmodeler es de 5.9%.

2.1.4 Glorieta Los métodos usados en la herramienta desarrollada para el análisis de la glorieta de 8 accesos seleccionada, son el método de Wardrop y el de TRRL de Gran Bretaña, debido a que esta tiene más de dos carriles tanto en los accesos como en el anillo de circulación; a diferencia de Transmodeler que usa la metodología de la HCM2000. Por ello, se obtuvo un porcentaje de diferencia de 6.7%.

Observando los porcentajes de diferencia obtenidos al realizar la comparación entre la herramienta de apoyo con el programa de microsimulación Transmodeler e identificando las razones de dichas diferencias, se puede validar el funcionamiento de la herramienta desarrollada.

2.2 ANÁLISIS GEOMÉTRICO

Al realizar este análisis para las intersecciones seleccionadas, los datos geométricos como radios de giro, ángulos de entrada y distancias de visibilidad son parecidos en las intersecciones controladas con Semáforo y con Pare debido a la similar configuración geométrica que existe al pertenecer a la malla vial de Bucaramanga que es rectangular. Al obtener los resultados de la comprobación de los parámetros geométricos se observó que la mayoría de estos no cumplen con la normativa.

La malla vial en Bucaramanga en su mayor medida fue construida mucho tiempo antes a la elaboración del manual de diseño geométrico del INVIAS 2008. A causa de esto, las intersecciones no fueron diseñadas bajo requerimientos normativos y si fuese así, no con el manual actual. Si a esto le sumamos que el rápido crecimiento de la población y el desarrollo en la ciudad en cuanto a infraestructura, impide la correcta elaboración y diseño de proyectos viales, en consecuencia se obtiene que algunos elementos en el análisis no cumplan con la exigencia normativa actual.

Además, el análisis geométrico se realizó suponiendo que el vehículo de diseño para las intersecciones en estudio era el Camión C2 y no se tiene certeza de que estas fueron diseñadas en base a este tipo de vehículo, pero debido a que este también transita por las intersecciones así sea en menor proporción, se hace necesario utilizarlo. Por esta razón, parámetros como los radios de giro no cumplen.

3. CONCLUSIONES

La capacidad y el NDS de una intersección vial son indicadores de tráfico de gran relevancia que muestran el desempeño operativo de esta. Al mismo tiempo, otro factor determinante para el buen funcionamiento de esta infraestructura vial es la configuración geométrica, además de ser indispensable para el análisis de tráfico. Cuando se hace una apropiada conjugación de estos elementos, se genera una correcta funcionabilidad; es por esto que cuando una intersección vial refleja dificultades operacionales que generan trancones, largas demoras etc. es necesario realizar un análisis tanto de tráfico como geométrico para identificar los problemas que se están presentando. Este estudio es fundamental para la toma de decisiones y acciones de ingeniería de tránsito y planteamiento de transporte, tales como el cambio del control de señal o en definitiva, la construcción de una nueva infraestructura que dé solución a los problemas presentados.

Las normativas existentes más recientes como el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008, The Policy on geometric design of headway and streets-AASHTO 2011 y el HCM10, ofrecen métodos para el cálculo de estos indicadores de tráfico y parámetros geométricos. Estos procedimientos pueden resultar

extensos y complejos, por ello, se desarrolló una herramienta de apoyo para el análisis de intersecciones viales a nivel basada en dichas normativas, que combina y conjuga tanto el análisis de tráfico como el análisis geométrico. Esta se encuentra enfocada en las intersecciones a nivel más comunes en la ciudad de Bucaramanga como son las intersecciones controladas por semáforos, las intersecciones controladas por pare y las glorietas.

Al realizar el análisis para las cuatro intersecciones viales seleccionadas, y al comparar sus resultados con los obtenidos por una herramienta de microsimulación de tránsito como Transmodeler, se observó un porcentaje de diferencia muy pequeño en todas las intersecciones y este, debido a la desigualdad de las ecuaciones planteadas en las normativas en las que están basadas estas herramientas. El software desarrollado se encuentra basado en el HCM 2010 en su mayoría, mientras que el programa de Microsimulación Transmodeler se apoya en gran parte, en el HCM 2000, el cual tiene diferencias en cuanto a parámetros y demás valores planteados en las ecuaciones de sus métodos. Los porcentajes de diferencia entre los programas se encuentran entre el 5% y 8%, lo que verifica el correcto funcionamiento de la herramienta desarrollada.

Finalmente, se puede decir que dicha herramienta es muy útil debido a su fácil funcionamiento, a que se encuentra basada en las normativas más recientes que rigen al país, a que integra también un análisis de parámetros geométricos y además, es un software que no requiere de costosas licencias y que se puede ejecutar en cualquier computador.

Se recomienda ampliar el programa desarrollado para intersecciones a desnivel en un proyecto futuro para que pueda tener un mayor alcance.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Manual de diseño Geométrico INVIAS 2008

[2] Indicadores demográficos de Santander: Informe de la cámara de comercio sobre indicadores demográficos [En línea]. Colombia. [Consultado el 5 de mayo de 2013] Disponible en internet:

<http://www.sintramites.com/temas/documentos%20pdf/informes%20de%20actualidad/2010/demograficos2010.pdf>

[3] Estadísticas de Santander: Informes de Portafolio sobre estadísticas [En línea]. Colombia. [Consultado el 3 de mayo de 2013] Disponible en internet: www.portafolio.co/ Diciembre 2012

[4] Highway Capacity Manual 2010, TRB (Transportation research board).

[5] ARBOLEDA VÉLEZ, Germán. Cálculo y diseño de Glorietas. AC editores. Santiago de Cali, 2000.

ANEXOS

Anexo A: Guía para el usuario de la herramienta de apoyo para el análisis y diseño geométrico de intersecciones viales a nivel

GUÍA DEL USUARIO

HERRAMIENTA DE APOYO PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIONES VIALES A NIVEL

➤ **ALCANCE**

Esta herramienta pretende facilitar el análisis de tráfico y de diseño geométrico de 4 tipos de intersecciones viales.

ANÁLISIS DE TRÁFICO

El análisis de tráfico hace referencia a la capacidad y el nivel de servicio ofrecido por la intersección sujeta a condiciones geométricas, de tránsito y de señalización.

➤ ***⁴Capacidad***

Es la razón de flujo máxima sostenible por hora en el que se puede esperar razonablemente que los vehículos atraviesen un punto o una sección uniforme de un carril o carretera durante un periodo de tiempo dado, bajo condiciones ambientales, de tráfico y de control de la vía existente.

➤ ***Niveles de servicio***

Es una estratificación cuantitativa de una medida de desempeño o medidas que representan la calidad del servicio, medido en una escala A-F, con NDS A que representa las mejores condiciones de operación desde la perspectiva del viajero y NDS F como el peor.

• ⁴The Highway Capacity Manual 2010

- *Nivel de Servicio A*

Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito.

El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al motorista, o pasajero, es excelente.

- *Nivel de Servicio B*

Está dentro del rango del flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas, sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra en relación con la del nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.

- *Nivel de Servicio C*

Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.

- *Nivel de Servicio D*

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.

- *Nivel de Servicio E*

El funcionamiento está en él, o cerca del, límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo a “ceder el paso”. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

- *Nivel de Servicio F*

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto o calzada, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables.

Normalmente se acepta que el volumen de tránsito al que se puede dar servicio en las condiciones de parada y arranque del NS F es inferior que el posible al NS E; en consecuencia el flujo de servicio E es el valor que corresponde a la capacidad de la infraestructura. Por tanto, para cada intersección se tienen 5 flujos de servicio, uno para cada nivel deservicio, desde el A hasta el E.

Es posible tener demoras en el rango del nivel de servicio F (inaceptable) cuando la relación v/c es mayor de 1.00, quizá con valores tan bajos como 0.75 - 0.85, es por esto que si la relación v/c es mayor que 1,00 el acceso o la intersección tendría nivel de servicio F. En estas relaciones pueden ocurrir grandes demoras cuando existan algunas de las siguientes condiciones:

- La duración del ciclo es grande.
- El grupo de carriles o acceso en cuestión se ve en desventaja (teniendo un tiempo de rojo largo) por los tiempos del semáforo.
- La sincronía de semáforos para los movimientos estudiados es deficiente.
- Puede suceder la situación opuesta. Un acceso o grupo de carriles con una relación $v/c = 1,00$ puede tener demoras si:
 - La duración del ciclo es corta.
 - La sincronía de semáforos no es favorable para el movimiento en estudio.

El nivel de servicio F no implica que la intersección, el acceso o el grupo de carriles estén sobrecargados, ni que el nivel de servicio entre A y E indique que existe una capacidad disponible no utilizada.

Los métodos y los procedimientos de este capítulo requieren los análisis de la capacidad y el nivel de servicio para evaluar completamente la operación de la intersección controlada por semáforo.

⁵ANÁLISIS GEOMÉTRICO

El análisis geométrico pretende sintetizar y verificar de manera coherente los criterios modernos para el diseño geométrico de las intersecciones seleccionadas para este proyecto, estableciendo parámetros para garantizar la consistencia y el cumplimiento de las normas existentes de todos sus elementos expresadas en términos de datos puntuales o rangos admisibles unificando los procedimientos y documentación requeridos para la elaboración de un nuevo proyecto o la comprobación de uno ya existente según sea su tipo y grado de detalle.

Hay que tener muy claro algunos términos que se van a utilizar en este análisis. A continuación de hablará de estos.

➤ ***Clasificación de las carreteras***

Para los efectos del presente Manual las carreteras se clasifican según su funcionalidad y el tipo de terreno.

Según su funcionalidad

Determinada según la necesidad operacional de la carretera o de los intereses de la nación en sus diferentes niveles:

- **Primarias**

Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países.

Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto. Las carreteras consideradas como Primarias deben funcionar pavimentadas.

- **Secundarias**

⁵Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria. Las carreteras consideradas como Secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.

- **Terciarias**

Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.

Las carreteras consideradas como Terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías Secundarias.

Según el tipo de terreno

Determinada por la topografía predominante en el tramo en estudio, es decir que a lo largo del proyecto pueden presentarse tramos homogéneos en diferentes tipos de terreno.

- **Terreno plano**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía menores de cinco grados (5°). Exige el mínimo movimiento de tierras durante la construcción por lo que no presenta dificultad ni en su trazado ni en su explanación. Sus pendientes longitudinales son normalmente menores de tres por ciento (3%).

Permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos.

- **Terreno ondulado**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre seis y trece grados ($6^\circ - 13^\circ$). Requiere moderado movimiento de tierras durante la construcción, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales se encuentran entre tres y seis por ciento (3% - 6%).

Obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de las de los vehículos livianos, sin que esto los lleve a operar a velocidades sostenidas en rampa por tiempo prolongado.

- **Terreno montañoso**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre trece y cuarenta grados ($13^\circ - 40^\circ$). Generalmente requiere grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por

la cual presenta dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre seis y ocho por ciento (6% - 8%). Obliga a los vehículos pesados a operar a velocidades sostenidas en rampa durante distancias considerables y en oportunidades frecuentes.

➤ **Vehículo de diseño**

La selección del vehículo de diseño debe ser tal que corresponda con la composición del tránsito definida en el estudio de ingeniería de tránsito para el proyecto en estudio. Es necesario tener en cuenta que esta selección incide directamente en la definición de las dimensiones de los anchos de carril, calzada, bermas y sobre anchos de la sección transversal, el radio mínimo de giro en el diseño de las intersecciones y el gálibo bajo las estructuras (pasos elevados).

Tabla 1. Nomenclatura empleada para la descripción de los vehículos de diseño.

Categoría	Descripción
Vehículo Liviano	-
Bus Mediano	-
Bus Grande	-
2	Camión de dos (2) ejes- Camión sencillo
3	Camión de tres (3) ejes- Dobletroque
3S2	Tractocamión de tres (e) ejes con semirremolque de dos (2) ejes

Fuente. Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

➤ **Intersecciones canalizadas y sin canalizar**

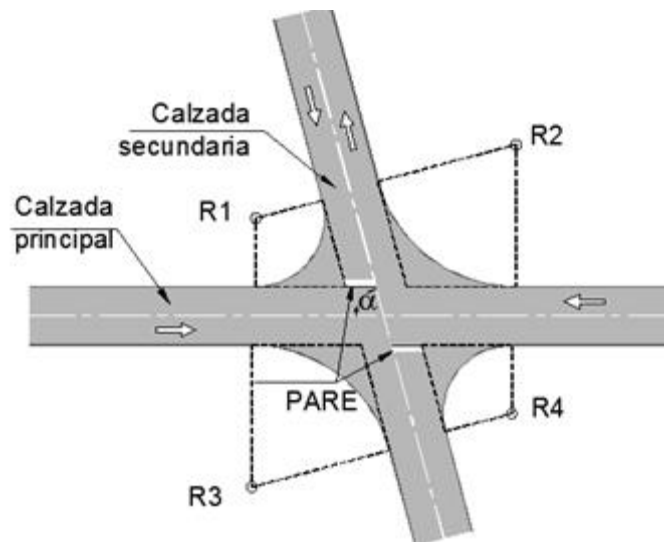
En función de la intensidad de tráfico y por tanto, de la capacidad que se pretenda conseguir, se distinguen dos tipos de intersecciones: canalizadas y sin canalizar. Las primeras, debido a la delimitación de las trayectorias conseguida mediante ciertos elementos. Una intersección es canalizada si tiene por lo menos alguno de los siguientes elementos:

- Isletas direccionales

- Isletas separadoras
- Carril de aceleración
- Carril de desaceleración
- Ramal de entrada o salida
- Carril de giro a la izquierda
- Abertura del separador central

Intersección sin canalizar

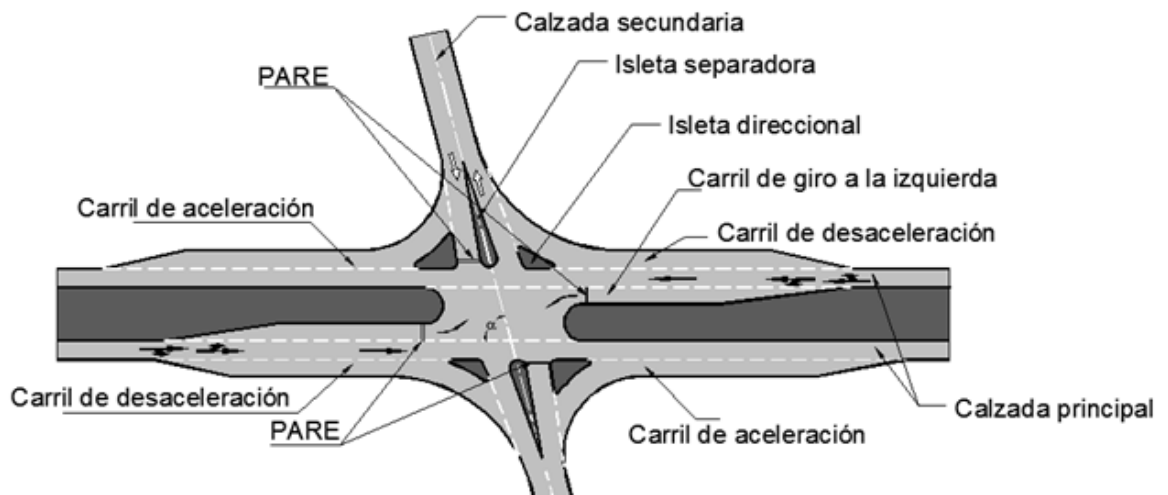
Figura 1. Esquema base intersección en cruz “+” o en equis “X”



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Intersección canalizada

Figura 2. Esquema base intersección en cruz “+” o en equis “X” con separador y carril de giro a la izquierda



Fuente, Elaboración Propia

➤ **LIMITACIONES**

La selección de los tipos de intersecciones se realizó con base en información detallada sobre el estudio realizado por el grupo de investigación Geomática la cual muestra que son las más comunes y las que más se utilizan en el área metropolitana de Bucaramanga, llamado “Inventario de intersecciones viales en la ciudad de Bucaramanga” y estas son:

- Controladas por semáforos
- Controladas por pare (tipo T)
- Controladas por pare (tipo +)
- Glorietas

Así mismo estas intersecciones tienen limitaciones en el análisis de tránsito y geométrico propias de cada una que serán especificadas en detalle más adelante.

1. GUÍA DEL USUARIO: INTERSECCIONES CONTROLADAS CON SEMÁFOROS

➤ **LIMITACIONES**

Solo es posible el análisis para intersecciones controladas por semáforo con cuatro accesos y con controlador de tiempo fijo. En este programa no se tiene en cuenta los

giros izquierdos permitidos, solo los protegidos debido a que los giros permitidos tienen el problema de altas las tasas de accidentes.

El número máximo de carriles que tiene cada acceso es de 4. Es muy importante tener en cuenta que si existen carriles de giros a la izquierda exclusivos o carriles de giros a la derecha exclusivos o individuales se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el número de carriles.

➤ **ALCANCE**

Capacidad:

Este programa no considera la capacidad de toda la intersección; por lo tanto, la capacidad solo se determina para cada uno de los accesos.

Nivel de servicio NDS- Demoras:

El NDS está directamente relacionado con las demoras, estos si se expresan tanto para los accesos como para la intersección como un todo.

➤ **NOMENCLATURA DE ACCESOS Y DE MOVIMIENTOS**

Es muy necesario tener en cuenta la nomenclatura a la hora de trabajar este programa, pues todo el análisis está basado en ella. Esta se encuentra definida así:

Accesos

A: Izquierdo

B: Derecho

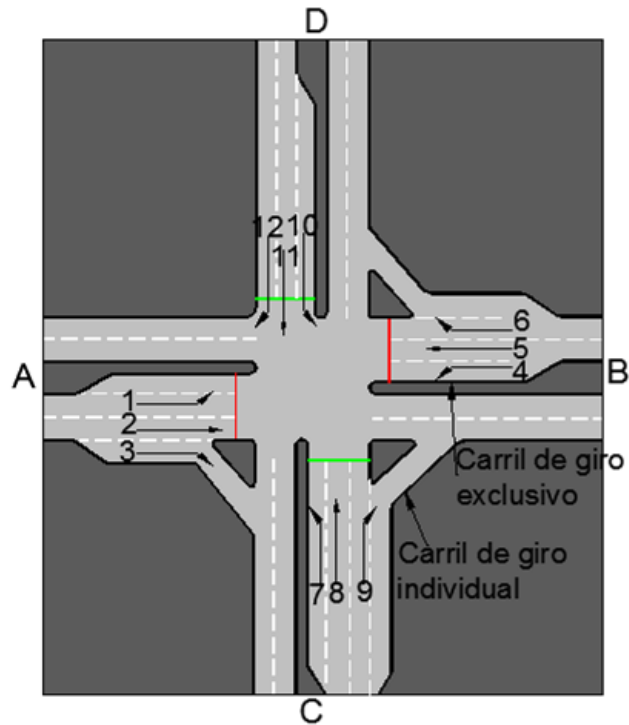
C: Inferior

D: Superior

Movimientos

1-	Izquierdo	} Acceso A	7-	Izquierdo	} Acceso C
2-	Directo		8-	Directo	
3-	Derecho		9-	Derecho	
4-	Izquierdo	} Acceso B	10-	Izquierdo	} Acceso D
5-	Directo		11-	Directo	
6-	Derecho		12-	Derecho	

Figura 3. Nomenclatura de movimientos intersecciones controladas con semáforos



Fuente, elaboración propia.

INTERSECCIONES CONTROLADAS CON SEMÁFOROS:

Figura 4. Interfaz intersecciones controladas con semáforos



Fuente, elaboración propia.

1.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO

En esta sección se trabajará el análisis de capacidad y nivel de servicio de este tipo de intersecciones.

Al seleccionar en análisis de tráfico aparecerá una interfaz donde el usuario debe ingresar algunos datos de entrada que son comunes en toda la intersección, estos se describen a continuación.

1.2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO

En esta selección se trabajará todo lo relacionado con la verificación de parámetros geométricos.

1.3. SALIR

Este botón retrocede a la *interfaz Herramienta de apoyo para el análisis y diseño geométrico de intersecciones viales*.

1.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO - INTERSECCIONES CONTROLADAS CON SEMÁFOROS

Figura 5. *Interfaz análisis de tráfico intersecciones controladas con semáforos*



Fuente, elaboración propia.

a. Factor de hora pico, FHP

El factor de hora pico o FHP, es una medida de la variabilidad de la demanda durante la hora pico. Se expresa como la relación, entre la cuarta parte del volumen de tránsito durante la hora pico y el volumen mayor durante el lapso de quince minutos dentro de dicha hora pico. Un valor de FHP por defecto se tiene previsto que depende de la suma de los flujos vehiculares en todos los accesos (\sum volúmenes).

Si \sum volúmenes ≥ 1000 , FHP = 0,90

Si \sum volúmenes < 1000 , FHP = 0,92

b. Tipo de área

Este factor explica la ineficacia de las intersecciones en CBDs (Central Business District) Centro de Negocios, en relación con los de otros lugares.

Los tipos de actividades en el área, en el cual se localiza la intersección tiene un efecto muy significativo sobre la velocidad, y por lo tanto el volumen de saturación en un acceso. Por ejemplo, debido a la complejidad de las intersecciones ubicadas en áreas comerciales, tales como andenes estrechos, maniobras frecuentes de estacionamiento, bloqueos con vehículos, calles estrechas y actividad peatonal alta, estas intersecciones operan con menor eficiencia que en otras áreas.

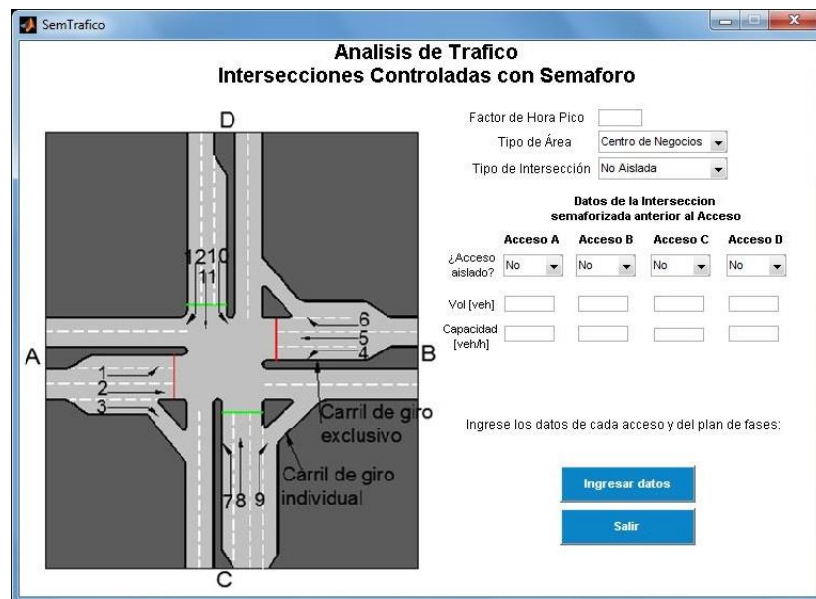
c. Tipo de intersección (aislada o no):

Una intersección **no** es aislada si por lo menos una fase de uno de sus cuatro accesos, tiene sincronización con la fase de la intersección anterior a este acceso. Si la intersección es no aislada aparece un desplegable donde se pregunta si cada uno de sus accesos es aislado o no.

Un acceso **no** es aislado si la intersección anterior a este es controlada por semáforos y además está sincronizada con la fase perteneciente a dicho acceso.

Sea este el ultimo el caso, el usuario debe ingresar el volumen y la capacidad de la intersección anterior a este acceso.

Figura 6. Interfaz análisis de tráfico intersecciones controladas con semáforos, mostrando menú de aislado



Fuente, elaboración propia.

d. Ingresar datos:

Este botón es para empezar a ingresar los datos de entrada en cada acceso y del plan de fases.

e. Salir:

Este botón retrocede a la *interfaz intersecciones controladas con semáforos*.

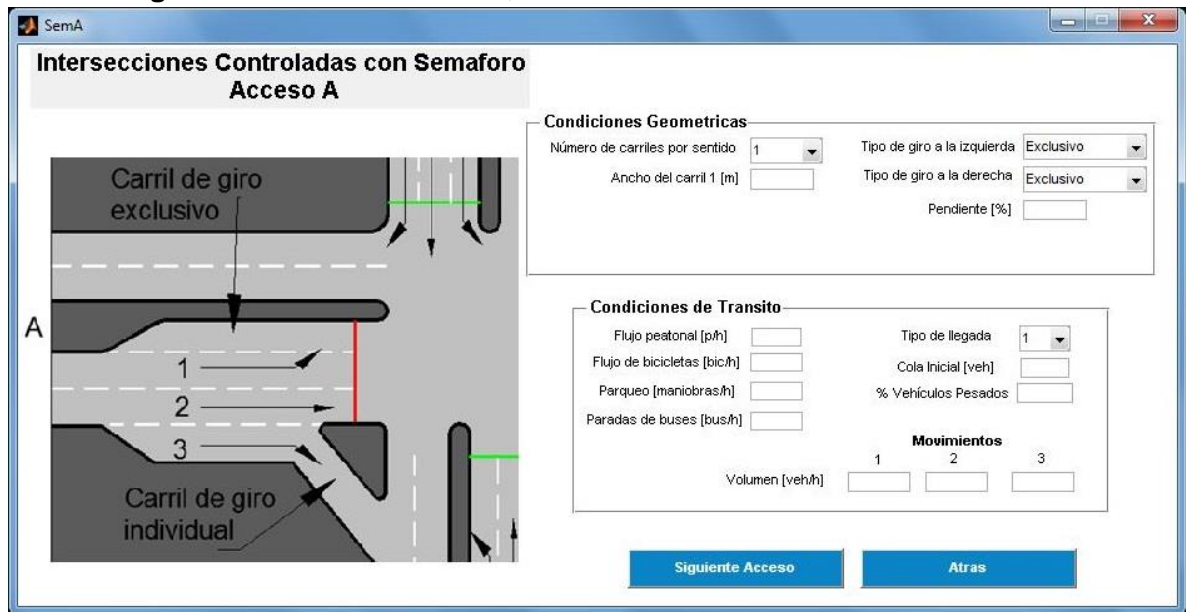
Errores:

Si el usuario deja un espacio sin llenar o si ingresa datos inconsistentes con el análisis, aparece una ventana de error y se debe corregir para continuar.

Seguidamente aparecerán cinco interfaces, cuatro de ellas para el ingreso de datos de entrada en cada acceso A, B, C, D y la de para el plan de fases.

1.1.1. ACCESOS- INTERSECCIONES CONTROLADAS CON SEMÁFOROS

Figura 7. *Interfaz de accesos, intersecciones controladas con semáforos*



Fuente, elaboración propia.

CONDICIONES GEOMÉTRICAS

a. Número de carriles por sentido

El usuario debe ingresar el número de carriles que tiene el acceso en dirección hacia el centro de la intersección. El número máximo de carriles es de 4. Es muy importante tener en cuenta que si existen carriles de giros a la izquierda exclusivos o carriles de giros a la derecha exclusivos o individuales si se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el número de carriles.

b. Ancho de carril 1,2,3, 4 [m]

Dependiendo el número de carriles que seleccione, aparecerá el mismo número de casillas para ingresar los anchos de carril. Es de vital importancia tener en cuenta, el orden de enumeración de estos, y este orden es de izquierda a derecha. El carril 1 es el que está más a la izquierda, en dirección hacia el centro de la intersección, el carril 2 el que le sigue hacia la derecha y así sucesivamente.

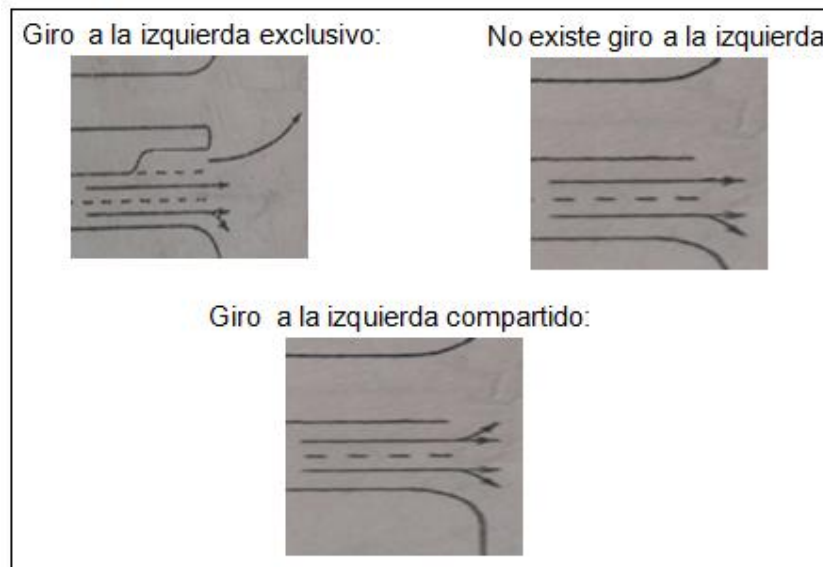
El ancho de cada carril debe estar entre 2,5 y 4,9 m.

Un valor de 3,5m de Ancho de carril por defecto se tiene previsto.

c. Tipo de giro a la izquierda

El usuario debe seleccionar el tipo de giro a la izquierda que hay en el acceso, puede ser en carril exclusivo, en carril compartido o puede que no exista giro a la izquierda.

Figura 8. Ejemplos de carril de giro a la izquierda

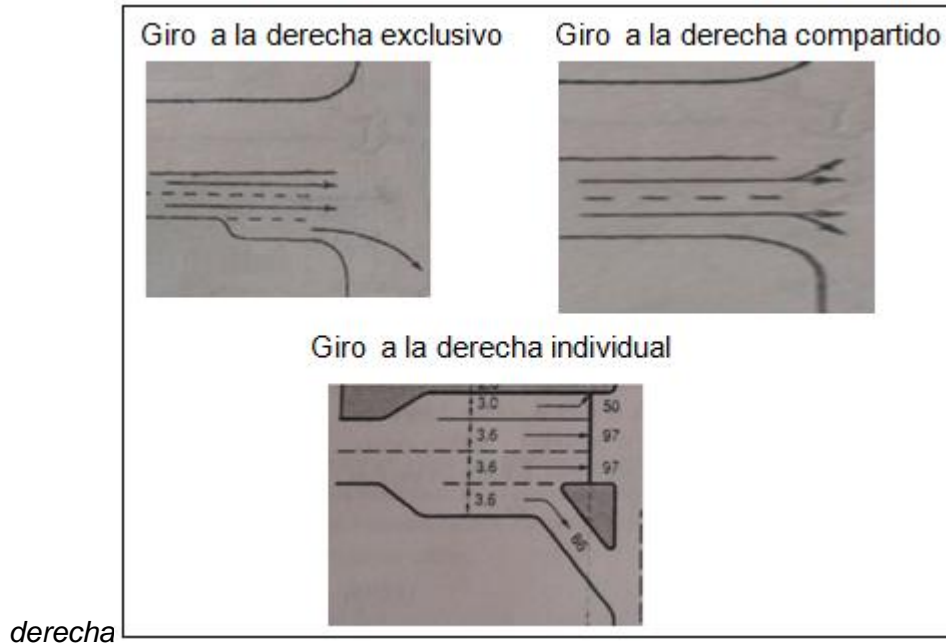


Fuente, elaboración propia.

d. Tipo de giro a la derecha

En un acceso siempre existirá el giro a la derecha. El usuario debe seleccionar el tipo de giro a la derecha que hay en el acceso, puede ser en carril exclusivo, en carril compartido o en carril individual.

Figura 9. Ejemplos de carril de giro a la



Fuente, elaboración propia.

Errores en distribución de carriles.

- 1 carril: No son posibles los carriles exclusivos ni individuales para giros a la izquierda o la derecha, en accesos por un solo carril por sentido.
- 2 Carriles: Solo es posible que exista un carril giro a la izquierda exclusivo o un carril de giro a la derecha ya sea exclusivo o individual cuando son dos carriles.

e. Pendiente (%)

Este factor representa los efectos de pendiente en el rendimiento del vehículo. Este factor aplica para pendientes entre $-6,0\%$ y $+10,0\%$.

Un valor de pendiente por defecto se tiene previsto que depende de una simple vista del aforador.

Para pendientes pronunciadas $P_g = \pm 6,0\%$

Para pendientes moderadas $P_g = \pm 3,0\%$

CONDICIONES DE TRÁNSITO

f. Flujo peatonal (p/h)

Considera la reducción en el flujo de saturación que resulta de los conflictos entre los automóviles y los peatones. El usuario debe ingresar el número de peatones que cruzan el acceso.

g. Flujo de bicicletas (bic/h)

El usuario debe ingresar el número de bicicletas que interactúa con los automóviles que cruzan a la derecha después de la línea de parada en cada acceso. Si no existe esta interacción, el usuario debe ingresar 0 (cero).

h. Parqueo (maniobras/h)

Este Factor de ajuste explica los efectos en el flujo por la existencia de un carril de estacionamiento adyacente al acceso. Si no hay parqueo, entonces el usuario debe ingresar el valor de cero (0). El número máximo de maniobras de parqueo es de 180.

i. Parada de buses (bus/h)

El usuario debe ingresar el número de buses que paran para descargar o recoger pasajeros en cada acceso.

El número de parada de buses/hora, es un dato de entrada que se pide por accesos, pero solo se pueden hacer estas paradas en el carril derecho de cada acceso. Un límite superior de 250 buses / h debe mantenerse.

Un valor por defecto de Paradas de buses se tiene previsto que depende del tipo de área.

- 12(bus/h) para tipo de área centro de negocios

- 2(bus/h) para tipo de área otras

j. Tipo de Llegada

El usuario debe seleccionar el tipo de llegada. Este valor va desde tipo de llegada 1, hasta tipo de llegada 6. A continuación se describe cada uno de estos:

- **Tipo de llegada 1:**

Representa la condición de llegada más adversa. Pelotones densos que llegan al inicio de la fase de luz roja. Calidad de progresión muy deficiente y contiene más del 80% del volumen del grupo de carriles.

- **Tipo de llegada 2:**

Se considera todavía desfavorable, pero aún mejor que TDL1. Progresión desfavorable en calles de dos sentidos. Consiste en un pelotón denso que llega a la mitad de la fase de luz roja o en un pelotón disperso que llega durante la fase de luz roja y contiene del 40 al 80 % del volumen del grupo de carriles.

- **Tipo de llegada 3:**

Generalmente se presenta en intersecciones aisladas y que no están interconectadas, se caracteriza por pelotones muy dispersos, lo que implica la llegada aleatoria de vehículos, en el cual el grupo principal contiene menos del 40% del volumen del grupo de carriles. Las llegadas en las intersecciones coordinadas con beneficios mínimos de avance o de progresión, también pueden describirse en este tipo de llegada.

- **Tipo de llegada 4:**

Se considera una condición favorable. Progresión favorable en calles de dos sentidos. Puede ser un pelotón moderadamente denso que llega a la mitad de la fase de luz verde, o un grupo disperso que contiene del 40 al 80 % del volumen del grupo de carriles que llega durante la totalidad de la fase de luz verde.

- **Tipo de llegada 5:**

Representa la mejor condición de llegada que frecuentemente se presenta, es un pelotón denso que contiene más del 80% del volumen del grupo de carriles que llegan en el inicio de luz verde.

- **Tipo de llegada 6:**

Representa una calidad excepcional de avance, es un pelotón muy denso que avanza a través de varias intersecciones cercanas con muy poco tránsito proveniente de las calles laterales.

k. Cola inicial [veh]

El usuario debe ingresar el valor promedio de los cuatros periodos dentro de la hora pico de vehículos que se enfilan en cada acceso en luz roja.

l. Porcentaje de vehículos pesados

El usuario debe ingresar el porcentaje de vehículos pesados en cada acceso. Este factor explica el espacio adicional ocupado por vehículos pesados y para la diferencia en sus capacidades de funcionamiento, en comparación con los automóviles.

m. Movimientos- Volumen (veh/h)

El usuario debe ingresar el volumen de vehículos por hora en cada movimiento de acuerdo a la nomenclatura designada al principio.

n. Atrás

Este botón retrocede a la interfaz anterior, en el caso de la interfaz del acceso A, retrocede a la interfaz 2, de toda la intersección; en el caso de la interfaz del acceso B, C y D, retrocede a la interfaz del acceso anterior.

o. Siguiete Acceso

Este botón solo está en las interfaces de los accesos A, B y C. Abre la interfaz del siguiete acceso.

p. Siguiete: Plan de fases

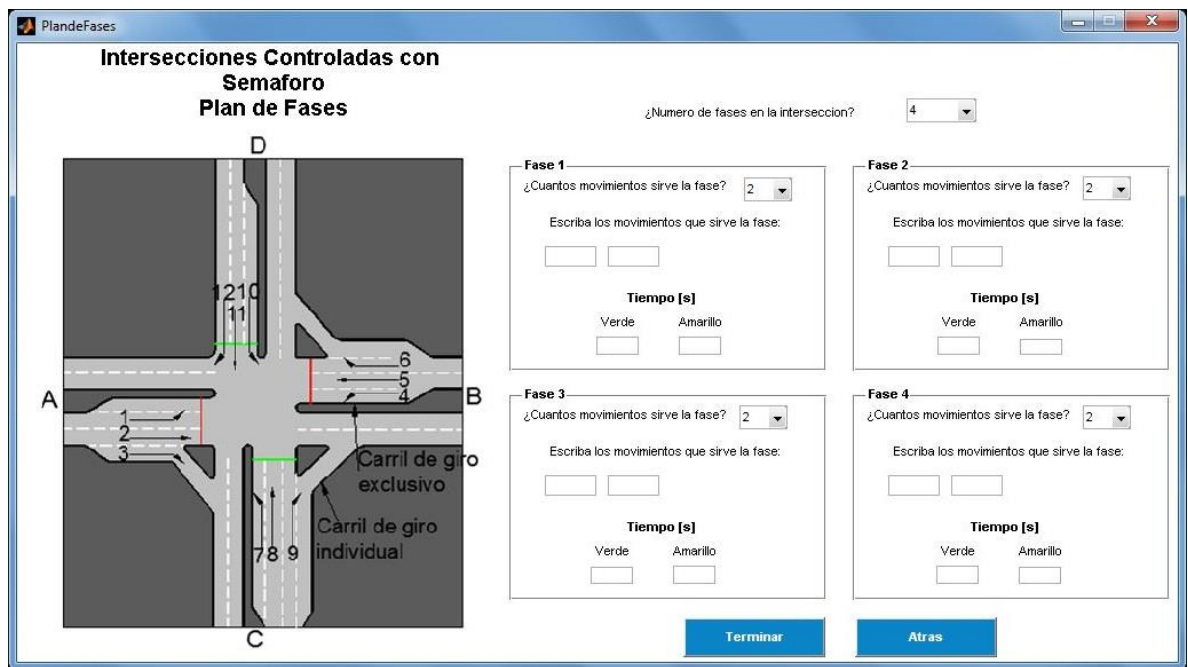
Este botón solo está en la interfaz del acceso D. Este botón abre la última interfaz, esta es la de plan de fases.

Errores:

Si el usuario deja un espacio sin llenar o si ingresa datos inconsistentes con el análisis como la asignación de los tipos de giros en relación con el número de carriles, aparece una ventana de error y se debe corregir para continuar.

1.1.2. PLAN DE FASES -INTERSECCIONES CONTROLADAS CON SEMÁFOROS

Figura 10. Interfaz plan de fases-intersecciones controladas con semáforos



Fuente, elaboración propia.

Si no existe ningún giro a la izquierda en ningún acceso de la intersección el programa solo le permite trabajar con 2 fases.

Si existe solo un giro a la izquierda en la intersección, el programa solo le permite trabajar con 3 fases.

Si existe dos giros a la izquierda le permite trabajar con 3 o 4 fases y si existen tres o cuatro giros a la izquierda, se le permite trabajar con 4 fases y el usuario debe seleccionar de acuerdo a la distribución de fases que exista.

Posteriormente el usuario ingresa para cada fase el número de movimientos que esta está sirviendo, cuáles está sirviendo y los tiempos de verde y amarillo de cada fase teniendo en cuenta que se hará en orden ascendente, por ejemplo si una fase sirve e movimientos (5,4, 3) estos se deben escribir en ese orden ascendente (3, 4,5). El mínimo de movimientos servidos es 2 y el máximos es 4.

a. Terminar

Este botón es para terminar el ingreso de todos los datos y lleva al usuario a *la interfaz de análisis de tráfico* para realizar el cálculo.

b. Atrás

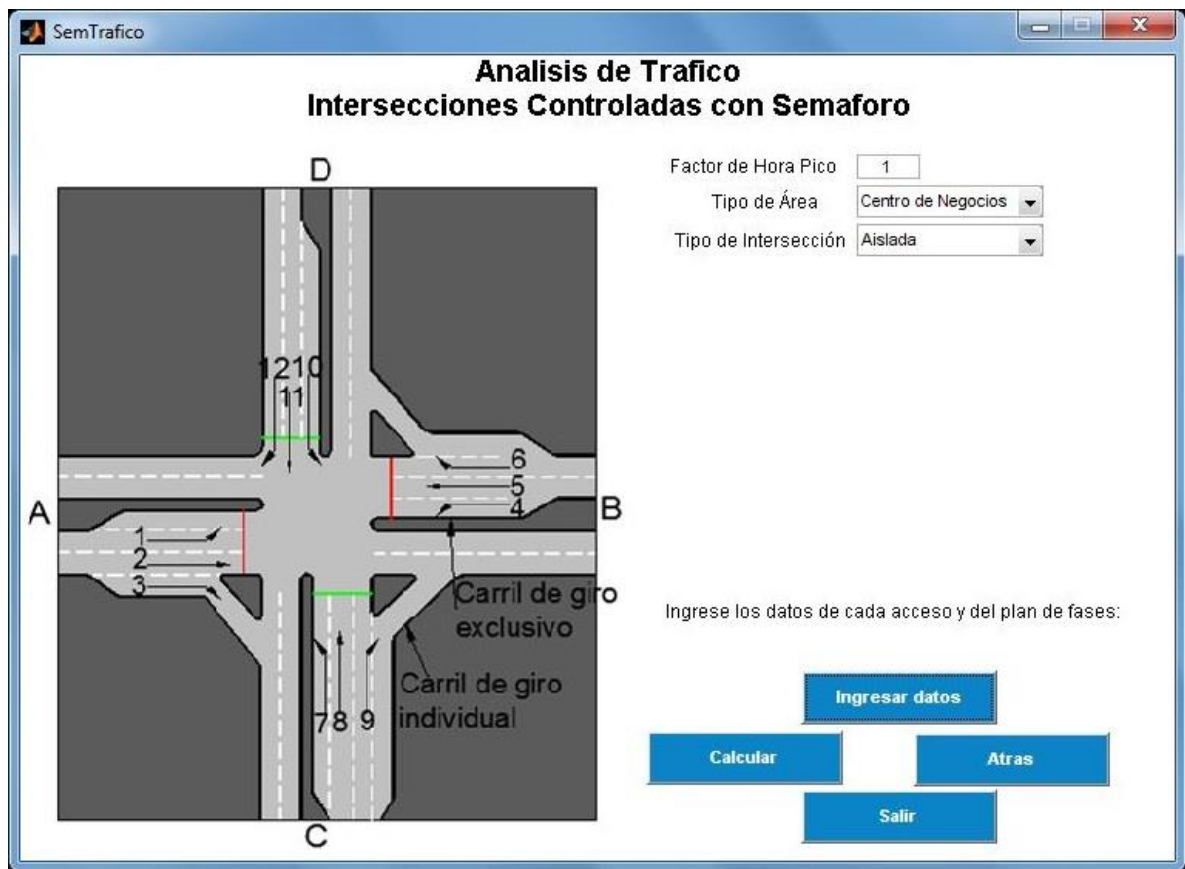
Este botón retrocede a la interfaz anterior, que la interfaz del acceso D.

Errores:

Si el usuario deja un espacio sin llenar o si la distribución de fases es inconsistentes con el análisis, aparece una ventana de error y se debe corregir para continuar.

1.1.3. ANÁLISIS DE TRÁFICO CON CALCULAR

Figura 11. *Interfaz análisis de tráfico con calcular, intersecciones controladas con semáforos*



Fuente, elaboración propia.

En esta interfaz el usuario debe oprimir el botón calcular para terminar el análisis y obtener los resultados.

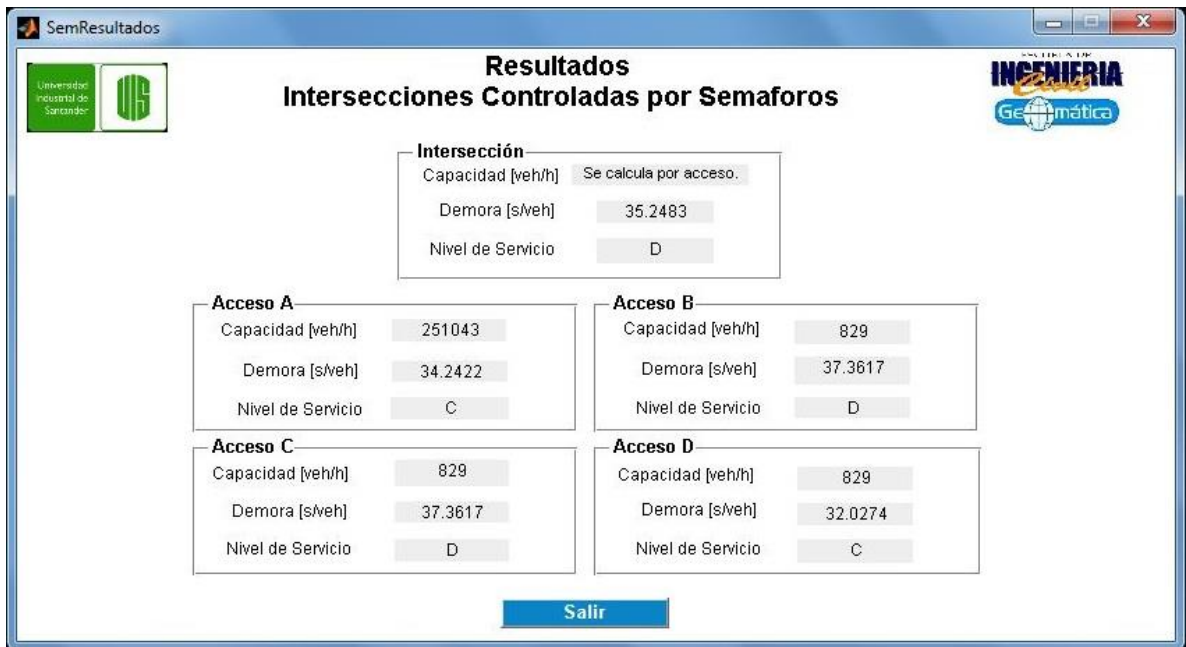
También se tiene la posibilidad de realizar un nuevo análisis, para esto debe ingresar de nuevo los espacios de *factor de hora pico*, *tipo de área*, etc. y oprimir el botón *ingresar datos* que ya se explicó anteriormente.

Además el usuario puede oprimir el botón salir, que le devuelve a la *interfaz intersecciones controladas con semáforos*.

Si el usuario ha terminado el análisis y oprime calcular, aparecerá la interfaz de resultados

1.1.4. RESULTADOS INTERSECCIONES CONTROLADAS CON SEMÁFOROS:

Figura 12. *Interfaz resultados intersecciones controladas con semáforos*



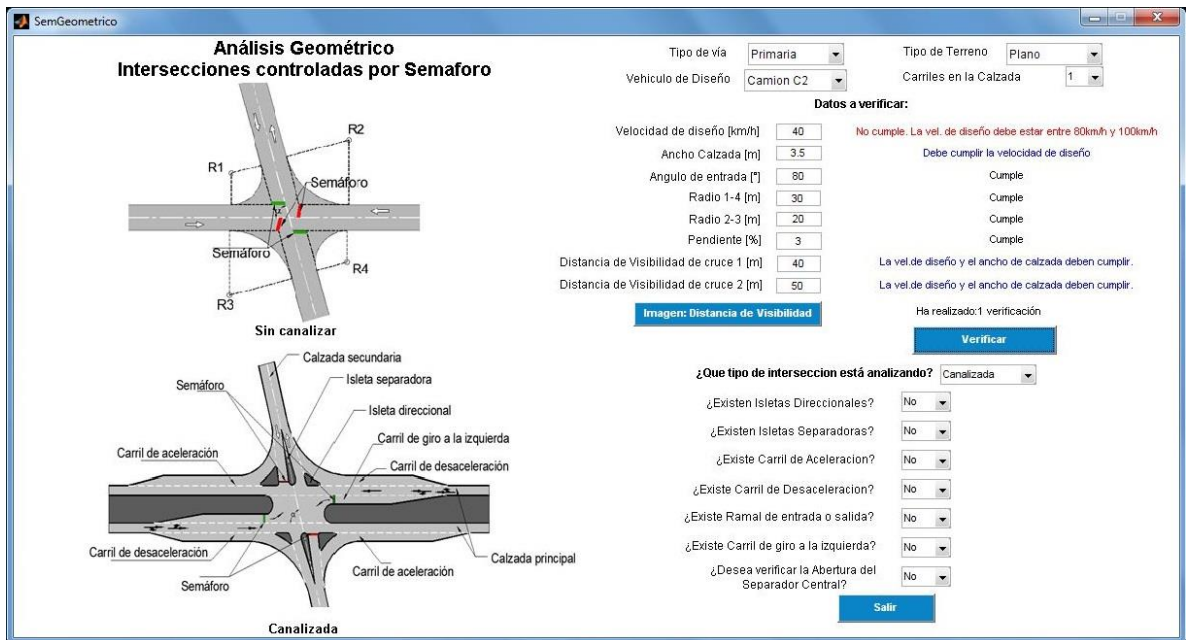
Fuente, elaboración propia.

No se considera la capacidad de toda la intersección; por lo tanto, la capacidad solo se aplica a los accesos.

El nivel de servicio está directamente relacionado con las demoras, estos si se expresan tanto para los accesos como para la intersección como un todo.

1.2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO -INTERSECCIONES CONTROLADAS CON SEMÁFOROS

Figura 13. Interfaz análisis geométrico intersecciones controladas con semáforos



Fuente, elaboración propia.

El análisis geométrico pretende hacer una verificación de los elementos que pueda tener la intersección controlada con semáforo para garantizar la consistencia y el cumplimiento de las normas existentes en base a cuatro parámetros principales como son el tipo de vía, el tipo de terreno, vehículo de diseño y el número de carriles. Estos parámetros ya se definieron anteriormente y pertenecen a la calle que se irá a analizar, puede ser la principal o la menor.

El análisis diferencia dos tipos de intersecciones controladas con semáforos. El primero es las intersecciones sin canalizar y las intersecciones canalizadas.

Si la intersección es sin canalizar, el usuario solo deberá ingresar los 8 primeros espacios:

- Velocidad de diseño[km/h]
- Ancho de calzada
- Angulo de entrada
- Radio 1-4[m]
- Radio 2-3[m]
- Pendiente [%]
- Distancia de visibilidad de cruce 1[m]
- Distancia de visibilidad de cruce 2[m]

Todos estos parámetros se muestran en las figuras adjuntas, a acepción de la Distancia de visibilidad de cruce. Para ver que implica este parámetro, el usuario puede oprimir el botón **imagen: Distancia de Visibilidad** y aparecerá una interfaz en donde se le mostrará a que refiere dicho parámetro.

Una vez se han ingresado los parámetros anteriores, el usuario deberá oprimir el botón **Verificar**.

Los resultados de la verificación se muestran en frente de cada variable. Este resultado puede ser:

- **No cumple (color rojo):** Se refiere a que la variable que ingresó no cumplió las condiciones normativas. Por ello, se le sugiere valores que debe tomar para cumplirlas.
- **Cumple (color negro):** Aparece cuando la variable que ingresó cumplió las condiciones normativas.
- **Debe cumplir un parámetro anterior (color azul):** Se muestra cuando es necesario que cumpla un parámetro anterior que ya se verificó y no cumplió, para poder verificar el parámetro actual.

Sobre el botón **verificarse** indica el número de verificaciones que el usuario ha realizado. Si el usuario, luego de la primera verificación, ha cambiado valores que no cumplieron y no ha oprimido el botón **verificar**, no se hará la respectiva verificación.

Si la intersección es canalizada, se pueden verificar los parámetros nombrados anteriormente y después de ello, aparece un menú en donde se pregunta el tipo de intersección que se está analizando en donde se puede escoger: Sin canalizar o Canalizada. Si la intersección es canalizada, aparecerán varios elementos para analizar:

- Isletas direccionales
- Isletas separadoras
- Carril de aceleración
- Carril de desaceleración
- Ramal de entrada o salida
- Carril de giro a la izquierda
- Abertura del separador central

El usuario puede escoger en un menú que aparecerá frente a cada uno de estos si la intersección cuenta con dicho elemento. Si se escoge **no**, no se realiza ninguna verificación. Si se escoge **sí**, frente al elemento aparecerá un botón llamado **analizar** que le permite al usuario irse a otra interfaz para poder verificar los parámetros de cada uno de estos elementos.

2. GUÍA DEL USUARIO: INTERSECCIONES CONTROLADAS CON PARE (TIPO T)

➤ LIMITACIONES

Las limitaciones de este programa se definen en el número de carriles de los accesos. Este número está limitado de 1 hasta 3 carriles por sentido, tanto en la calle principal como en la secundaria, es decir si el usuario selecciona 3 carriles en la calle principal, esta calle tendrá 6 carriles, 3 en cada sentido.

Es muy importante tener en cuenta que si existen carriles de giros a la izquierda exclusivos o carriles de giros a la derecha individuales, estos son independientes y no se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el número de carriles.

➤ ALCANCE

Capacidad:

La metodología no brinda la posibilidad de calcular capacidad para la intersección como un todo ni para cada acceso. Esta se determina por movimientos así:

Para la calle principal, no se calcula capacidad ya que se supone que estos tienen total libertad, por lo tanto, solo se calcula capacidad para los movimientos de giro a la izquierda de la calle principal y para todos los movimientos de la calle menor.

Demora:

La demora se calcula para la intersección como un todo, y para el acceso de la calle menor. En la calle principal se determina solo para los movimientos de giro a la izquierda ya que se supone que la demora para los otros movimientos (movimientos del rango 1) es cero.

Nivel de servicio NDS:

El nivel de servicio (NDS) para una intersección de doble sentido controlada con pare se determina por el control de la demora calculada o medida solo en la calle menor, así como para el giro a la izquierda de la calle principal.

El NDS no está definido por la intersección en su conjunto o por el acceso de la calle principal por tres razones principales:

- a-** Los vehículos de la calle principal se supone que experimentan retraso cero.
- b-** El número desproporcionado de los vehículos de la calle principal en una intersección de doble sentido controlada por pare típica, distorsiona el promedio ponderado de todos los movimientos, lo que resulta en una demora media muy baja en general para todos los vehículos.

- c- La demora resultante baja puede enmascarar importantes deficiencias de los NDS para movimientos menores.

➤ **NOMENCLATURA DE ACCESOS Y MOVIMIENTOS**

Cada movimiento tiene una clasificación diferente en una jerarquía de prioridad. Por lo general, los procesos de brechas aceptables suponen que los conductores en la calle principal no se ven afectados por los movimientos de la calle menor.

Algunos movimientos tienen prioridad absoluta, mientras que otros tienen que ceder o rendirse a los movimientos de orden superior.

Los movimientos pueden ser clasificados por derecho de prioridad de paso de la siguiente manera:

- **Movimientos de rango 1:**
Incluye el tráfico directo en la calle principal y el giro a la derecha de la calle principal.
- **Movimientos de rango 2:**
Incluye los giros a la izquierda de la calle principal y los giros a la derecha de la calle menor.
- **Movimientos de rango 3:**
Se refiere solo al giro a la izquierda de la calle menor.

Es muy necesario tener en cuenta la nomenclatura a la hora de trabajar este programa, pues todo el análisis está basado en ella. Esta se encuentra definida así:

Accesos

- A:** Izquierdo (Calle principal)
- B:** Derecho (Calle principal)
- C:** Inferior (Calle menor)

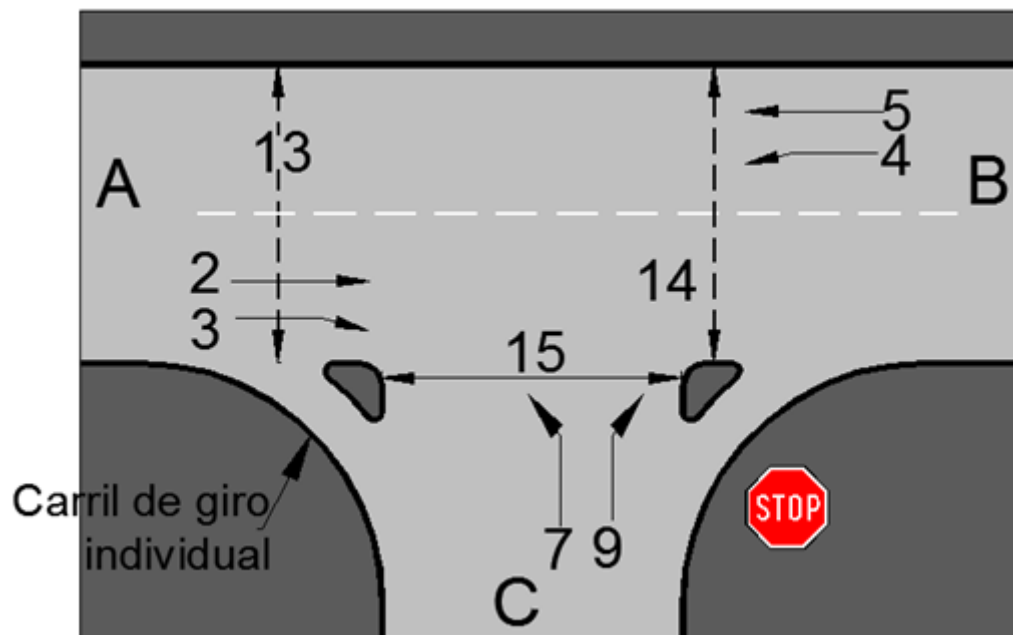
Movimientos

2-Directo } Acceso A
3-Derecho }

4-Izquierdo } Acceso B
5-Directo }

7-Izquierdo } Acceso C
9-Derecho }

Figura 14. Nomenclatura de movimientos intersecciones controladas con pare (tipo T)



Fuente, elaboración propia.

INTERSECCIONES CONTROLADAS CON PARE (TIPO T)

Figura 15. Interfaz intersecciones controladas con pare (tipo T)



Fuente, elaboración propia.

2.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO

En esta sección se trabajará el análisis de capacidad y nivel de servicio de este tipo de intersecciones.

2.2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO

En esta selección se trabajará todo lo relacionado con la verificación de parámetros geométricos.

2.3. SALIR

Este botón retrocede a la *interfaz Herramienta de apoyo para el análisis y diseño geométrico de intersecciones viales a nivel.*

2.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO - INTERSECCIONES CONTROLADAS CON PARE TIPO T

Figura 16. Interfaz análisis de tráfico intersecciones controladas con pare (tipo T)

The screenshot shows the 'TTráfico' software window titled 'Análisis de Tráfico Intersección Controlada con Pare (Tipo T)'. The interface is divided into several sections:

- General Settings:** 'Tipo de Intersección' is set to 'Aislada'. Questions about pedestrian volume, lane counts, and individual turning movements are answered with 'No'.
- Acceso A:** Input fields for 'Volumen 2 [veh/h]', 'Volumen 3 [veh/h]', 'Factor de hora pico', 'Veh. Pesados [%]', and 'Pendiente [%]'.
- Acceso B:** Input fields for 'Volumen 4 [veh/h]', 'Volumen 5 [veh/h]', 'Factor de hora pico', 'Veh. Pesados [%]', and 'Pendiente [%]'.
- Acceso C:** Input fields for 'Volumen 7 [veh/h]', 'Volumen 9 [veh/h]', 'Factor de hora pico', 'Veh. Pesados [%]', and 'Pendiente [%]'. A question '¿Existe un área de almacenamiento de vehículos?' is answered with 'No'.
- Diagram:** A schematic of the intersection showing lanes 2, 3, 4, 5, 7, 9, 13, 14, and 15. A 'Carril de giro individual' is highlighted, and a stop sign is shown on the right side.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons are located at the bottom right.

Fuente, elaboración propia.

a. Tipo de intersección (aislada o no):

La intersección es NO aislada si tiene una intersección controlada por semáforo a menos de 400 metros en dirección a la calle principal.

b. ¿Existe información sobre volumen peatonal?

La metodología ofrece un análisis con o sin información sobre flujo peatonal, ya que este flujo no afecta significativamente la capacidad. Si el usuario posee esta información debe

seleccionar **si** en el menú e inmediatamente se le pedirá en cada acceso información sobre flujo peatonal y ancho promedio de carril.

c. Número de carriles por sentido en la calle principal

Este número está limitado de 1 hasta 3 carriles por sentido, es decir si el usuario selecciona 3 carriles, la calle principal tendrá 6 carriles, 3 en cada sentido.

Es muy importante tener en cuenta que si existen carriles de giros a la izquierda exclusivos o carriles de giros a la derecha individuales, estos son independientes y no se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el número de carriles.

d. Número de carriles por sentido en la calle menor

Es exactamente igual que en la calle principal.

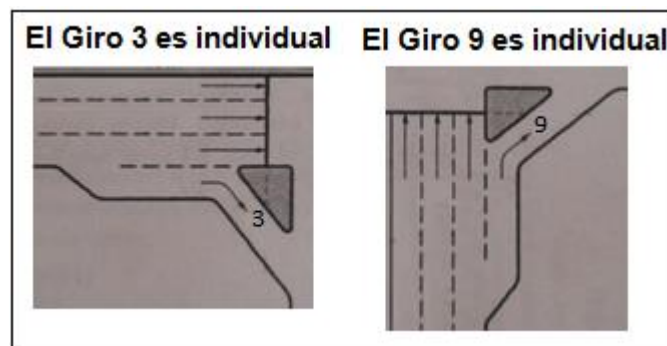
e. ¿El giro 3 es individual?

El giro 3 es individual si posee una delimitación especial de la trayectoria de giro a la derecha con isleta como se muestra en la figura 17.

f. ¿El giro 9 es individual?

El giro 9 es individual si posee una delimitación especial de la trayectoria de giro a la derecha con isleta como se muestra en la siguiente.

Figura 17. *Giros individuales intersecciones controladas con pare (tipo T)*



Fuente, elaboración propia.

Datos en cada acceso

g. Volumen X [veh/h]

El usuario deberá ingresar el volumen vehicular del movimiento X en unidades de vehículos por hora. En el acceso A son los volúmenes 2 y 3, en el acceso B son los volúmenes 4 y 5 y en el acceso C son los volúmenes 7 y 9.

h. Factor de hora pico

El factor de hora pico o FHP, es una medida de la variabilidad de la demanda durante la hora pico. Se expresa como la relación, entre la cuarta parte del volumen de tránsito durante la hora pico y el volumen mayor durante el lapso de quince minutos dentro de dicha hora pico. Un valor de 0,92 por defecto para FHP se tiene previsto.

i. Veh. pesados [%]

El usuario debe ingresar el porcentaje de vehículos pesados en cada acceso. Este factor explica el espacio adicional ocupado por vehículos pesados y para la diferencia en sus capacidades de funcionamiento, en comparación con los automóviles. Un valor de 3% por defecto para veh pesados [%] se tiene previsto.

j. Pendiente [%]

Este factor representa los efectos de pendiente en el rendimiento del vehículo. El usuario debe ingresarla en cada acceso.

k. Volumen XX [veh/h]

Esta casilla solo aparece si el usuario anteriormente seleccionó que sí tenía información sobre volumen peatonal, por lo tanto, se debe ingresar dicho volumen. En el acceso A es el volumen 13, en el acceso B es el volumen 14 y en el acceso C es el volumen 15.

l. Ancho de carril[m]

Esta casilla solo aparece si el usuario anteriormente seleccionó que sí tenía volumen peatonal y por ello, el usuario deberá ingresar información sobre el promedio de los anchos de los carriles del acceso.

m. ¿Existe un área de almacenamiento de vehículos?

Este menú solo aparece en el acceso C. El usuario debe seleccionar en el desplegable la opción *si* o la opción *no* si existe un área de almacenamiento de vehículos como se explica a continuación:

Los movimientos de giro a la izquierda de la calle menor pueden completar su maniobra en una o dos etapas.

Una etapa de brechas aceptables **no asume que está disponible un área de refugio mediana** para los conductores de la calle menor donde puedan guardar y evaluar las brechas, por lo tanto, deben evaluarlas en las dos direcciones de la calle principal al mismo tiempo.

Por el contrario, las brechas aceptables de **dos etapas suponen que un área de refugio mediana si está disponible** para los conductores de la calle menor. Durante la etapa 1, los conductores de la calle menor evalúan las brechas de la calle principal en flujo de tráfico del lado cercano (tránsito en conflicto desde la izquierda). Durante la etapa 2, los conductores de la calle menor evalúan las brechas de la calle principal en el flujo de tráfico del lado lejano (tráfico en conflicto desde la derecha).

Entonces, si existe dicha área de almacenamiento de vehículos en donde los conductores de la calle menor puedan evaluar las brechas de la calle principal en dos etapas, en este menú desplegable el usuario debe poner **SI** y se abrirá otro menú donde se pregunta: “cuántos vehículos se pueden guardar a la vez en dicha área de refugio”; si por el contrario esta área no existe, el usuario debe poner **No**.

n. ¿Cuántos vehículos puede almacenar?

Este menú solo aparece en el acceso C y si en la pregunta anterior el usuario seleccionó la opción **SI**. Aquí se debe seleccionar en el desplegable la opción 1 para un vehículo u opción 2 para dos vehículos.

o. Calcular- Salir

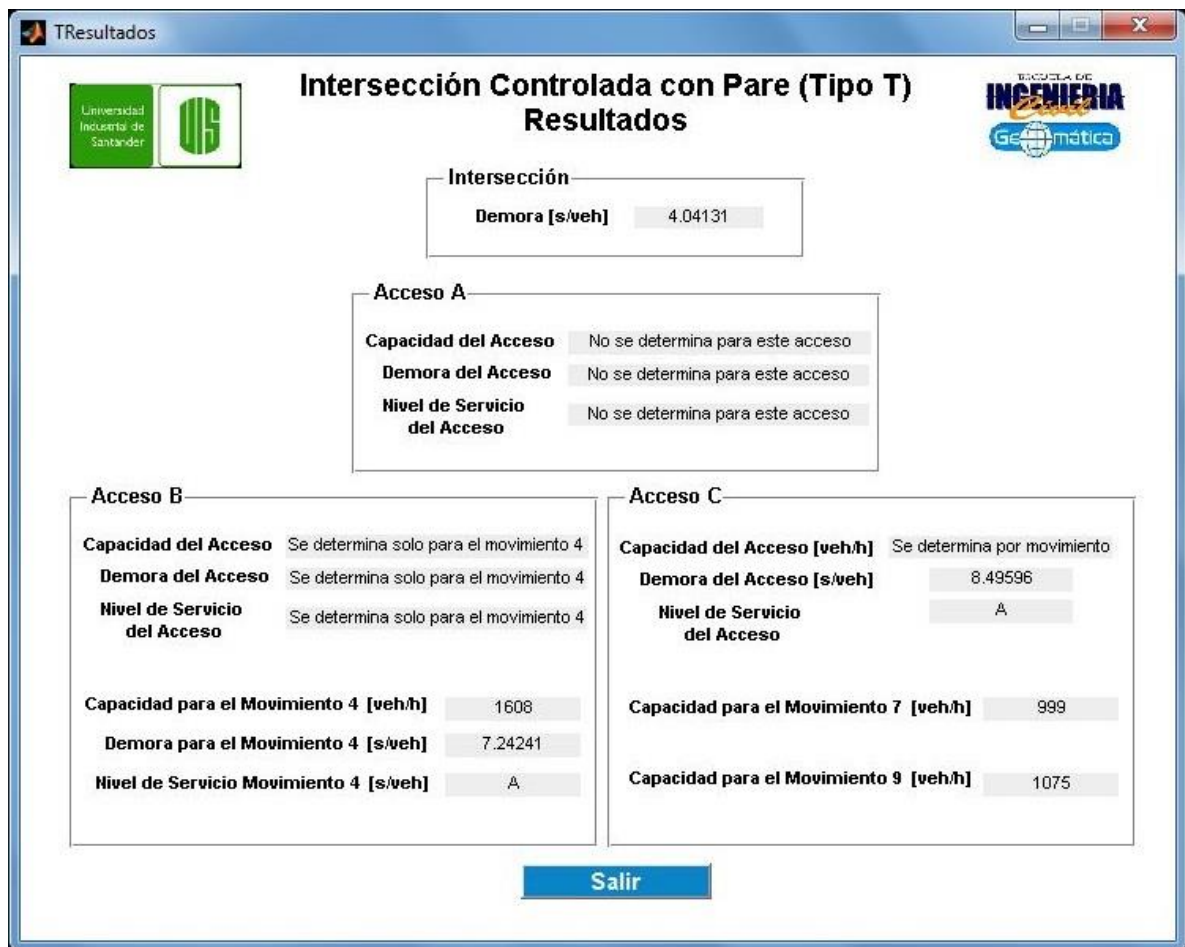
En esta interfaz el usuario debe oprimir el botón **calcular** para terminar el análisis y obtener los resultados.

Además, puede oprimir el botón **salir**, que lo devuelve a la *interfaz intersecciones controladas con pare (tipo T)*.

Si el usuario ha terminado el análisis y oprime **calcular**, aparecerá la interfaz de resultados.

2.1.1. RESULTADOS - INTERSECCIONES CONTROLADAS CON PARE (TIPO T)

Figura 18. Interfaz resultados *intersecciones controladas con pare (tipo T)*



Fuente, elaboración propia.

De acuerdo con alcance del programa anteriormente explicado en intersecciones controladas con pare (tipo +), esta interfaz muestra los siguientes resultados:

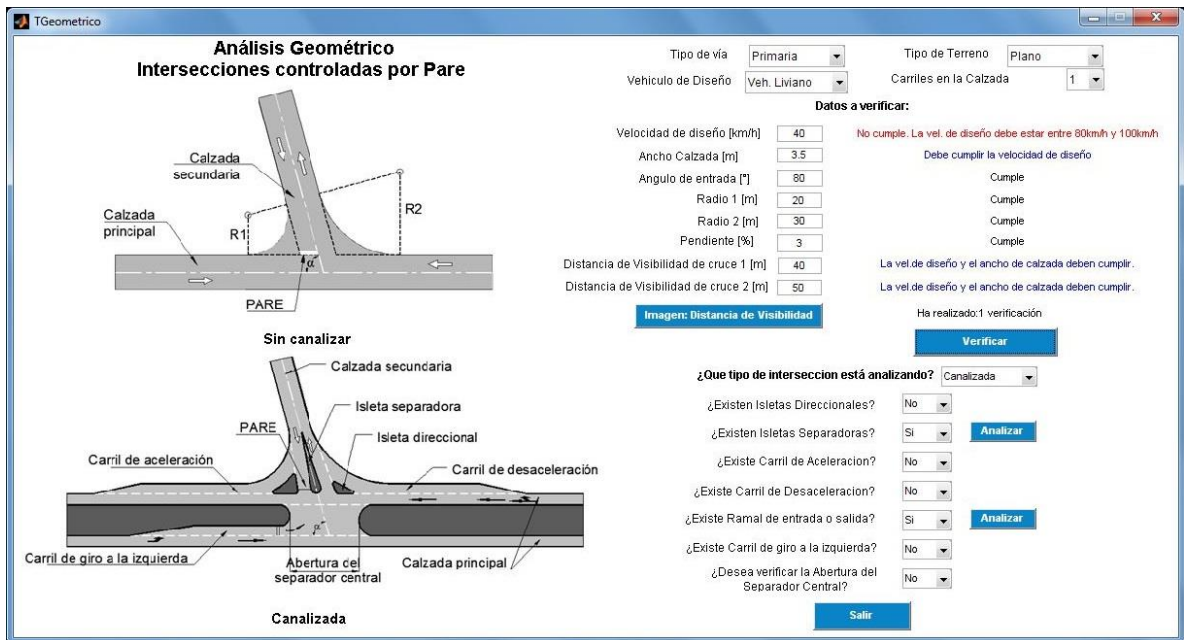
- **En la intersección:**
 - No se calcula capacidad.
 - Si se calcula demora.
 - No se determina un nivel de servicio.
- **Acceso A**
 - No se calcula capacidad para este acceso ya que solo tiene movimientos de rango 1.
 - No se calcula demora debido a que los movimientos de rango 1 se consideran con demora cero.
 - No se determina un nivel de servicio ya que este acceso no tiene demora calculada.

- **Acceso B**
 - Solo se calcula capacidad para el movimiento 4 (giro izquierdo de la calle principal).
 - Solo se calcula demora solo para el movimiento 4 (giro a la izquierda de la calle principal).
 - Solo se determina un nivel de servicio para el movimiento 4 ya que este es el único que cuenta con una demora calculada.

- **Acceso C**
 - No se calcula capacidad para el acceso porque se hace por movimientos. Por lo tanto, se determina capacidad para todos los movimientos de la calle menor.
 - Se calcula demora para el acceso C (calle menor).
 - Se determina un nivel de servicio para el acceso C (calle menor).

2.2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO- INTERSECCIONES CONTROLADAS CON PARE TIPO T

Figura 19. *Interfaz análisis geométrico intersecciones controladas con pare (tipo T)*



Fuente, elaboración propia.

El análisis geométrico pretende hacer una verificación de los elementos que pueda tener la intersección controlada con pare (tipo T) para garantizar la consistencia y el cumplimiento de las normas existentes en base a cuatro parámetros principales como son el tipo de vía, el tipo de terreno, vehículo de diseño y el número de carriles. Estos parámetros ya se definieron anteriormente y pertenecen a la calle que se irá a analizar, puede ser la principal o la menor.

El análisis diferencia dos tipos de intersecciones controladas con pare (tipo T): Intersecciones sin canalizar e intersecciones canalizadas.

Si la intersección es sin canalizar, el usuario solo deberá ingresar los 8 primeros espacios para que sean verificados:

- Velocidad de diseño [km/h]
- Ancho de calzada
- Angulo de entrada
- Radio 1[m]
- Radio 2[m]
- Pendiente [%]
- Distancia de visibilidad de cruce 1[m]
- Distancia de visibilidad de cruce 2[m]

Todos estos parámetros se muestran en las figuras adjuntas, a excepción de la Distancia de visibilidad de cruce. Para ver que implica este parámetro, el usuario puede oprimir el

botón **imagen: Distancia de Visibilidad** y aparecerá una interfaz en donde se le mostrará a que refiere dicho parámetro.

Una vez se han ingresado los parámetros anteriores, el usuario deberá oprimir el botón **Verificar**.

Los resultados de la verificación se muestran en frente de cada variable. Este resultado puede ser:

- **No cumple (color rojo):** Se refiere a que la variable que ingresó no cumplió las condiciones normativas. Por ello, se le sugiere valores que debe tomar para cumplirlas.
- **Cumple (color negro):** Aparece cuando la variable que ingresó cumplió las condiciones normativas.
- **Debe cumplir un parámetro anterior (color azul):** Se muestra cuando es necesario que cumpla un parámetro anterior que ya se verificó y no cumplió, para poder verificar el parámetro actual.

Sobre el botón **verificarse** indica el número de verificaciones que el usuario ha realizado. Si el usuario, luego de la primera verificación, ha cambiado valores que no cumplieron y no ha oprimido el botón **verificar**, no se hará la respectiva verificación.

Si la intersección es canalizada, se pueden verificar los parámetros nombrados anteriormente y después de ello, aparece un menú en donde se pregunta el tipo de intersección que se está analizando en donde se puede escoger: Sin canalizar o Canalizada. Si la intersección es canalizada, aparecerán varios elementos para analizar:

- Isletas direccionales
- Isletas separadoras
- Carril de aceleración
- Carril de desaceleración
- Ramal de entrada o salida
- Carril de giro a la izquierda
- Abertura del separador central

El usuario puede escoger en un menú que aparecerá frente a cada uno de estos si la intersección cuenta con dicho elemento. Si se escoge **no**, no se realiza ninguna verificación. Si se escoge **sí**, frente al elemento aparecerá un botón llamado **analizar** que le permite al usuario irse a otra interfaz para poder verificar los parámetros de cada uno de estos elementos.

3. GUÍA DEL USUARIO: INTERSECCIONES CONTROLADAS CON PARE (TIPO +)

➤ LIMITACIONES

Las limitaciones de este programa se definen en el número carriles de los accesos. Este número está limitado de 1 hasta 3 carriles por sentido, tanto en la calle principal como en la secundaria, es decir si el usuario selecciona 3 carriles en la calle principal, esta calle tendrá 6 carriles, 3 en cada sentido.

Es muy importante tener en cuenta que si existen carriles de giros a la izquierda exclusivos o carriles de giros a la derecha individuales, estos son independientes y no se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el número de carriles.

➤ ALCANCE

Capacidad:

La metodología no brinda la posibilidad de calcular capacidad para la intersección como un todo ni para cada acceso. Esta se determina por movimientos así:

Para la calle principal, no se calcula capacidad ya que se supone que estos tienen total libertad, por lo tanto, solo se calcula capacidad para los movimientos de giro a la izquierda de la calle principal y para todos los movimientos de la calle menor.

Demora:

La demora se calcula para la intersección como un todo, y para el acceso de la calle menor. En la calle principal se determina solo para los movimientos de giro a la izquierda ya que se supone que la demora para los otros movimientos (movimientos del rango 1) es cero.

Nivel de servicio NDS:

El nivel de servicio (NDS) para una intersección de doble sentido controlada con pare se determina por el control de la demora calculada o medida solo en la calle menor, así como para el giro a la izquierda de la calle principal.

El NDS no está definido por la intersección en su conjunto o por el acceso de la calle principal por tres razones principales:

- a- Los vehículos de la calle principal se supone que experimentan retraso cero.
- b- El número desproporcionado de los vehículos de la calle principal en una intersección de doble sentido controlada por pare típica, distorsiona el promedio ponderado de todos los movimientos, lo que resulta en una demora media muy baja en general para todos los vehículos.
- c- La demora resultante baja puede enmascarar importantes deficiencias de los NDS para movimientos menores.

➤ **NOMENCLATURA DE ACCESOS Y DE MOVIMIENTOS**

Cada movimiento tiene una clasificación diferente en una jerarquía de prioridad. Por lo general, los procesos de brechas aceptables suponen que los conductores en la calle principal no se ven afectados por los movimientos de la calle menor.

Algunos movimientos tienen prioridad absoluta, mientras que otros tienen que ceder o rendirse a los movimientos de orden superior.

Los movimientos pueden ser clasificados por derecho de prioridad de paso de la siguiente manera:

- **Movimientos de rango 1:**
Incluye el tráfico directo en la calle principal y el giro a la derecha de la calle principal.
- **Movimientos de rango 2:**
Incluye los giros a la izquierda de la calle principal y los giros a la derecha de la calle menor.
- **Movimientos de rango 3:**
Incluye solo el tráfico directo de la calle menor.
- **Movimientos de rango 4 :**
Incluye solo los giros a la izquierda de la calle menor.

Es muy necesario tener en cuenta la nomenclatura a la hora de trabajar este programa, pues todo el análisis está basado en ella. Esta se encuentra definida así:

Accesos

A: Izquierdo (Calle principal)

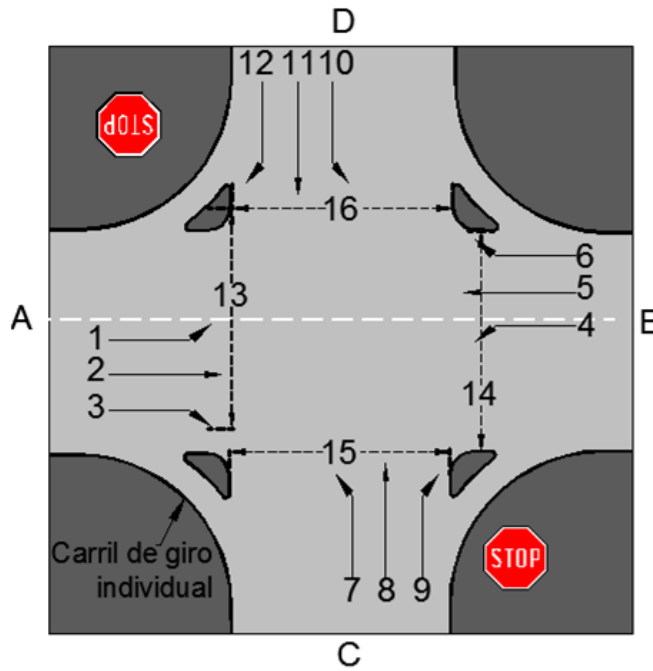
B: Derecho (Calle principal)

C: Inferior (Calle menor)
 D: Superior (Calle menor)

Movimientos

- | | | | |
|--------------|------------|---------------|------------|
| 1- Izquierdo | } Acceso A | 8- Directo | } Acceso C |
| 2- Directo | | 9- Derecho | |
| 3- Derecho | | | |
| 4- Izquierdo | } Acceso B | 10- Izquierdo | } Acceso D |
| 5- Directo | | 11- Directo | |
| 6- Derecho | | 12- Derecho | |
| 7- Izquierdo | | | |

Figura 20. Nomenclatura de movimientos intersecciones controladas con pare tipo +



Fuente, elaboración propia.

INTERSECCIONES CONTROLADAS CON PARE (TIPO +)

Figura 21. Interfaz intersecciones controladas con pare (tipo +)



Fuente, elaboración propia.

3.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO

En esta sección se trabajará el análisis de capacidad y nivel de servicio de este tipo de intersecciones.

3.2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO

En esta selección se trabajará todo lo relacionado con la verificación de parámetros geométricos.

3.3. SALIR

Este botón retrocede a la *interfaz Herramienta de apoyo para el análisis y diseño geométrico de intersecciones viales a nivel.*

3.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO- INTERSECCIONES CONTROLADAS CON PARE (TIPO +)

Figura 22. Interfaz análisis de tráfico- intersecciones controladas con pare (tipo +)

The screenshot shows the 'Analisis de Trafico' window for 'Intersección Controlada con Pare (Tipo +)'. The interface is divided into several sections:

- General Settings:**
 - Tipo de Intersección: Aislada (dropdown)
 - Número de carriles por sentido de la calle principal: 1 (dropdown)
 - Número de carriles por sentido de la calle menor: 1 (dropdown)
 - ¿Existe información sobre volumen peatonal?: No (dropdown)
 - ¿El giro 3 es individual?: No (dropdown)
 - ¿El giro 6 es individual?: No (dropdown)
 - ¿El giro 9 es individual?: No (dropdown)
 - ¿El giro 12 es individual?: No (dropdown)
- Acceso A:**
 - Volumen 1 [veh/h]: []
 - Volumen 2 [veh/h]: []
 - Volumen 3 [veh/h]: []
 - Factor de hora pico: []
 - Veh. Pesados [%]: []
 - Pendiente [%]: []
- Acceso B:**
 - Volumen 4 [veh/h]: []
 - Volumen 5 [veh/h]: []
 - Volumen 6 [veh/h]: []
 - Factor de hora pico: []
 - Veh. Pesados [%]: []
 - Pendiente [%]: []
- Acceso C:**
 - ¿Existe un área de almacenamiento de vehículos?: No (dropdown)
 - Volumen 7 [veh/h]: []
 - Volumen 8 [veh/h]: []
 - Volumen 9 [veh/h]: []
 - Factor de hora pico: []
 - Veh. Pesados [%]: []
 - Pendiente [%]: []
- Acceso D:**
 - ¿Existe un área de almacenamiento de vehículos?: No (dropdown)
 - Volumen 10 [veh/h]: []
 - Volumen 11 [veh/h]: []
 - Volumen 12 [veh/h]: []
 - Factor de hora pico: []
 - Veh. Pesados [%]: []
 - Pendiente [%]: []
- Diagram:** A schematic of the intersection with 16 numbered lanes (1-16) and stop signs at the top and bottom. A 'Carril de giro individual' is indicated on the left side.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' at the bottom right.

Fuente, elaboración propia.

a. Tipo de intersección (aislada o no)

La intersección es NO aislada si tiene una intersección controlada por semáforo a menos de 400 metros en dirección a la calle principal.

b. Número de carriles por sentido en la calle principal

Este número está limitado de 1 hasta 3 carriles por sentido, es decir si el usuario selecciona 3 carriles, la calle principal tendrá 6 carriles, 3 en cada sentido.

Es muy importante tener en cuenta que si existen carriles de giros a la izquierda exclusivos o carriles de giros a la derecha individuales, estos son independientes y no se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el número de carriles.

c. Número de carriles por sentido en la calle menor

Es exactamente igual que en la calle principal.

d. ¿Existe información sobre volumen peatonal?

La metodología ofrece un análisis con o sin información sobre flujo peatonal, ya que este flujo no afecta significativamente la capacidad. Si el usuario posee esta información debe seleccionar **si** en el menú e inmediatamente se le pedirá en cada acceso información sobre flujo peatonal y ancho promedio de carril.

e. ¿El giro 3 es individual?

El giro 3 es individual si posee una delimitación especial de la trayectoria de giro a la derecha con isleta como se muestra en la figura 23.

f. ¿El giro 6 es individual?

El giro 3 es individual si posee una delimitación especial de la trayectoria de giro a la derecha con isleta como se muestra en la figura 23.

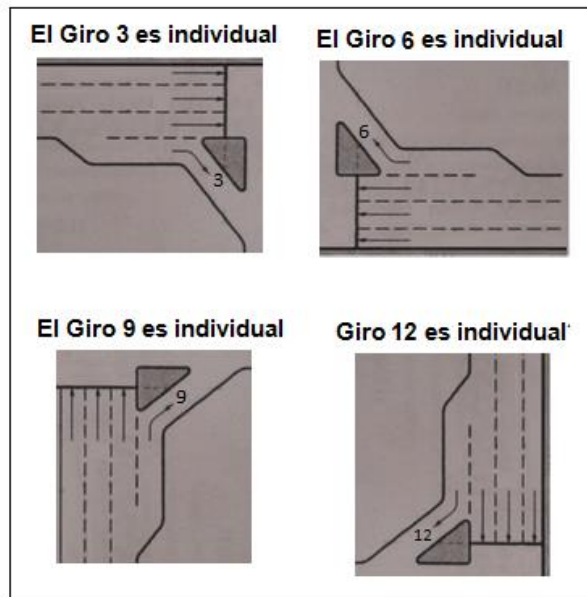
g. ¿El giro 9 es individual?

El giro 9 es individual si posee una delimitación especial de la trayectoria de giro a la derecha con isleta como se muestra en la figura 23.

h. ¿El Giro 12 es individual?

El giro 12 es individual si posee una delimitación especial de la trayectoria de giro a la derecha con isleta como se muestra en la figura 23.

Figura 23. *Giros individuales intersecciones controladas con pare (tipo +)*



Fuente, elaboración propia.

Datos en cada acceso

i. Volumen X [veh/h]

El usuario deberá ingresar el volumen vehicular del movimiento X en unidades de vehículos por hora. En el acceso A son los volúmenes 1,2 y 3, en el acceso B son los volúmenes 4, 5 y 6, en el acceso C son los volúmenes 7,8 y 9 y en el acceso D son los volúmenes 10, 11 y 12.

j. Factor de hora pico

El factor de hora pico o FHP, es una medida de la variabilidad de la demanda durante la hora pico. Se expresa como la relación, entre la cuarta parte del volumen de tránsito durante la hora pico y el volumen mayor durante el lapso de quince minutos dentro de dicha hora pico. Un valor de 0,92 por defecto para FHP se tiene previsto.

k. Veh. pesados [%]

El usuario debe ingresar el porcentaje de vehículos pesados en cada acceso. Este factor explica el espacio adicional ocupado por vehículos pesados y para la diferencia en sus capacidades de funcionamiento, en comparación con los automóviles. Un valor de 3% por defecto para veh pesados [%] se tiene previsto.

l. Pendiente [%]

Este factor representa los efectos del pendiente en el rendimiento del vehículo. El usuario debe ingresar la pendiente en cada acceso.

m. Volumen XX [veh/h]

Esta casilla solo aparece si el usuario anteriormente seleccionó que sí tenía información sobre volumen peatonal, por lo tanto, se debe ingresar dicho volumen. En el acceso A es el volumen 13, en el acceso B es el volumen 14, en el acceso C es el volumen 15 y en el acceso D es el volumen 16.

n. Ancho de carril[m]

Esta casilla solo aparece si el usuario anteriormente seleccionó que sí tenía volumen peatonal y por ello, el usuario deberá ingresar información sobre el promedio de los anchos de los carriles del acceso.

o. ¿Existe un área de almacenamiento de vehículos?

Este menú solo aparece en el acceso C y D. El usuario debe seleccionar en el desplegable la opción *si* o la opción *no* si existe un área de almacenamiento de vehículos como se explica a continuación:

Los movimientos directos o de giro a la izquierda de la calle menor pueden completar su maniobra en una o dos etapas.

Una etapa de brechas aceptables **no asume que está disponible un área de refugio mediana** para los conductores de la calle menor donde puedan guardar y evaluar las brechas, por lo tanto, deben evaluarlas en las dos direcciones de la calle principal al mismo tiempo.

Por el contrario, las brechas aceptables de **dos etapas suponen que un área de refugio mediana si está disponible** para los conductores de la calle menor. Durante la etapa 1, los conductores de la calle menor evalúan las brechas de la calle principal en flujo de tráfico del lado cercano (tránsito en conflicto desde la izquierda). Durante la etapa 2, los conductores de la calle menor evalúan las brechas de la calle principal en el flujo de tráfico del lado lejano (tráfico en conflicto desde la derecha).

Entonces, si existe dicha área de almacenamiento de vehículos en donde los conductores de la calle menor puedan evaluar las brechas de la calle principal en dos etapas, en este menú desplegable el usuario debe poner **SI** y se abrirá otro menú donde se pregunta: “cuántos vehículos se pueden guardar a la vez en dicha área de refugio”; si por el contrario esta área no existe, el usuario debe poner **No**.

p. ¿Cuántos vehículos puede almacenar?

Este menú solo aparece en el acceso C y D y si en la pregunta anterior el usuario seleccionó la opción **SI**. Aquí se debe seleccionar en el desplegable la opción 1 para un vehículo u opción 2 para dos vehículos.

q. Calcular- Salir

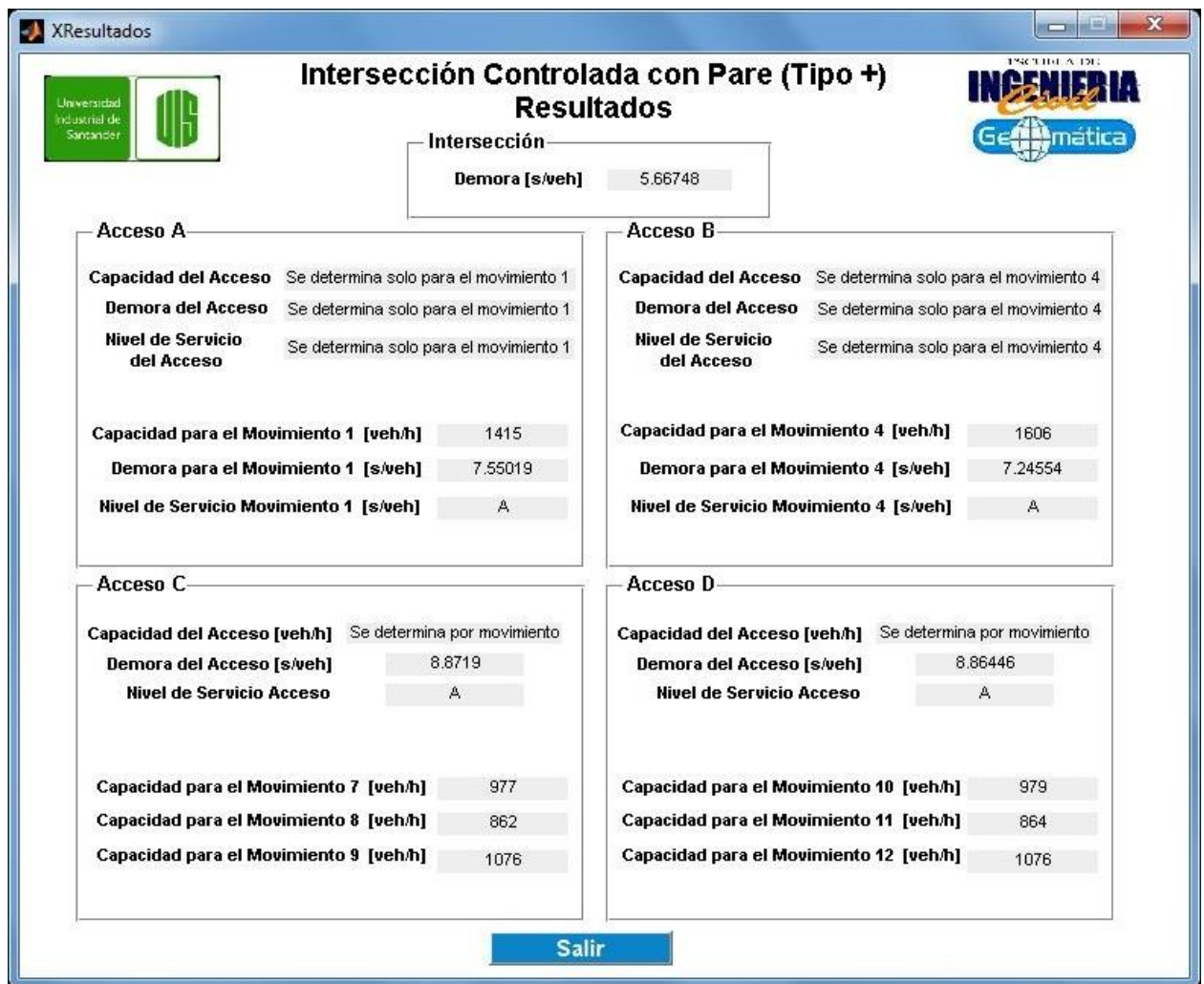
En esta interfaz el usuario debe oprimir el botón **calcular** para terminar el análisis y obtener los resultados.

Además, puede oprimir el botón **salir**, que lo devuelve a la *interfaz intersecciones controladas con pare (tipo +)*.

Si el usuario ha terminado el análisis y oprime **calcular**, aparecerá la interfaz de resultados.

RESULTADOS- INTERSECCIONES CONTROLADAS CON PARE (TIPO +)

Figura 24. *Interfaz resultados- intersecciones controladas con pare (tipo +)*



Fuente, elaboración propia.

De acuerdo con alcance del programa anteriormente explicado en intersecciones controladas con pare (tipo +), esta interfaz muestra los siguientes resultados:

- **En la intersección:**
 - No se calcula capacidad.
 - Si se calcula demora.
 - No se determina un nivel de servicio.
- **Acceso A**
 - Solo se calcula capacidad para el movimiento 1 (giro izquierdo de la calle principal).
 - Se calcula demora solo para el movimiento 1 (giro a la izquierda de la calle principal).

- Se determina un nivel de servicio para el movimiento 1 ya que este es el único que cuenta con una demora calculada.

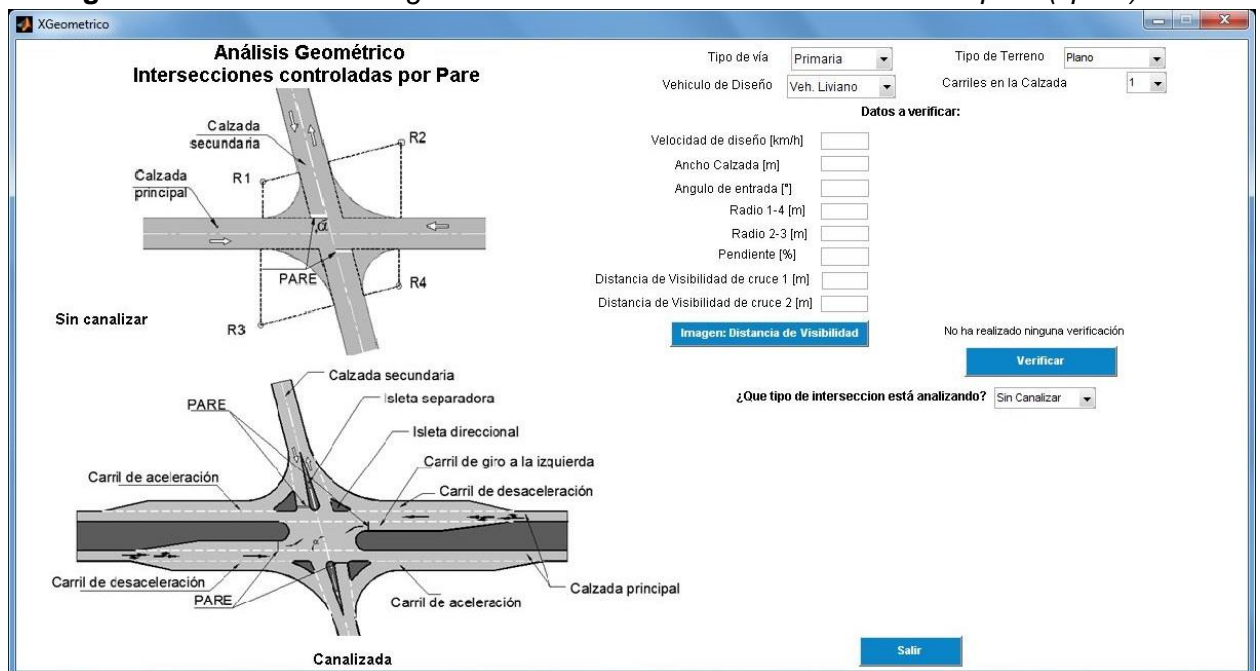
- **Acceso B**
 - Solo se calcula capacidad para el movimiento 4 (giro izquierdo de la calle principal).
 - Solo se calcula demora solo para el movimiento 4 (giro a la izquierda de la calle principal).
 - Solo se determina un nivel de servicio para el movimiento 4 ya que este es el único que cuenta con una demora calculada.

- **Acceso C**
 - No se calcula capacidad para el acceso porque se hace por movimientos. Por lo tanto, se determina capacidad para todos los movimientos de este acceso.
 - Se calcula demora para el acceso C (calle menor).
 - Se determina un nivel de servicio para el acceso C (calle menor).

- **Acceso D**
 - No se calcula capacidad para el acceso porque se hace por movimientos. Por lo tanto, se determina capacidad para todos los movimientos de este acceso.
 - Se calcula demora para el acceso D (calle menor).
 - Se determina un nivel de servicio para el acceso D (calle menor).

3.2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO-INTERSECCIONES CONTROLADAS CON PARE (TIPO +)

Figura 25. Interfaz análisis geométrico- intersecciones controladas con pare (tipo +)



Fuente, elaboración propia.

El análisis geométrico pretende hacer una verificación de los elementos que pueda tener la intersección controlada con pare (tipo +) para garantizar la consistencia y el cumplimiento de las normas existentes en base a cuatro parámetros principales como son el tipo de vía, el tipo de terreno, vehículo de diseño y el número de carriles. Estos parámetros ya se definieron anteriormente y pertenecen a la calle que se irá a analizar, puede ser la principal o la menor.

El análisis diferencia dos tipos de intersecciones controladas con pare (tipo T): Intersecciones sin canalizar e intersecciones canalizadas.

Si la intersección es sin canalizar, el usuario solo deberá ingresar los 8 primeros espacios para que sean verificados:

- Velocidad de diseño [km/h]

- Ancho de calzada
- Angulo de entrada
- Radio 1-4[m]
- Radio 2-3[m]
- Pendiente [%]
- Distancia de visibilidad de cruce 1[m]
- Distancia de visibilidad de cruce 2[m]

Todos estos parámetros se muestran en las figuras adjuntas, a acepción de la Distancia de visibilidad de cruce. Para ver que implica este parámetro, el usuario puede oprimir el botón **imagen: Distancia de Visibilidad** y aparecerá una interfaz en donde se le mostrará a que refiere dicho parámetro.

Una vez se han ingresado los parámetros anteriores, el usuario deberá oprimir el botón **Verificar**.

Los resultados de la verificación se muestran en frente de cada variable. Este resultado puede ser:

- **No cumple (color rojo):** Se refiere a que la variable que ingresó no cumplió las condiciones normativas. Por ello, se le sugiere valores que debe tomar para cumplirlas.
- **Cumple (color negro):** Aparece cuando la variable que ingresó cumplió las condiciones normativas.
- **Debe cumplir un parámetro anterior (color azul):** Se muestra cuando es necesario que cumpla un parámetro anterior que ya se verificó y no cumplió, para poder verificar el parámetro actual.

Sobre el botón **verificarse** indica el número de verificaciones que el usuario ha realizado. Si el usuario, luego de la primera verificación, ha cambiado valores que no cumplieron y no ha oprimido el botón **verificar**, no se hará la respectiva verificación.

Si la intersección es canalizada, se pueden verificar los parámetros nombrados anteriormente y después de ello, aparece un menú en donde se pregunta el tipo de intersección que se está analizando en donde se puede escoger: Sin canalizar o Canalizada. Si la intersección es canalizada, aparecerán varios elementos para analizar:

- Isletas direccionales
- Isletas separadoras
- Carril de aceleración
- Carril de desaceleración

- Ramal de entrada o salida
- Carril de giro a la izquierda
- Abertura del separador central

El usuario puede escoger en un menú que aparecerá frente a cada uno de estos si la intersección cuenta con dicho elemento. Si se escoge **no**, no se realiza ninguna verificación. Si se escoge **si**, frente al elemento aparecerá un botón llamado **analizar** que le permite al usuario irse a otra interfaz para poder verificar los parámetros de cada uno de estos elementos.

4. GLORIETAS

➤ LIMITACIONES

Las limitaciones en esta herramienta para el análisis de tráfico de glorietas se observan en el número de accesos que tengan. El programa está diseñado para analizar glorietas de 3 a 8 accesos con cualquier número de carriles tanto en dichos accesos como en el anillo de circulación de la intersección.

La metodología está basada en observaciones de glorietas existentes. Para esas glorietas observadas, las variables usadas para el cálculo de capacidad están en los siguientes rangos:

$$e = (e1 + e2) / 2$$

W: 9.1m -18 m (15 m para glorietas nuevas)

e/w: 0.63-0.75

w/l: 0.16-0.38

e1/e2: 0.34-1.14

E1:4m-12.5m

E1/raíz (r1): 0.74-3.30m

2e1-w: 2.5m-9.5m

Puede aplicarse la metodología si algunas de las variables no está muy desfasada de estos rangos.

$$e = (e1 + e2) / 2$$

➤ **ALCANCE**

Capacidad:

La metodología usada en el programa no permite el cálculo de capacidad para la intersección como un todo. La capacidad se determina de dos formas: Por accesos y por secciones de entrecruzamiento.

Demora:

La demora se calcula para toda la intersección y para los accesos. No existe una demora en las secciones de entrecruzamiento de la glorieta.

Nivel de servicio:

Debido a que este depende de la demora calculada, se determina también para la intersección como un todo y para los accesos de esta.

➤ **NOMENCLATURA DE ACCESOS Y DE MOVIMIENTOS**

Existen diferentes nomenclaturas para los accesos y los movimientos debido a que la glorieta puede tener 3, 4, 5, 6, 7 u 8 accesos.

De igual manera, toda se trabaja de la misma forma así:

Accesos:

El usuario debe acomodar la glorieta que desea analizar a la que se le muestra en la interfaz que está usando y darle una numeración a cada acceso. Dicha numeración siempre se hace en sentido anti horario (como el avance del flujo en el anillo), por ejemplo:

Figura 26. Enumeración de accesos en Glorietas



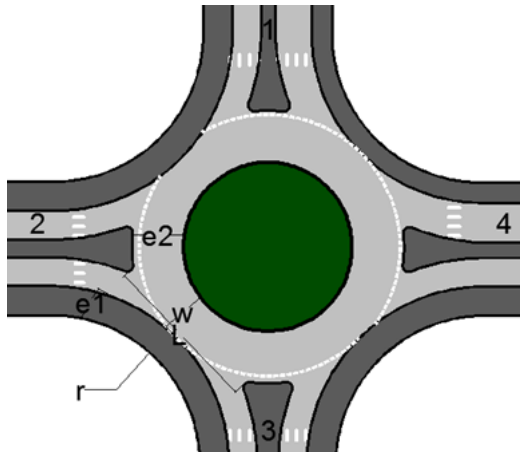
Fuente, elaboración propia.

Movimientos:

La nomenclatura usada para los movimientos está ligada con la numeración que se le dio a cada uno de los accesos, ya que en ella se usa, tanto de qué acceso viene el vehículo, como hacia cuál acceso se dirige este.

Por ejemplo, para una glorieta de 4 accesos el volumen tiene la siguiente nomenclatura:

Figura 27.Nomenclatura glorieta de 4 accesos



Fuente, elaboración propia.

Vol1-1 }
 Vol1-2 } **Acceso 1**
 Vol1-3 }
 Vol1-4 }

Vol2-1 }
 Vol2-2 } **Acceso 2**
 Vol2-3 }
 Vol2-4 }

Vol3-1 }
 Vol3-2 } **Acceso 3**
 Vol3-3 }
 Vol3-4 }

Vol4-1 }
 Vol4-2 } **Acceso 4**
 Vol4-3 }
 Vol4-4 }

Donde

Vol1-1: Hace referencia al flujo que entra a la glorieta desde el acceso 1 y hace una “u” para salir de nuevo por este acceso.

Vol4-2: Hace referencia al flujo que entra a la glorieta desde el acceso 4 y se dirige hacia el acceso 2 para salir por este.

Así, para los demás flujos, accesos y diferente número de estos.

INTERFAZ GLORIETAS

Figura 28. Interfaz glorieta

The screenshot shows a software window titled "Glorietas" with a standard Windows-style title bar. The main content area is titled "Análisis de Glorietas". It contains three configuration options, each with a dropdown menu: "Número de Accesos" is set to 3, "Número máximo de carriles en el anillo de circulación" is set to 1, and "Número máximo de carriles en un acceso" is set to 1. Below these settings are three large blue buttons with white text: "Análisis de Tráfico" on the left, "Análisis Geométrico" on the right, and "Atras" centered at the bottom.

Fuente, elaboración propia.

4.1. ANÁLISIS DE TRAFICO

En esta parte se estimará la capacidad y el nivel de servicio de la glorieta. Para realizar el análisis de tráfico debe ingresar información sobre el número de accesos y carriles de la glorieta.

a. Número de accesos:

En este menú se debe indicar cuántos accesos tiene la glorieta que se va a analizar. Pueden ser de 3 a 8 accesos como se indicó en las limitaciones anteriormente.

b. Número máximo de carriles en el anillo de circulación:

Existen glorietas en donde hay un número variado de carriles en el anillo de circulación, por ello en este menú se debe escoger el número **máximo** de carriles que tiene. Puede ser 1,2 o más de 2 carriles.

c. Número máximo de carriles en un acceso:

Generalmente, los accesos cuentan con un número variado de carriles de entrada a la glorieta, por ello en este menú se debe escoger el número de carriles en el acceso que tenga **mayor** número de carriles. Puede ser 1,2, o más de 2 carriles.

4.2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO

En esta sección se trabajará todo lo relacionado con la verificación de parámetros geométricos de la glorieta. Para ello, no es necesario que especifique la información **a**, **b**, **c** ya que el análisis es independiente del número de accesos de la glorieta y de la configuración de los carriles de esta.

4.3. SALIR

Esta selección regresa a la interfaz de *Herramienta de apoyo para el análisis y diseño geométrico de intersecciones viales a nivel*.

INTERFAZ ANÁLISIS DE TRÁFICO- GLORIETAS

Existen 2 tipos de interfaces para el análisis de tráfico en glorietas, ya que dependiendo del número de accesos y de la configuración de los carriles que el usuario ingrese en los menús de la interfaz *Glorietas*, el análisis trabaja con parámetros e información diferente debido a las metodologías usadas.

a. Si el usuario escoge de 3 a 5 accesos, con 1 o 2 carriles, tanto en el anillo de circulación, cómo en el acceso que tiene mayor número de carriles, la interfaz será de esta forma:

Figura 29. Interfaz análisis de tráfico- glorietas de glorietas tipo a

Fuente, elaboración propia.

(Más adelante se explicarán cada uno de los parámetros necesarios para cada análisis)

b. Si el usuario escoge de 3 a 5 accesos, con más de 2 carriles, ya sea en el anillo de circulación o en el acceso con mayor número de carriles o escoge de 6 a 8 accesos (no importa la configuración de sus carriles), se abrirá una interfaz de este tipo:

Figura 30. Interfaz análisis de tráfico- glorietas de glorietas tipo b

**Análisis de Glorietas
4 Accesos**

Acceso 1	
Vol 1-1 [veh/h]	Factor de hora pico
Vol 1-2 [veh/h]	Vehiculos pesados [%]
Vol 1-3 [veh/h]	Ancho de entrada e1 [m]
Vol 1-4 [veh/h]	Ancho de entrada e2 [m]
	Longitud de entrecruzamiento L [m]
	Ancho de entrecruzamiento w [m]
	Radio de entrada r [m]

Acceso 2	
Vol 2-1 [veh/h]	Factor de hora pico
Vol 2-2 [veh/h]	Vehiculos pesados [%]
Vol 2-3 [veh/h]	Ancho de entrada e1 [m]
Vol 2-4 [veh/h]	Ancho de entrada e2 [m]
	Longitud de entrecruzamiento L [m]
	Ancho de entrecruzamiento w [m]
	Radio de entrada r [m]

Acceso 3	
Vol 3-1 [veh/h]	Factor de hora pico
Vol 3-2 [veh/h]	Vehiculos pesados [%]
Vol 3-3 [veh/h]	Ancho de entrada e1 [m]
Vol 3-4 [veh/h]	Ancho de entrada e2 [m]
	Longitud de entrecruzamiento L [m]
	Ancho de entrecruzamiento w [m]
	Radio de entrada r [m]

Acceso 4	
Vol 4-1 [veh/h]	Factor de hora pico
Vol 4-2 [veh/h]	Vehiculos pesados [%]
Vol 4-3 [veh/h]	Ancho de entrada e1 [m]
Vol 4-4 [veh/h]	Ancho de entrada e2 [m]
	Longitud de entrecruzamiento L [m]
	Ancho de entrecruzamiento w [m]
	Radio de entrada r [m]

Fuente, elaboración propia.

Parámetros:

- **Volúmenes[veh/h]:**

En estas casillas, el usuario debe ingresar el volumen en vehículos por hora de cada uno de los movimientos explicados anteriormente para cada acceso.

- **Factor de hora pico**

El factor de hora pico o FHP, es una medida de la variabilidad de la demanda durante la hora pico. Se expresa como la relación, entre la cuarta parte del volumen de tránsito durante la hora pico y el volumen mayor durante el lapso de quince minutos dentro de dicha hora pico. Un valor de 0,92 por defecto para FHP se tiene previsto.

- **Veh. pesados [%]**

El usuario debe ingresar el porcentaje de vehículos pesados en cada acceso. Este factor explica el espacio adicional ocupado por vehículos pesados y para la diferencia en sus capacidades de funcionamiento, en comparación con los automóviles. Un valor de 3% por defecto para veh. Pesados [%] se tiene previsto.

- **Tasa peatonal [p/h]**

Se debe ingresar el número de peatones por hora que cruzan el acceso. Un valor de 0 p/h por defecto será previsto.

- **Número de carriles de entrada del acceso**

Se debe escoger 1 o 2 carriles en el menú, de acuerdo con el número de carriles que tenga el acceso.

- **Número de carriles en el anillo de circulación**

Se debe escoger 1 o 2 carriles en el menú, de acuerdo con el número de carriles que tenga el anillo de circulación frente a ese acceso.

- **Ancho de entrada e1 [m]**

Este dato indica el ancho de entrada del acceso antes de la glorieta en metros.

- **Ancho de entrada e2[m]**

Este dato indica el ancho de la sección de entrecruzamiento frente al acceso en metros.

- **Longitud de entrecruzamiento L[m]**

El usuario debe ingresar la longitud de entrecruzamiento entre el acceso en análisis y el siguiente acceso, en sentido del flujo. Se debe ingresar en metros.

- **Ancho de entrecruzamiento W[m]**

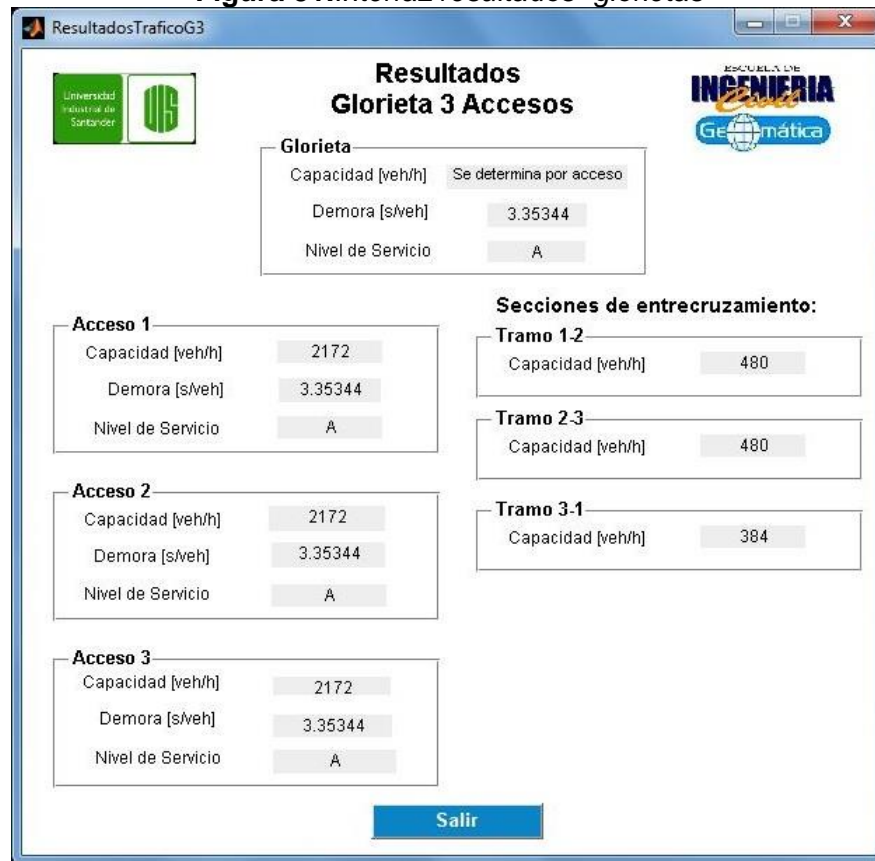
Se debe ingresar el ancho de la sección de entrecruzamiento siguiente al acceso en análisis en el sentido del flujo, en metros.

- **Radio de entrada[m]**

Este dato indica el radio de entrada del acceso, en metros.

4.1.1. INTERFAZ RESULTADOS- GLORIETAS

Figura 31. Interfaz resultados- glorietas



Fuente, elaboración propia.

De acuerdo con alcance del programa anteriormente explicado, esta interfaz muestra los siguientes resultados:

➤ **En la intersección:**

- No se calcula capacidad.
- Si se calcula demora.

- Si se determina un nivel de servicio.

➤ **Accesos**

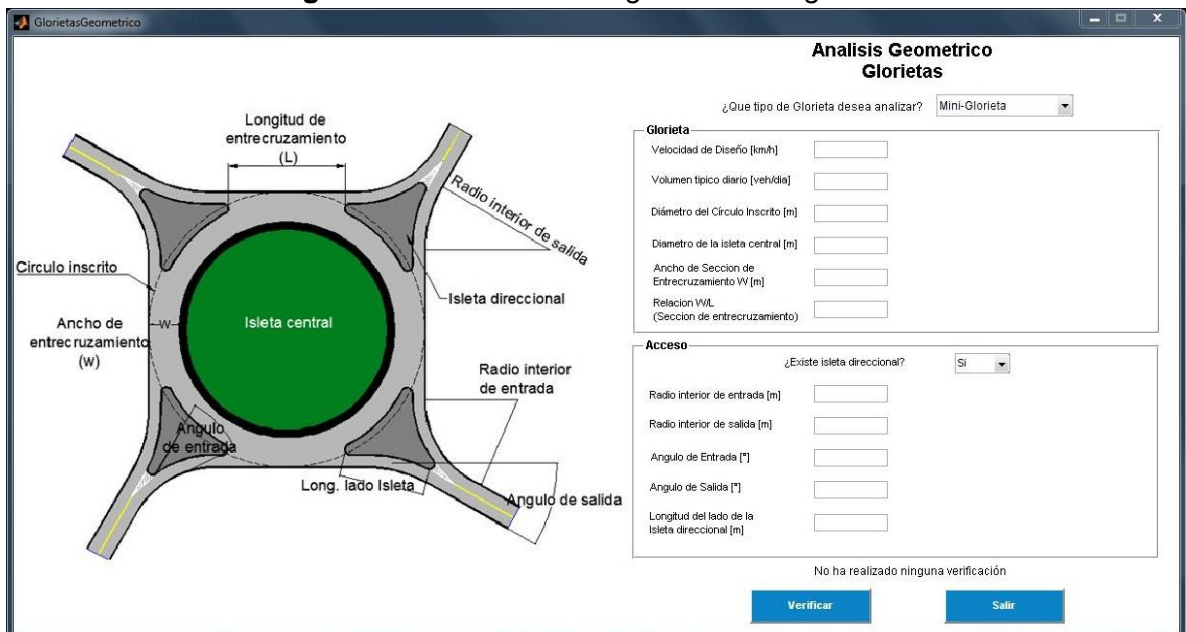
- Si se calcula capacidad.
- Si se calcula demora.
- Si se determina un nivel de servicio.

➤ **Secciones de entrecruzamiento**

- Solo se calcula capacidad.

4.2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO – GLORIETAS

Figura 32. Interfaz análisis geométrico – glorietas



Fuente, elaboración propia.

El análisis geométrico de la herramienta pretende verificar si los parámetros geométricos de la glorieta cumplen con las normas existentes.

Algunos de los parámetros a verificar dependen del tipo de glorieta que se desea analizar. Para ello, existe un menú con las siguiente opciones:

Miniglorieta, glorieta de un solo carril o glorieta multicarril.

A continuacion se explica cada una de estas:

Tipos de glorietas:

Las glorietas pueden ser consideradas en tres categorías básicas según el tamaño y número de carriles.

Cualquiera de las categorías puede ser apropiada para su aplicación en las zonas rurales, suburbanas o urbanas. Las glorietas en las zonas urbanas pueden necesitar menor diámetro del círculo inscrito por diseñar para vehículos más pequeños y las limitaciones de existir derecho de vía. También pueden incluir información peatonal más extensa y características de bicicletas. Las glorietas en las zonas rurales suelen tener mayores velocidades de aproximación y, por tanto, pueden necesitar atención especial visibilidad, el acceso de alineación, y los detalles de la sección transversal.

Mini-glorieta:

Son glorietas pequeñas que se usan en baja velocidad en entornos urbanos. La Figura siguiente es un ejemplo de una mini-glorieta. Pueden ser útiles con baja velocidad en entornos urbanos en los casos en que se impidió el diseño de una glorieta convencional por las limitaciones de derecho de paso.

Figura 33. *Mini glorieta*

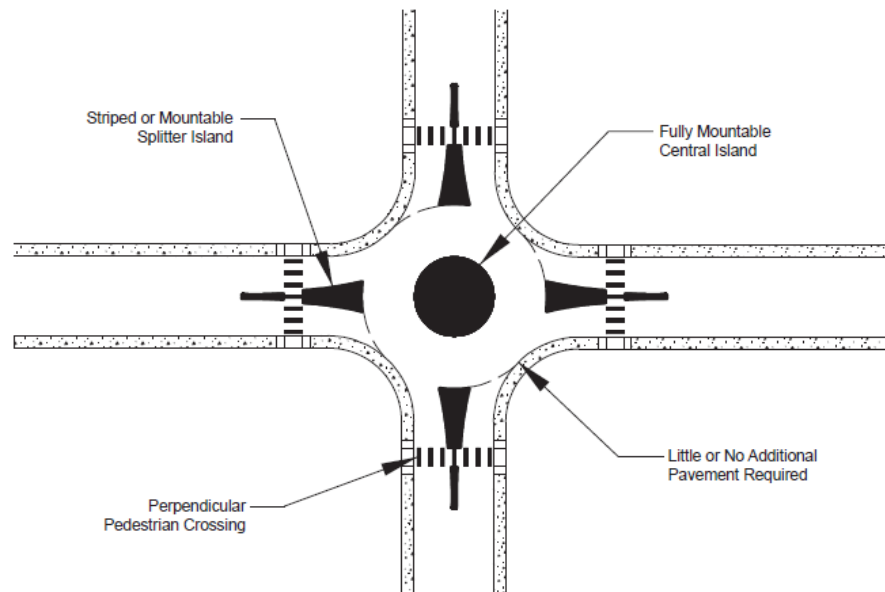


Figure 9-11. Typical Mini-Roundabout

Fuente, AASHTO 2011

Glorietas de un solo carril

Este tipo de glorieta se caracteriza por tener un carril de entrada individual entadas las patas y un carril circulatorio. La Figura siguiente proporciona un ejemplo de una típica glorieta urbana de un solo carril. Se distinguen de las mini-glorietas por sus diámetros mayores de círculo inscrito y sus islas centrales no alzadas. Su diseño permite velocidades ligeramente más altas en la entrada, en la calzada circulatoria, y en la salida. El diseño geométrico incluye islas divisoras alzadas, una isla central no alzada, y por lo general un sobre ancho de camión. El tamaño de la glorieta es en gran parte influido por la elección del vehículo de diseño.

Figura 34. Glorietas de un solo carril

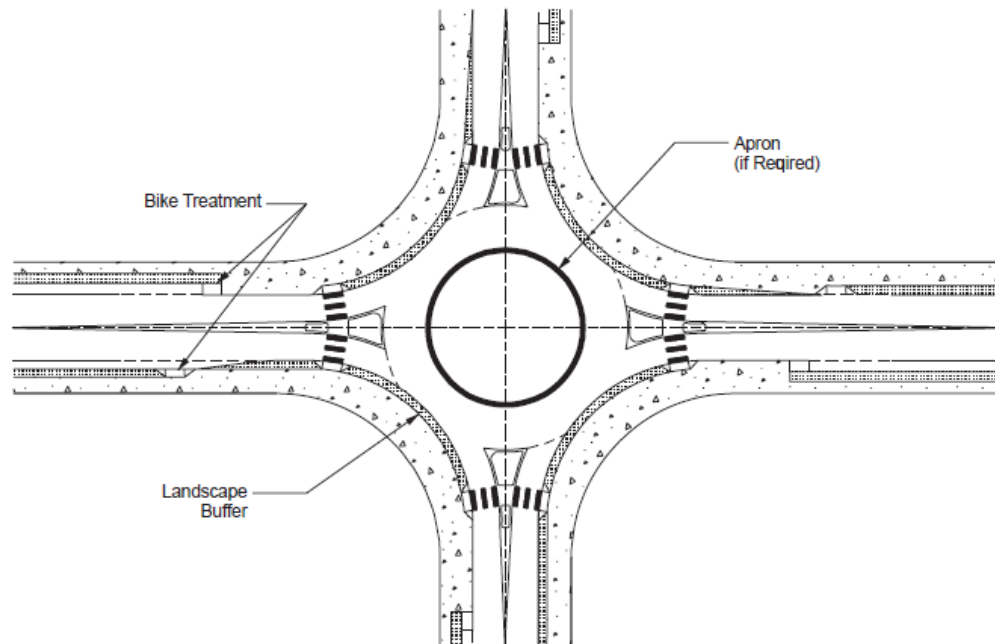


Figure 9-12. Typical Single-Lane Roundabout

Fuente, AASHTO 2011

Glorietas multicarril

Las glorietas multicarril incluyen todas las glorietas que tienen por lo menos una entrada con dos o más carriles. En algunos casos, la glorieta puede tener un número diferente de carriles en uno o más accesos. Por ejemplo, una glorieta con dos entradas de dos carriles y una sola entrada de un solo carril aún serían consideradas una glorieta multicarril. Estas necesitan más calzadas de circulación amplias para dar cabida a más de un vehículo que

viaja de un lado a otro. La Figura siguiente proporciona un ejemplo de una típica glorieta multicarril. Las velocidades de la entrada, en la calzada circulatoria, y en la salida son similares pueden ser ligeramente superiores a los de las glorietas de un solo carril. Al igual que glorietas de un solo carril, es importante que las velocidades vehiculares sean consistentes a lo largo de la glorieta. El diseño geométrico incluirá islas divisoras alzadas o elevadas, un sobre ancho de camión, una isla central no alzada y una apropiada deflexión horizontal.

Figura 35. *Glorietas multicarril*

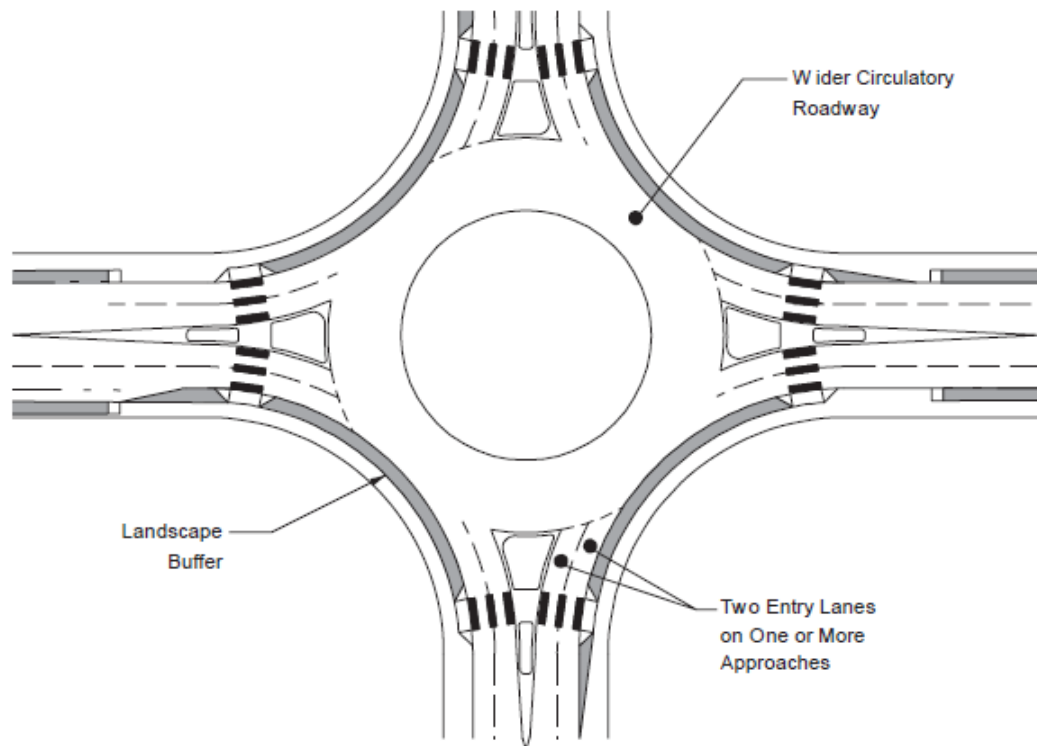


Figure 9-13. *Typical Multilane Roundabout*

Fuente, AASHTO 2011

Después de ingresar el tipo de glorieta, se puede empezar a verificar cada uno de los parámetros geométricos que son:

Para la glorieta como un todo:

Velocidad de diseño (km/h)
Volumen típico diario (veh/día)
Diámetro del círculo inscrito (m)
Diámetro de la isleta central (m)
Ancho de sección de entrecruzamiento (m)
Relación w/l

Por accesos:

Radio interior de entrada (m)
Radio interior de salida (m)
Angulo de entrada (°)
Angulo de salida (°)
Longitud de los lados de la isleta direccional (m)

Todos estos parámetros se muestran en la figura adjunta en la interfaz.

Una vez se han ingresado, el usuario deberá oprimir el botón *Verificar*. Los resultados de la verificación se muestran en frente de cada variable. Este resultado puede ser:

- **No cumple (color rojo):** Se refiere a que la variable que ingresó no cumplió las condiciones normativas. Por ello, se le sugiere valores que debe tomar para cumplirlas.
- **Cumple (color negro):** Aparece cuando la variable que ingresó cumplió las condiciones normativas.

Al final encontrará un contador que le muestra cuántas veces ha realizado la verificación.

Anexo B: Resumen de la metodología usada para el desarrollo de la herramienta

RESUMEN DE LA METODOLOGÍA USADA EN LA HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIONES VIALES A NIVEL

En este trabajo se presenta un resumen de la metodología usada para el análisis de tráfico y el análisis geométrico de 4 tipos de intersecciones viales a nivel que son:

- a. Intersecciones controladas con semáforo
- b. Intersecciones controladas con Pare tipo T
- c. Intersecciones controladas con Pare tipo +
- d. Glorietas

1. INTERSECCIONES CONTROLADAS CON SEMÁFORO

1.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO

Metodología

Esta subsección contiene una visión general de la metodología para evaluar el desempeño de intersección controlada con semáforos desde la perspectiva de los automovilistas. La metodología es computacionalmente intensa y requiere implementar un software. La intensidad debe en parte a la necesidad de modelar el tráfico accionado por el funcionamiento de la señal.

Datos de entrada necesarios para el análisis en totalidad:

❖ Condiciones Geométricas

La configuración física de la intersección se obtiene en los siguientes términos:

- Tipo de área
- Número de carriles N
- Existencia de carriles exclusivos o compartidos a la Izquierda
- Existencia de carriles exclusivos, compartidos o Individuales a la Derecha
- Ancho promedio de carriles, W (m)
- Pendiente, Pg (%)

❖ **Condiciones de Tránsito**

Esta fase incluye el registro de los volúmenes horarios (en la hora pico) de bicicletas, peatones y vehículos. Los volúmenes de peatones se registran por el acceso que estos cruzan, es decir los peatones que cruzan el acceso A, se registran en el acceso A. La tasa de flujo ajustada se calcula a partir de los volúmenes horarios y con los factores de hora picos. El FHP se calcula con de los volúmenes en la hora pico en periodos de análisis que se toma como 15 minutos ($T= 0,25$ h).

Los vehículos pesados se definen como los vehículos que tienen más de cuatro llantas sobre el pavimento. Al registrar el número de autobuses, solamente se incluyen los autobuses que detienen para recoger o descargar pasajeros. Los autobuses que atravieran la intersección sin detenerse se consideran como vehículos pesados.

La configuración de la intersección en tránsito se obtiene en los siguientes términos:

- Volumen de demanda por movimiento, V (veh/h)
- Porcentaje de vehículos pesados, P_{HV} (%)
- Factor hora pico, FHP
- Tipo de llegadas, AT
- Tasa de flujo de saturación base, S_0 (veh/h/carril)
- Tasa de flujo peatonal en el acceso, V_{ped} (peat/h)
- Tasa de flujo de bicicletas en el acceso, V_{bic} (bic/h)
- Actividad de parqueo o estacionamiento N_m (maniobras/h)
- Buses locales que paran en la intersección, NB (buses /h)
- Cola inicial al principio del período $Q_{bi} T$ [veh]

❖ **Condiciones de Señalización:**

Deben especificarse los detalles del sistema de semáforos, incluye el esquema de fases, que especifique cuales movimientos sirve cada fase y otros factores como los siguientes:

- Plan de fases
- Tiempo verde de cada fase, G (seg.)
- Amarillo + Todo Rojo, intervalo de cambio y despeje, entre verde, Y (seg)
- Intersección aislada o no aislada
- Tipo de intersección (aislada o no)

Datos de entrada específicos

❖ **De la intersección**

- Tipo de área

- Factor hora pico, FHP
- Tipo de intersección (aislada o no)

❖ **De los accesos**

- Número de carriles N
- Existencia de carriles exclusivos o compartidos a la Izquierda
- Existencia de carriles exclusivos, compartidos o Individuales a la Derecha
- Ancho promedio de carriles, W (m)
- Pendiente, Pg (%)
- Porcentaje de vehículos pesados, P_{HV} (5)
- Tipo de llegadas, AT
- Actividad de parqueo o estacionamiento Nm (maniobras/h)
- Buses locales que paran en la intersección, NB (buses /h)

❖ **De los movimientos:**

- Volumen de demanda por movimiento, V (veh/h)
- Volumen peatonal en el acceso, Vped (peat/h)
- Volumen de bicicletas en el acceso, Vbic (bic/h)

❖ **Plan de fases:**

- Número de fases
- Cuantos y cuales movimientos sirve cada fase
- Tiempo verde g de cada fase, (seg)
- Amarillo + Todo Rojo, intervalo de cambio y despeje, entre verde, Y (seg)

Niveles de servicio para las intersecciones controladas con semáforo

El nivel de servicio NDS, se puede caracterizar por la intersección entera, cada acceso de intersección, y cada grupo de carril. El control de demora solo se utiliza para caracterizar el NDS por la intersección entera o un acceso. El control de demora y la relación volumen-capacidad se utilizan para caracterizar el NDS para un grupo de carril. La demora cuantifica el incremento del tiempo de viaje debido a un control de señal de tráfico. También es una medida sustituta de la incomodidad del conductor y consumo de combustible. La relación volumen-capacidad cuantifica el grado en el que se utiliza la capacidad de una fase por un grupo carril. En los párrafos siguientes se describe cada nivel de servicio NDS.

NDS A describe las operaciones con un demora de control de 10 s / veh o menos y una relación de volumen a la capacidad no superior a 1,0. Este nivel se asigna típicamente cuando la relación de volumen a la capacidad es baja y, o bien la progresión es

excepcionalmente favorable o la duración del ciclo es muy corto. Si es debido a la progresión favorable, la mayoría de los vehículos llegan durante la indicación verde y viajan a través de la intersección sin detenerse.

NDS B describe las operaciones con control de demora entre 10 y 20 s / veh y una relación de volumen a la capacidad no superior a 1,0. Este nivel se asigna típicamente cuando la relación de volumen a la capacidad es baja y, o bien la progresión es muy favorable o la duración del ciclo es corto. Más vehículos que parar que con NDS A.

NDS C describe las operaciones con control de demora entre 20 y 35 s / veh y una relación de volumen a la capacidad no superior a 1,0. Este nivel se asigna típicamente cuando la progresión es favorable o la duración del ciclo es moderada. Fallos individuales del ciclo (es decir, uno o más vehículos en cola no son capaces de salir como un resultado de la capacidad insuficiente durante el ciclo) puede comenzar a aparecer en este nivel. El número de vehículos de parada es significativo, aunque todavía muchos vehículos pasan a través de la intersección sin detenerse.

NDS D describe las operaciones con control de demora entre 35 y 55 s / veh y una relación de volumen a la capacidad no superior a 1,0. Este nivel se asigna típicamente cuando la relación volumen-a-capacidad es alta y, o bien la progresión es ineficaz o la longitud del ciclo es largo. Parada de muchos vehículos y el fracaso ciclo individual se notan.

NDS E se describen las operaciones con control de demora entre 55 y 80 s veh / y una relación de volumen a la capacidad no superior a 1,0. Este nivel se asigna típicamente cuando la relación volumen-a-capacidad es alta, la progresión es desfavorable, y la longitud del ciclo es largo. Fallos individuales del ciclo son frecuentes.

NDS F describe las operaciones con demora de control superior a 80 s / veh o una relación de volumen-a-capacidad mayor que 1,0. Este nivel se asigna típicamente cuando la relación de volumen a la capacidad es muy alta, la progresión y el ciclo son muy pobres. La longitud es larga. La mayoría de los ciclos no pueden borrar la cola.

Un grupo carril puede incurrir en un demora de menos de 80 s / veh cuando la relación volumen-a-capacidad excede de 1,0. Esta condición se produce normalmente cuando la longitud del ciclo es corto, la progresión de la señal es favorable, o ambas. Como un resultado, ambas, la demora y la relación volumen-capacidad se consideran al NDS establecido para grupo de carril.

Una relación 1,0 o más indica que la capacidad de ciclo se utiliza por completo y representa fallo desde el punto de vista de la capacidad (tal como retraso superior a 80 s / veh representa fallo desde una perspectiva de demora).

La Tabla 1.1.1 enumera los límites de NDS establecidos para el modo de automóvil en una intersección señalizada.

Tabla 1.1.1 Descripción del nivel de servicio para intersecciones controladas con semáforo.

NDS Por relación Vol/ Cap		DESCRIPCIÓN	DEMORA (Seg)
≤ 1,0	>1,0		
A	F	Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos y los vehículos no hacen alto.	≤ 10.0
B	F	Ocurre con una sincronía y ciclos cortos, los vehículos empiezan a detenerse.	>10.0 y ≤ 20.0
C	F	Ocurre con una sincronía regular y/o ciclos largos, los ciclos en forma individual empiezan a fallar.	>20.0 y ≤ 35.0
D	F	Empieza a notarse la influencia de congestionamientos, ocasionados por un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos de detienen	>35.0 y ≤ 55.0
E	F	Empieza el límite aceptable de la demora; indica una sincronía muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en los ciclos son frecuentes.	>55.0 y ≤ 80.0
F	F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurren cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c sean menores de 1,00 pero con una sincronía muy pobre y/o ciclos demasiados largos.	> 80.0

Fuente HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Relación de la capacidad y los niveles de servicio

Es posible tener demoras en el rango del nivel de servicio F (inaceptable) cuando la relación v/c es mayor de 1.00, quizá con valores tan bajos como 0.75 - 0.85, es por esto que si la relación v/c es mayor que 1,00 el acceso o la intersección tendría nivel de servicio F. En estas relaciones pueden ocurrir grandes demoras cuando existan algunas de las siguientes condiciones:

- La duración del ciclo es grande.

- El grupo de carriles o acceso en cuestión se ve en desventaja (teniendo un tiempo de rojo largo) por los tiempos del semáforo.
- La sincronía de semáforos para los movimientos estudiados es deficiente.
- Puede suceder la situación opuesta. Un acceso o grupo de carriles con una relación $v/c = 1,00$ puede tener demoras si:
- La duración del ciclo es corta.
- La sincronía de semáforos no es favorable para el movimiento en estudio.

El nivel de servicio F no implica que la intersección, el acceso o el grupo de carriles estén sobrecargados, ni que el nivel de servicio entre A y E indique que existe una capacidad disponible no utilizada.

Los métodos y los procedimientos de este capítulo requieren los análisis de la capacidad y el nivel de servicio para evaluar completamente la operación de la intersección controlada por semáforo.

Procedimiento

Esto identifica la secuencia de cálculos necesarios para estimar medidas seleccionadas de rendimiento.

Paso 0. Registro de los datos de entrada

Paso 1. Cálculo de la tasa de flujo ajustada de los movimientos (TFAM)

Paso 2. Determinación de Grupos de carriles

Paso 3. Determinación de la tasa de flujo ajustada del grupo de carriles (TFAGC)

Paso 4. Determinación de la proporción de giros

Paso 5: Cálculo de la tasa de flujo de saturación S para cada grupo de carril

Paso 6: Calcular Relación de flujo (v/s)

Paso 7: Determinar la Razón de luz verde (g/C)

Paso 9: Determinar el Grado de saturación X (v/c)

Paso 10: Determinar la Demora en el grupo de carriles

Paso 11: Determinar la Capacidad en el acceso

Paso 12: Determinar la Demora en el acceso

Paso 13: Determinar la Demora en la intersección

Paso 0. Registro de los datos de entrada

En este paso se incluye la recolección y la presentación de la información necesaria para el análisis. Las tareas involucradas son:

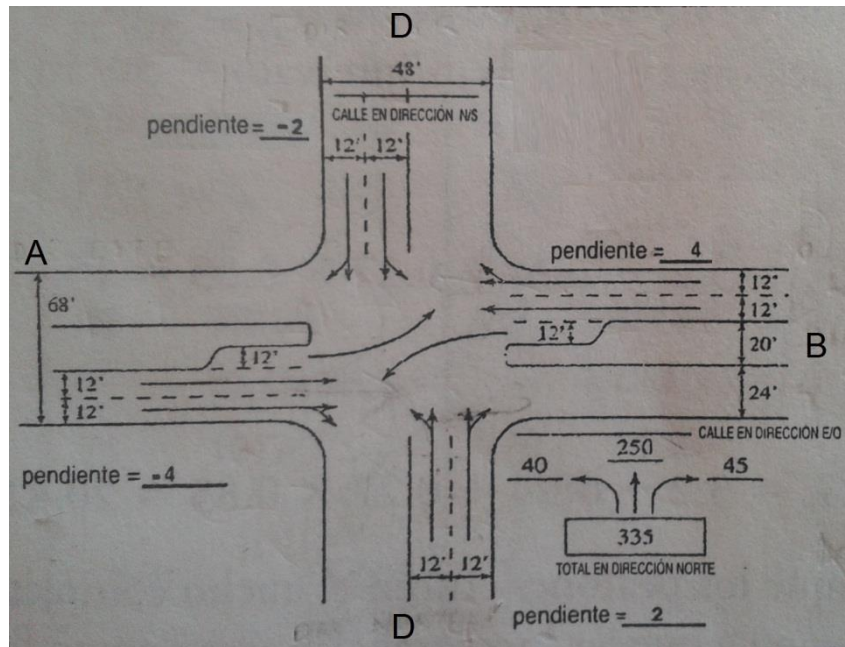
- Identificación y registro de las características Geométricas.
- Identificación y especificación de las características de Tránsito.
- Especificación de las condiciones de señalización.

Condiciones geométricas

En las figuras 1, 2 y 3 se deben registrar las condiciones y características geométricas, de tránsito (para los accesos y movimientos) y de señalización (plan de fases) respectivamente, adicionalmente se conoce la siguiente información:

- Intersección aislada o no
- Tipo de área
- FHP para la intersección
- Tipo de llegada.

Figura 1.1.1 Condiciones geométricas



Fuente, elaboración propia.

Tabla 1.1.2 Características de Tránsito




Característica	A			B			C			D		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Volumen , V [veh/hora]												
Volumen peatonal, vped [pea/hora]												
Volumen de bicicletas , vbic												

[bic/hora]									
% Veh pesados, PHV									
Maniobras parqueo[maniobras/hora]									
Paradas de buses [buses/hora]									

Fuente HCM10 elaboración propia.

Diagramas

Tabla 1.1.3 Plan de fases- Condiciones de señalización

	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4
				
Tiempo verde	g[s]=	g[s]=	g[s]=	g[s]=
Tiempo amarillo	Y[s]=	Y[s]=	Y[s]=	Y[s]=
Duración del ciclo [s]	C=			

Fuente HCM10 elaboración propia.

Paso 1. Determinación de la tasa de flujo ajustada de los movimientos (TFAM)

El analista necesita proporcionar como entrada la tasa de flujo de demanda de cada movimiento en el acceso, y agregada como sea apropiado para posteriormente dividir el flujo de cada movimiento entre el FHP.

Paso 2. Determinación de Grupos de carriles

El concepto de *grupos de carril* es útil cuando un carril compartido está presente en un acceso que tiene dos o más carriles. Varios procedimientos de la metodología requieren alguna indicación de si el carril compartido sirve una mezcla de vehículos o funciones como un carril de giro exclusivo. Este problema no puede ser resuelto hasta que la proporción de giros en el carril compartido ha sido calculada. Si la proporción calculada de giros en el carril compartido es igual a 1,0 (es decir, 100%), el carril compartido se considera para operar como un carril de giro exclusivo.

Las siguientes reglas se utilizan para determinar los grupos de carril de un acceso intersección:





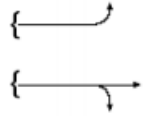


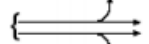
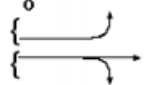

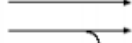

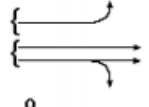
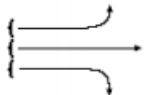
- Uno o varios carriles que sean exclusivos de giros a la izquierda deben ser designados como un grupo carriles separados. Lo mismo es cierto para carril exclusivo de giro a la derecha.
- Cualquier carril compartido debe ser designado como un grupo carril separado.
- Cualquier carril que no sea carril exclusivo de giro o carriles compartidos deben combinarse en un grupo de carril.

Estas reglas resultan en la asignación de una o más de las siguientes posibilidades de grupo de carril, para un acceso de la intersección:

- Carril exclusivo de giro a la izquierda(o carriles),
- Carril exclusivo directo (o carriles)
- Carril exclusivo de giro a la derecha (o carriles),
- Carril compartido de giro a la izquierda con directo
- Carril compartido de giro a la izquierda con giro a la derecha
- Carril compartido de giro a la derecha con directo
- Carril compartido de giro a la izquierda con giro a la derecha con directo

La metodología se puede aplicar a cualquier combinación lógica de estos grupos de carril. En la figura 1.1.2 muestra algunos grupos de carril comunes.

Figura 1.1.2 Típicos grupos de carriles

Número de carriles	Movientos por carril	Número de posibles grupo de carriles
1	LT + TH + RT  Izquierdo, directo y derecho	①  Acceso carril sencillo
2	EXC LT  Izquierdo exclusivo TH + RT  Directo y derecho	② 
2	Izquierdo y directo LT + TH  TH + RT  Directo y derecho	①  ② 
3	Izquierdo exclusivo EXC LT  TH  Directo TH + RT  Directo y derecho	②  ③ 

Paso 3. Determinación de la tasa de flujo ajustada del grupo de carriles (TFAGC)

Luego de haber definido los grupos de carriles y la cantidad de carriles en cada grupo se calcula la (TFAGC) sumando la (TFAM, calculada en el paso 2) de los movimientos que pertenezcan a cada grupo de carril. Por ejemplo si el acceso A tiene dos grupos de carriles, uno para dar giro a la izquierda y otro para paso directo y giro a la derecha, la (TFAGC) de giro izquierdo es la (TFAM) de giro izquierdo y la (TFAGC) de giro derecho más paso directo es la (TFAM) de giro más la (TFAM) de paso directo.

Toda la metodología se trabajará con (TFAGC)

Paso 4. Determinación de la proporción de giros P_{LT} - P_{RT}

Después de haber calculado la (TFAGC) se calcula la proporción de giros a la izquierda y a la derecha de cada grupo de carril. Si el grupo de carril tiene un solo carril de giro izquierdo la proporción de giro a la izquierda es uno, y la proporción de giro a la derecha es cero. Por ejemplo, La proporción de giro a la derecha de un grupo de carril que contenga movimiento giro derecha y paso de directo se obtiene al dividir TFAM de giro derecho entre la TFAGC.

Paso 5: Determinación de la tasa de flujo de saturación S

La tasa de flujo de saturación, es la tasa de flujo en Veh/h que puede soportar el grupo de carriles, si continuamente tiene la luz verde (es decir, si $g/C=1$). La(s) tasa(s) de flujo de saturación dependen(n) de un flujo de saturación ideal S_0 , que normalmente se toma como 1900Veh/h. Entonces el flujo de saturación ideal se ajusta a las condiciones prevalecientes, para obtener el flujo de saturación para el grupo de carriles que se está considerando. El ajuste se hace mediante la introducción de factores de corrección. La ecuación 1.1.1 se utiliza para calcular la tasa de saturación de flujo ajustada por carril para el grupo de carril:

$$S=S_0 f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (1.1.1)$$

Donde,

S =tasa de flujo de saturación de ajuste [veh/h/carril]

S_0 = Tasa de saturación base [Porcentaje/h/carril]

f_w = Factor de ajuste por ancho de carril

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo vehicular
 f_g = Factor de ajuste por la pendiente del acceso
 f_p = Factor de ajuste por parqueo o estacionamiento
 f_{bb} = Factor de ajuste por el efecto de bloqueo de los autobuses locales
 f_a = Factor de ajuste por tipo de área
 f_{LU} = Factor de ajuste por la utilización del carril
 f_{LT} = Factor de ajuste por giros a la izquierda en el grupo de carriles
 f_{RT} = Factor de ajuste por giros a la derecha en el grupo de carriles
 f_{Lpb} = Factor de ajuste por peatones y bicicletas para giros vehiculares ala izquierda
 f_{Rpb} = Factor de ajuste por peatones y bicicletas para giros vehiculares a la derecha

❖ **Tasa de saturación base S_o**

Los cálculos comienzan con la selección de una tasa base de flujo de saturación, que normalmente se toma como 1900 Veh/h. Esta tasa base representa la tasa media de flujo esperada para un carril de tráfico directo que tiene condiciones geométricas y de tráfico que corresponden a un valor de 1,0 para cada factor de ajuste. Por lo general, un tasa base es seleccionada para representar a todas las intersecciones señalizadas en la jurisdicción (o zona) en el que se ubica la intersección.

❖ **Factor de ajuste por ancho de carril f_w**

Explica el impacto negativo de calles estrechas sobre la tasa de flujo de saturación y permite un aumento de la tasa de flujo en carriles anchos. Los valores de este factor se enumeran la Tabla 1.1.4.

Tabla 1.1.4 Factor de ajuste por ancho de carril f_w

Ancho prom del carril [m]	f_w
< 3,0	0,96
≥ 3,0 - 4,0	1,0
≥ 4,0	1,04

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

El ancho estándar de un carril es de 12 ft=3,6m. El factor de anchura de carril se puede utilizar con precaución para anchos de carril de más de 16 ft=5m, o un análisis con dos carriles estrechos de 8ft = 2,5m puede llevarse a cabo. El uso de dos carriles estrechos siempre dará lugar a una mayor tasa de flujo de saturación que de un carril de ancho

único, pero, en cualquier caso, el análisis debe reflejar la manera en que se usa realmente el ancho o esperar que se use.

En ningún caso este factor se utiliza para estimar la tasa de flujo de saturación de un grupo de carriles con un ancho de carril promedio que sea menor que 8,0 ft= 2,4m.

❖ **Factor de ajuste por vehículos pesados f_{HV}**

Este factor explica el espacio adicional ocupado por vehículos pesados y para la diferencia en sus capacidades de funcionamiento, en comparación con los automóviles. Se usa un equivalente de dos automóviles por cada vehículo pesado.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)} \quad (1.1.2)$$

Dónde:

PHV = Porcentaje % de vehículos pesados en el correspondiente grupos de movimiento,
ET= Número de equivalencia de vehículos directos,
para cada vehículo pesado ET= 2.0vehículos equivalente/HV.

❖ **Factor de ajuste por la pendiente del acceso f_g**

Este factor representa los efectos del pendiente en el rendimiento del vehículo.

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} \quad (1.1.3)$$

Donde,

Pg= Pendiente correspondientes grupos de movimiento [%]

Este factor aplica para pendientes entre -6.0% y +10.0%

❖ **Factor de ajuste por estacionamiento o parqueo f_p**

Este Factor de ajuste explica los efectos en el flujo por la existencia de un carril de estacionamiento adyacente al grupo de carriles. También explica el bloqueo ocasional de un carril adyacente por vehículos en movimiento dentro y fuera de los espacios de estacionamiento. Si no hay estacionamiento, entonces

este factor tiene un valor de 1,00; si hay estacionamiento, entonces el valor de este factor se calcula con la ecuación 1.1.4.

$$f_p = \frac{N - 0,1 - \frac{18N_m}{3600}}{N} \geq 0,05 \quad 0 \leq N_m \leq 180 \quad (1.1.4.)$$

Si $N_m = 0$ Entonces $f_p = 0$

Donde

N = Número de carriles en el grupo de carriles (Carriles)

N_m = Número de maniobras de parqueo adyacente al grupo de carril [maniobras/hora]

El Número de maniobras de parqueo, es un dato de entrada que se pide por accesos, pero solo se puede hacer este tipo de maniobras en el carril derecho de cada acceso, por este motivo si un grupo de carril es exclusivo de giro a la izquierda este factor es de 1,0

La tasa maniobra de estacionamiento corresponde a las áreas de estacionamiento directamente adyacentes al grupo de carril y dentro de 250 pies corriente arriba de la línea de parada. Un límite superior de 180 maniobras / h debe mantenerse con la ecuación 18-4. El mínimo valor de f_p es 0,05. Cada maniobra (ya sea dentro o fuera) se supone para bloquear el tráfico en el carril de al lado de la maniobra de estacionamiento para un promedio de 18 s.

❖ Factor de ajuste por el efecto de bloqueo de los autobuses F_{bb}

El Factor de ajuste por el efecto de bloqueo de los autobuses locales, que se paran dentro del área de la intersección.

Explica el impacto del tránsito de autobuses locales que paran para descargar o recoger pasajeros cerca o lejos de la parada de autobús dentro de 250 pies de la línea de detención (flujo arriba o flujo abajo).

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14,4 N_b}{3600}}{N} \geq 0,050 \quad 0 \leq N_b \leq 250 \quad (1.1.5)$$

Donde,

N = Número de carriles en el grupo de carriles (Carriles)

N_b = número de parada de buses/hora

El Número de parada de buses/hora, es un dato de entrada que se pide por accesos, pero solo se puede hacer estas paradas en el carril derecho de cada acceso, por este motivo si un grupo de carril es exclusivo de giro a la derecha este facto es de 1,0

Este factor debe ser utilizado sólo cuando se detiene el flujo de tráfico bloque autobuses en el grupo de carril. Un límite superior de 250 buses / h debe mantenerse con la ecuación 18-5. El mínimo valor de f_p es 0,05. El factor utilizado aquí asume un tiempo de bloqueo medio de 14,4 s durante un verde indicación.

❖ **Factor de ajuste por tipo de área f_a**

Los tipos de actividades en el área, en el cual se localiza la intersección tiene un efecto muy significativo sobre la velocidad, y por lo tanto el volumen de saturación en un acceso. Por ejemplo, debido a la complejidad de las intersecciones ubicadas en áreas comerciales, tales como andenes estrechos, maniobras frecuentes de estacionamiento, bloqueos con vehículos, calles estrechas y actividad peatonal alta, estas intersecciones operan con menor eficiencia que en otras áreas. Esto se corrige con el uso del factor de ajuste por tipo de área f_a que es de 0,9 para las áreas de negocios CBDs (Central Business Distric), y 1,0 para todas las otras áreas.

$$f_a = 0,9 \text{ en CBD} \quad (1.1.6)$$

$$f_a = 1,0 \text{ Otras áreas} \quad (1.1.7)$$

❖ **Factor de ajuste por la utilización del carril f_{LU}**

Este factor considera la utilización desigual de los carriles de un grupo.

$$f_{LU} = \frac{V_g}{V_{gM}N} \quad (1.1.8)$$

V_g [Veh/h]= Tasa de flujo de demanda no ajustada para el grupo de carriles.

V_{gM} [Veh/h]= Tasa de flujo de demanda no ajustada en un carril dentro del grupo de carril con el volumen más alto.

N = Número de carriles en el grupo de carriles (Carriles)

❖ **Factor de ajuste por giros a la derecha en el grupo de carriles f_{RT}**

Este factor se considera por el efecto de la geometría y por el uso del cruce peatonal y bicicletas. Depende del carril a partir del cual se hace el giro a la derecha (es decir, el

carril exclusivo o compartido), y de la proporción de vehículos que dan giro a la derecha en el carril compartido.

Se requiere ajuste solamente a los grupos de carriles con vehículos que dan giro a la derecha. Todos los demás grupos tendrán $f_{RT} = 1,0$.

Carril exclusivo: $f_{RT} = 0,85$ (1.1.9)

Carril compartido: $f_{RT} = 1,0 - (0,15) P_{RT}$ (1.1.10)

P_{RT} = Proporción de giros a la derecha en el grupo de carriles

$f_{RT} \geq 0,05$

❖ **Factor de ajuste por giros a la izquierda en el grupo de carriles f_{LT}**

Este factor se considera por el efecto del mayor tiempo que toma el movimiento de giro a la izquierda que el directo. El valor de este factor también depende del tipo de carril que se usa para dar giro a la izquierda (carril exclusivo o compartido) y de la proporción de vehículos que dan giro a la izquierda que usan un carril compartido.

Carril exclusivo

$f_{LT} = 0,95$ (1.1.11)

Carril compartido:

$f_{LT} = \frac{1}{1,0 + 0,05P_{LT}}$ (1.1.12)

P_{LT} = Proporción de giros a la izquierda en el grupo de carriles

❖ **Factor de ajuste por Peatones y bicicletas para giros vehiculares f_{Lpb} - f_{Rpb}**

Estos factores se incluyen en la ecuación de flujo de saturación para considerar la reducción en el flujo de saturación que resulta de los conflictos entre los automóviles los peatones y las bicicletas:

Ajuste por vuelta a la izquierda:

$f_{Lpb} = 1,0 - P_{LT}(1 - A_{pbT})$ (1.1.13)

Donde:

P_{LT} = Proporción de giros a la izquierda en el grupo de carriles

A_{pbT} = Ajuste de la fase permitida

Ajuste por vuelta a la derecha:

$$f_{Rpb} = 1,0 - P_{RT}(1 - A_{pbT}) \quad (1.1.14)$$

Donde:

P_{RT} = Proporción de giros a la derecha en el grupo de carriles

A_{pbT} = Ajuste de la fase permitida

Procedimiento para el cálculo de Factor de ajuste f_{Lpb} - f_{Rpb}

Este se divide en las siguientes cuatro tareas principales:

Tarea 1. Determinar tasa de flujo de peatones y bicicletas.

Tarea 2. Determinar la ocupación promedio peatonal, OCC_{pedg} .

Tarea 3. Determinar la ocupación relevante en zona de conflicto, OCC_r .

Tarea 4. Determinar los factores de ajuste por peatones y bicicletas, para los movimientos de giro A_{pbT}

Tarea 5. Determinar los factores de ajuste para el flujo de saturación, para los movimientos de giro (f_{Lpb} para los movimientos de giro a la izquierda y f_{Rpb} para los movimientos de giro a la derecha)

Tarea 1. Determinar tasa de flujo de peatones y bicicletas.

$$v_{pedg} = v_{ped} * (C/g) \quad v_{pedg} \leq 5000 \quad (1.1.15)$$

$$v_{bicg} = v_{bic} * (C/g) \quad v_{bicg} \leq 1900 \quad (1.1.16)$$

Donde:

v_{pedg} = Tasa de flujo de peatones

v_{ped} = Volumen de peatones

v_{bicg} = Tasa de flujo de bicicletas

v_{bic} = Volumen flujo de bicicletas

g =Tiempo efectivo de Luz verde para el grupo de carriles i [s]
 C = duración del ciclo

Tarea 2. Determinar la ocupación promedio peatonal, OCC_{pedg} y ocupación promedio de bicicletas, OCC_{bicg}

$$\text{Si } v_{pedg} \leq 1000: \quad OCC_{pedg} = \frac{v_{pedg}}{2000} \leq 0,50 \quad (1.1.17)$$

$$\text{Si } 1000 < v_{pedg} \leq 5000 \quad OCC_{pedg} = 0,4 + \frac{v_{pedg}}{10000} \quad 0,50 < OCC_{pedg} \leq 0,9 \quad (1.1.18)$$

$$OCC_{bicg} = 0,02 + \frac{v_{bicg}}{2700} \leq 0,72 \quad (1.1.19)$$

Tarea 3. Determinar la ocupación relevante en zona de conflicto, OCC_r .

$$OCC_r = OCC_{pedg} + OCC_{bicg} - (OCC_{pedg})(OCC_{bicg}) \quad (1.1.20)$$

Tarea 4. Determinar los factores de ajuste por peatones y bicicletas, para los movimientos de giro A_{pbT}

$$A_{pbT} = 1 - 0,6 OCC_r \quad (1.1.21)$$

Tarea 5. Determinar los factores de ajuste para el flujo de saturación, para los movimientos de giro (f_{Lpb} para los movimientos de giro a la izquierda y f_{Rpb} para los movimientos de giro a la derecha)

$$f_{Lpb} = 1,0 - P_{LT}(1 - A_{pbT}) \quad (1.1.22)$$

$$f_{Rpb} = 1,0 - P_{RT}(1 - A_{pbT}) \quad (1.1.23)$$

Donde:

A_{pbT} = factores de ajuste por peatones y bicicletas, para los movimientos de giro

P_{LT} = Proporción de giros a la izquierda en el grupo de carriles

P_{RT} = Proporción de giros a la derecha en el grupo de carriles

Paso 6: Determinar Relación de flujo (v/s)

La Relación de flujo (v/s) se calcula para cada grupo de carriles y se obtiene al dividir la tasa de flujo ajustada del grupo de carriles (TFAGC), calculada en el paso 3, entre la tasa de flujo de saturación S, calculada en el paso 5.

Paso 7: Determinar la Razón de luz verde (g/C)

La Razón de luz verde (g/C) se calcula para cada grupo de carriles y se obtiene al dividir el tiempo de luz verde g de la fase a la cual pertenece el grupo de carril analizado, entre la duración del ciclo C.

Paso 8: Determinación de la capacidad del grupo de carril

La capacidad de una intersección controlada con semáforos, está dada para cada grupo de carriles y se define como la tasa máxima de flujo que puede cruzar la intersección por cada grupo de carriles que se considere, de acuerdo con las condiciones prevalecientes de tránsito, de la vía y de la señalización. La capacidad se da en vehículos por hora (veh/h), pero se basa en el flujo durante un periodo pico de 15 minutos. No se considera la capacidad de toda la intersección; por lo tanto, la capacidad solo se aplica a los movimientos o accesos principales de la intersección. La capacidad del acceso de una intersección no se correlaciona estrechamente con el nivel de servicio como si se hace en otras instalaciones, tales como los segmentos de una vía. Por lo anterior es necesario que tanto el nivel de servicio como la capacidad se analicen por separado cuando se estén evaluando intersecciones controladas con semáforos.

La capacidad de un determinado grupo carril o de un acceso se define por la ecuación 1.1.24.

$$c = N s \frac{g}{C} \quad (1.1.24)$$

Donde

c= capacidad (veh / h)

N= Número de carriles en el grupo de carriles (Carriles)

g/C= Relación de luz verde

C= duración del ciclo

g=Tiempo efectivo de Luz verde para el grupo de carriles i [s]

s =Flujo de saturación para [veh/h]

Paso 9: Determinar el Grado de saturación X (v/c) del grupo de carril

El Grado de saturación (relación volumen capacidad) para un grupo carriles se define como la relación del volumen del grupo de carriles y su capacidad. Se calcula utilizando la ecuación 1.1.25

$$X = \frac{v}{c} = \frac{v}{N s \frac{g}{C}} \quad (1.1.25)$$

Donde:

X = Grado de saturación (relación volumen- capacidad v/c)

N = Número de carriles en el grupo de carriles (Carriles)

v = demanda flujo (veh/h).

c = capacidad (veh/h).

g/C= Relación de luz verde

C= duración del ciclo

g=Tiempo efectivo de Luz verde para el grupo de carriles i [s]

s =Flujo de saturación para [veh/h]

Grado de saturación crítica (Relación crítica volúmenes –Capacidad)

Para toda la intersección se debe determinar la relación v/c crítica, Xc, la cual considera solamente los grupos de carriles que tengan la más alta relación de flujo, v/s, (grupos de carriles críticos) para determinada fase.

$$X_c = \sum_i (v/s)_{ci} \frac{C}{C - L} \quad (1.1.26)$$

Con

$$L = \sum_i l_{ti} \quad (1.1.27)$$

Donde

Xc = Grado de saturación crítica (Relación crítica volúmenes –Capacidad)

C =Duración del ciclo (s)

l_{ti}= tiempo perdido para la fase i

L = tiempo perdido total (s)

El término sumatorio en cada una de estas ecuaciones representa la suma de una variable específica para el conjunto de las fases críticas. Una fase es una fase crítica para un conjunto de fases que se producen en secuencia y cuya relación de flujo combinado es el más grande para el ciclo de la señal.

Paso 10: Determinar la Demora en el grupo de carriles

El Demora calculada en este paso representa el control de demora promedio experimentado por todos los vehículos que llegan durante el período de análisis. Incluye cualquier demora sufrida por estos vehículos que todavía están en la cola después de que termine el período de análisis. El control de demora para un grupo determinado carril se calcula utilizando la ecuación 1.1.28.

$$d = d1 PF + d2 + d3 \quad (1.1.28)$$

Dónde:

d = demora total promedio por vehículo [s/veh].

$d1$ = demora uniforme, suponiendo llegadas uniformes [s/veh].

PF= Factor de ajuste de demora uniforme o de progresión. Tiene en cuenta los efectos de la progresión de los semáforos.

$d2$ = demora incremental, que tiene en cuenta el efecto de llegadas aleatorias y colas sobresaturadas durante el periodo de análisis (supone que no existe cola inicial al comienzo del periodo de análisis) [s/veh].

$d3$ = demora por cola inicial, que tiene en cuenta las demoras de todos los vehículos en el período de análisis, debido a colas iniciales antes del período de análisis [s/veh].

➤ **Demora Uniforme $d1$**

La Ecuación 1.1.29 da un estimado de la demora, suponiendo que las llegadas de los vehículos son uniformes en un flujo estable y si no presenta saturación ($X \leq 1$) durante cualquier ciclo, sin fila inicial. Esta demora se basa en el primer término de la fórmula de demora de Webster y es ampliamente aceptada. Nótese que los valores de X mayores de 1.0 no se utilizan en el cálculo de $d1$.

$$d_1 = \frac{0,5C * [1 - (g/C)]^2}{1 - [(g/C) * \min(1, X)]} \quad (1.1.29)$$

Dónde:

$d1$ = demora uniforme [s/veh]

C = Duración del ciclo (s)

g = Tiempo efectivo de Luz verde para el grupo de carriles i [s]

g/C = Relación de luz verde

s = valor de flujo de saturación para [veh/h]

X = Grado de saturación (relación volumen- capacidad v/c)

➤ **Factor de ajuste de demora uniforme, de progresión, de coordinación o calidad de avance PF**

Tiene en cuenta los efectos de la progresión de los semáforos, es decir el efecto de la calidad de avance de las fases del semáforo en la intersección. El Factor de ajuste PF, completa el efecto positivo de las fases del semáforo sobre el tránsito que atraviesa la intersección y su dependencia del tipo de llegada.

Tiene un valor de uno para intersecciones asiladas (tipo de llegada 3).

Metodología para calcular el factor de ajuste PF

1. El usuario ingresa el **AT** (arrival type, Tipo de llegada) que se mira describe a continuación, le pido además **g** (verde efectivo del grupo de carriles) y **C** (duración del ciclo [s]).

Tipo de llegada 1, AT1:

Representa la condición de llegada más adversa. Pelotones densos que llegan al inicio de la fase de luz roja. Calidad de progresión muy deficiente y contiene más del 80% del volumen del grupo de carriles.

Tipo de llegada 2, AT2:

Se considera todavía desfavorable, pero aún mejor que AT1. Progresión desfavorable en calles de dos sentidos. Consiste en un pelotón denso que llega a la mitad de la fase de luz roja o en un pelotón disperso que llega durante la fase de luz roja y contiene del 40 al 80 % del volumen del grupo de carriles.

Tipo de llegada 3, AT3:

Generalmente se presenta en intersecciones aisladas y que no están interconectadas, se caracteriza por pelotones muy dispersos, lo que implica la llegada aleatoria de vehículos, en el cual el grupo principal contiene menos del 40% del volumen del grupo de carriles. Las llegadas en las intersecciones coordinadas con beneficios mínimos de avance o de progresión, también pueden describirse en este tipo de llegada.

Tipo de llegada 4, AT4:

Se considera una condición favorable. Progresión favorable en calles de dos sentidos. Puede ser un pelotón moderadamente denso que llega a la mitad de la fase de luz verde, o un grupo disperso que contiene del 40 al 80 % del volumen del grupo de carriles que llega durante la totalidad de la fase de luz verde.

Tipo de llegada 5, AT5:

Representa la mejor condición de llegada que frecuentemente se presenta, es un pelotón denso que contiene más del 80% del volumen del grupo de carriles que llegan en el inicio de luz verde.

Tipo de llegada 6, AT6:

Representa una calidad excepcional de avance, es un pelotón muy denso que avanza a través de varias intersecciones cercanas con muy poco tránsito proveniente de las calles laterales.

2. Con el **AT** y con la Tabla 1.1.5 se calcula Rp prefijado y FPA

Tabla 1.1.5 Rp, FPA para cada tipo de llegada AT

Tipo de llegada	Razón de pelotón Rp	FPA	Calidad de avance
1	0,333	1	Muy mala
2	0,667	0,93	Desfavorable
3	1	1	Llegadas aleatorias
4	1,333	1,15	Favorable
5	1,667	1	Muy Favorable
6	2	1	Excepcional

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

3. Cálculo de P(proporción de vehículos que llegan en verde)

El Control de demora y el tamaño de la cola en una intersección controlada con semáforo son altamente dependientes de la proporción de vehículos que llegan durante las indicaciones de señal verde y roja. La demora y tamaño de la cola son menores cuando una mayor proporción de vehículos llegan durante la indicación verde.

$$P = R_p * (g/C) \quad (1.1.30)$$

Dónde:

Rp= Proporción de pelotón

C=Duración del ciclo (s)

g=Tiempo efectivo de Luz verde para el grupo de carriles i [s]

g/C= Relación de luz verde

4. Cálculo de PF

$$PF = \frac{(1 - P)F_{PA}}{1 - (g/C)} \quad (1.1.31)$$

Si el valor de PF se calcula mediante la Ecuación 1.1.31, su valor puede exceder de 1.0 para el tipo de llegada AT 4 con valores extremadamente bajos de g/C. De manera práctica, para el valor de PF se debe asignar un valor máximo de 1.0 para el tipo de llegada AT 4.

➤ **Demora incremental d_2**

La Ecuación 1.1.32 estima la demora por incremento debido a las llegadas no uniformes y colapsos temporales de ciclos (demora aleatoria), así como las causadas por períodos sustanciales de sobresaturación (demora de saturación). Es sensible al grado de saturación del grupo de carriles (X), la duración del período de análisis (T), la capacidad del grupo de carriles (c) y el tipo de control del semáforo, que se refleja mediante el parámetro del control (k). En la ecuación se supone que no hay demanda insatisfecha que cause filas iniciales al inicio del período de análisis (T). Finalmente, el término de la demora por incremento es válido para todos los valores de X, incluidos los grupos de carriles alta-mente sobresaturados.

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8KIX}{cT}} \right] \quad (1.1.32)$$

Dónde:

T= duración del período de análisis T= 0.25 [h]

K= factor de demora incremental. Depende del ajuste de los controladores en intersecciones accionadas (k = 0,5 para prefijadas).

c=capacidad del grupo de carriles i [veh/h]

l= factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba, considera los semáforos ubicados antes de la intersección. (Para intersecciones aisladas l=1,0; para intersecciones no aisladas ver ecuación 1.1.33).

X = Grado de saturación (relación volumen- capacidad v/c)

$$l = 1,0 - 0,91X_u^{2,68} \leq 1,0 \quad (1.1.33)$$

Dónde:

Xu = Grado de saturación (relación volumen- capacidad v/c) en la intersección antes del acceso

➤ **Demora por cola inicial d3**

Cuando una cola residual, o remanente, existe antes del período de análisis T, los vehículos experimentan (los que llegan durante T) una demora adicional, debido a que la cola deberá desalojar primero la intersección.

En los casos en que $x > 1.0$ para un período de 15 minutos, el siguiente período empieza por una cola inicial llamada Qb en vehículos. Qb se debe observar al inicio del rojo. Cuando Qb es diferente de cero (0), los vehículos que llegan durante el período de análisis experimentarán una demora adicional por la presencia de la cola inicial.

Una forma generalizada de la demora por formación de la cola, d3, se define en la Ecuación 1.1.34, que proporciona el valor de la demora por vehículo en la cola inicial (en segundos) cuando ésta tiene el tamaño Qb en el comienzo del período de análisis T. Al calcular esta demanda residual, será aplicable uno de los siguientes cinco casos:

- **Caso 1:** $Q_{bi}=0$, el periodo de análisis no es saturado.
- **Caso 2:** $Q_{bi}=0$, el periodo de análisis es saturado.
- **Caso 3:** $Q_{bi} > 0$, Q_{bi} se disipa totalmente durante T, $Q_{bi} + qT < Tc_i$
- **Caso 4:** $Q_{bi} > 0$, Q_{bi} disminuye, existe aún demanda insatisfecha (decreciente) al final del período T, $qT < Tc_i$
- **Caso 5:** $Q_{bi} > 0$, existe aún demanda insatisfecha (creciente), la demanda sobrepasa la capacidad al final de T, $qT > Tc_i$

Dónde:

q =demanda flujo $q = v/3,600$ (veh/s)

Q_{bi} = cola inicial al principio del período T [veh]

c_i = capacidad del grupo de carriles i [veh/h]

T= duración del período de análisis [h]

Para los casos I y II cuando $Q_b=0$, cuando no hay cola inicial, la Demora por cola inicial es cero ($d_3=0$).

Para los casos III, IV y V, La demora d_3 está dado por:

$$d_3 = \frac{1800 Q_{bi}(1 + u_i)t_i}{T * c_i} \quad (1.1.34)$$

Donde

Q_{bi} = cola inicial al principio del período T [veh]
 c_i = capacidad del grupo de carriles i [veh/h]
 T = duración del período de análisis [h]
 t_i = duración de la demanda insatisfecha en T para grupo de carriles i [h]
 u_i = parámetro de demora para grupo de carriles i

Con

$$t_i = \min \left[T, \frac{Q_{bi}}{c_i [1 - \min(1, X_i)]} \right] \quad (1.1.35)$$

Si $t_i < T$, Entonces $u_i = 0$;
 Si $t_i = T$, Entonces:

$$u_i = 1 - \frac{T c_i}{Q_{bi} [1 - \min(1, X_i)]} \quad (1.1.36)$$

Dónde:

X_i = Grado de saturación (relación volumen- capacidad v/c) para grupo de carriles i
 c_i = capacidad del grupo de carriles i [veh/h]
 T = duración del período de análisis [h]

Se calcula la demora total promedio por vehículo d con la ecuación (1.1.28).

Entonces se puede determinar el nivel de servicio del grupo del grupo de carril con la Tabla 1.1.1.

Paso 11: Determinar la Capacidad en el acceso

$$c_A = \sum_{i=1}^{n_A} (c_i) \quad (1.1.37)$$

Dónde:

c_A = Capacidad para el acceso A (veh/h)

c_i = Capacidad de los grupos de carril (veh/h)

Paso 12: Determinar la Demora en el acceso

Habiendo determinado la demora promedio para cada grupo de carriles, ahora podemos especificar la demora promedio ponderando las demoras de todos los grupos de carriles en ese acceso. La demora del acceso está dada como

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} v_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} (v_i)} \quad (1.1.38)$$

Dónde:

d_A = Demora para el acceso A (seg/veh)

d_{ia} = Demora ajustada para el grupo de carriles i en el acceso A (seg/veh)

v = Tasa de flujo ajustada para el grupo de carriles (veh/h)

n_A = Número de grupos de carriles en el acceso A (Carriles)

Entonces se puede determinar el nivel de servicio del grupo del grupo de carril con la tabla de niveles de servicio Tabla 1.1.1.

Paso 13: Determinar la Demora en la intersección

La demora promedio en la intersección se encuentra de una manera similar a la demora del acceso. En este caso, el promedio ponderado en todos los accesos, es la demora promedio de la intersección. Por lo tanto la demora promedio de la intersección está dada como;

$$d_I = \frac{\sum_{A=1}^{A_n} (d_A v_A)}{\sum_A (v_A)} \quad (1.1.38)$$

Dónde:

d_I = Demora promedio para la intersección (seg/veh)

d_A = Demora ajustada (seg/veh)

v_A = Tasa de flujo ajustada para el acceso A (veh/h)

A_n = Número de grupos de accesos en la intersección

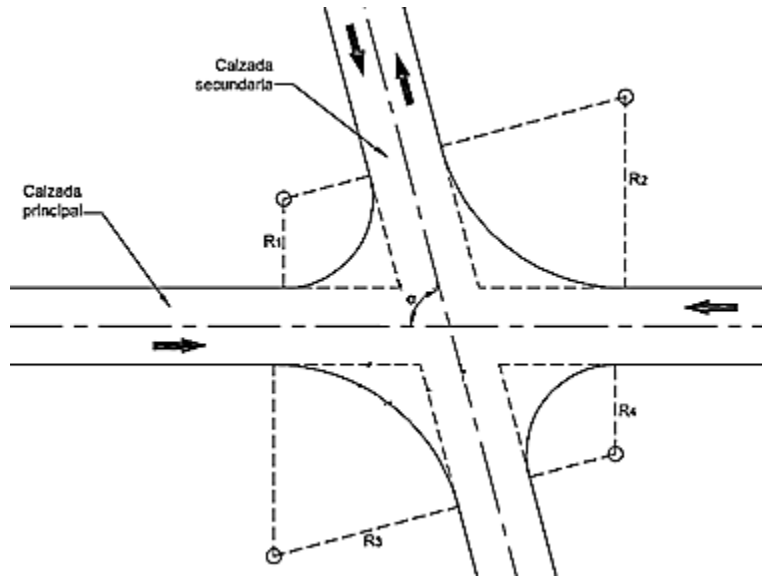
Entonces se puede determinar el nivel de servicio de toda la intersección con la tabla de niveles de servicio Tabla 1.1.1.

1.2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO

El análisis geométrico que se resumirá a continuación se presenta en el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS.

Sin canalizar

Figura 1.2.1 Esquema base intersección en cruz “+” o en equis “X”



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Criterios básicos de diseño:

1. **El ángulo de entrada (α):** Debe estar comprendido entre sesenta y noventa grados ($60^\circ - 90^\circ$).
2. **Radios:** Los Radios mínimos de las curvas R1, R2, R3 y R4 debe corresponder al Radio mínimo de giro del vehículo de diseño seleccionado.

Estos vehículos de diseño y sus respectivos radios se describen en el capítulo 2 del Manual INVIAS. A continuación se muestra la descripción de cada vehículo de diseño y se muestran los radios de giro para ellos.

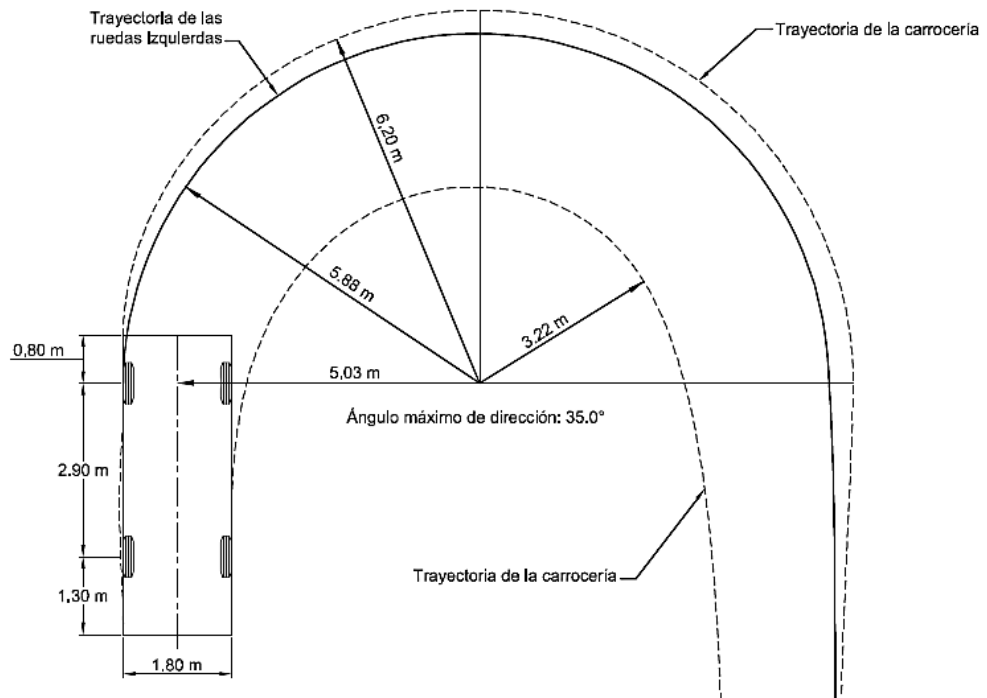
Tabla 1.2.1. Nomenclatura empleada para la descripción de los vehículos de diseño.

Categoría	Descripción
Vehículo Liviano	-

Bus Mediano	-
Bus Grande	-
2	Camión de dos (2) ejes- Camión sencillo
3	Camión de tres (3) ejes- Dobletroque
3S2	Tractocamión de tres (e) ejes con semirremolque de dos (2) ejes

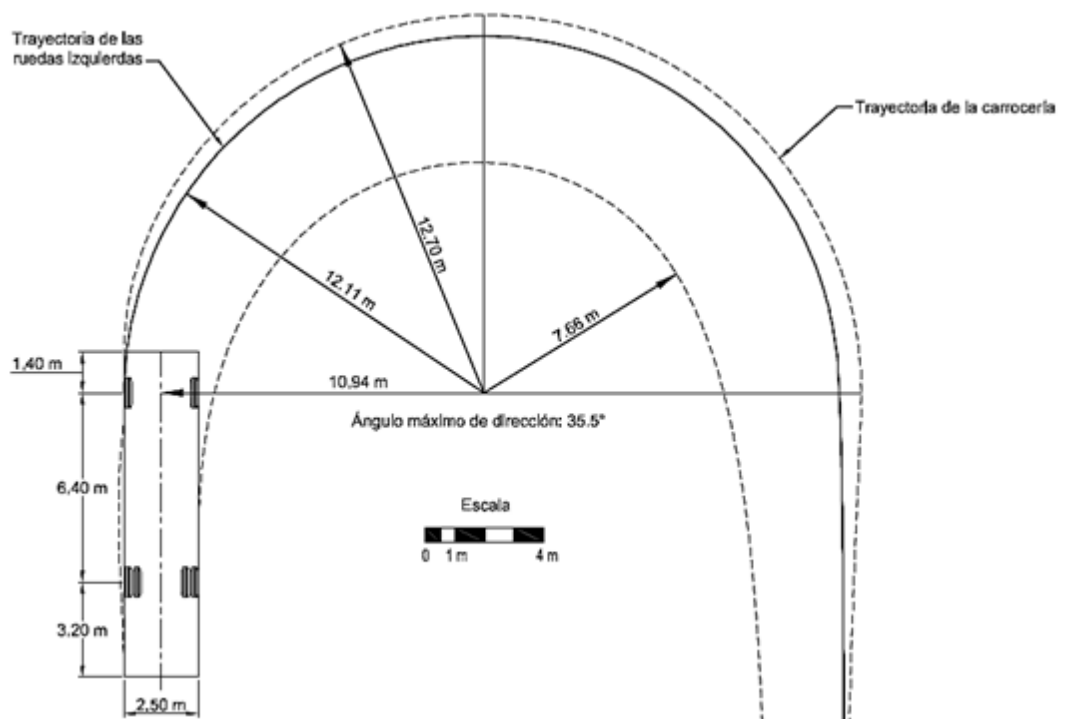
Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Figura 1.2.2 Vehículo liviano



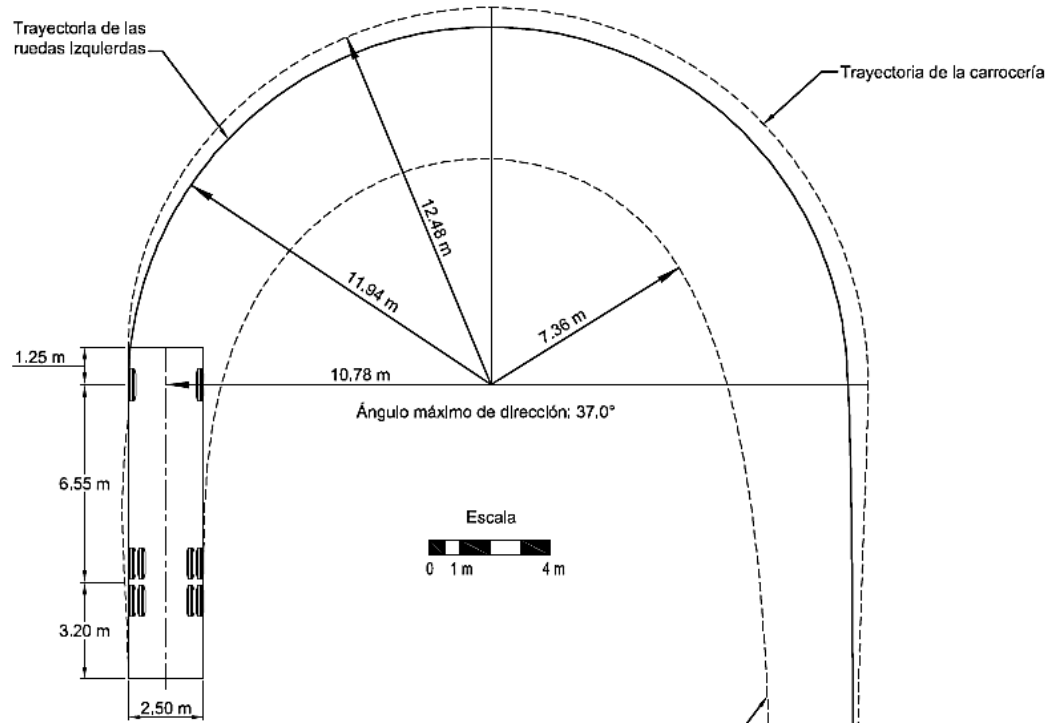
Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Figura 1.2.3 Camión categoría 2



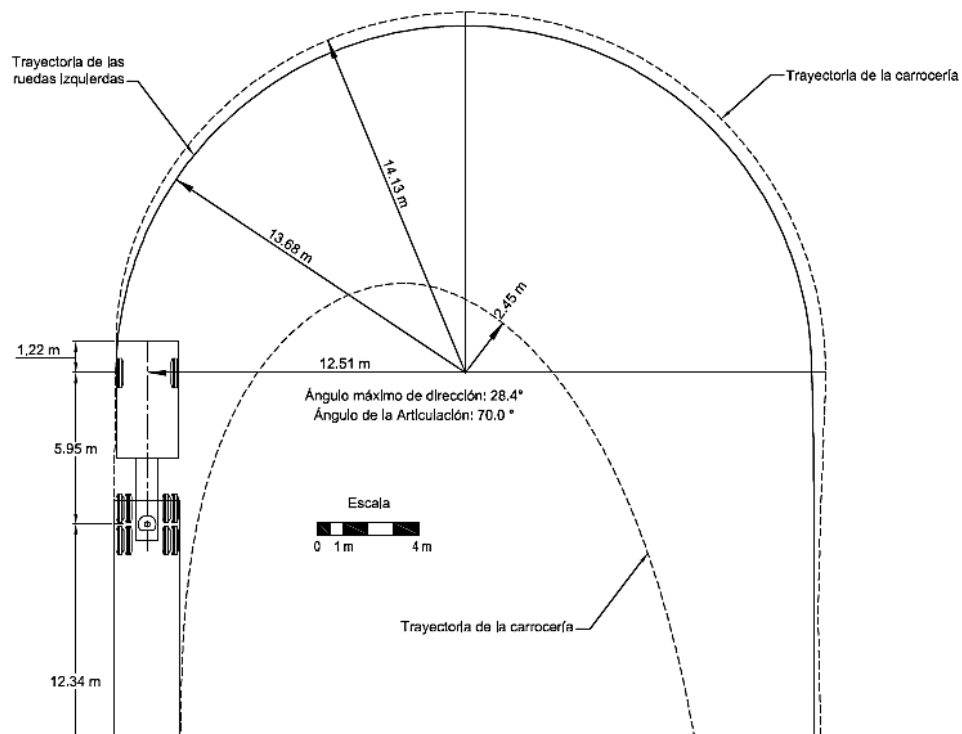
Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Figura 1.2.4 Camión categoría 3



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Figura 1.2.5 Camión Categoría 3S2



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

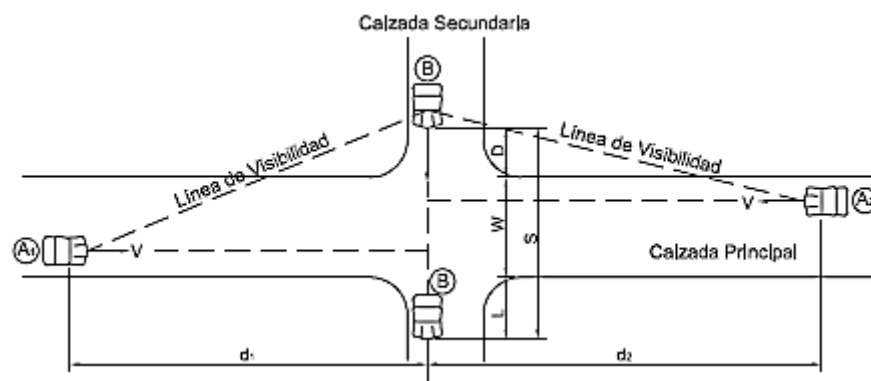
- 3. Pendiente:** La pendiente longitudinal de las calzadas que confluyen debe ser, en lo posible, menor de cuatro por ciento (4.0 %) para facilitar el arranque de los vehículos que acceden a la calzada principal.
- 4. DC:** La intersección debe satisfacer la Distancia de visibilidad de cruce (DC).

Distancia de Visibilidad de cruce:

La presencia de intersecciones rurales a nivel, hace que potencialmente se puedan presentar una diversidad de conflictos entre los vehículos que circulan por una y otra calzada. La posibilidad de que estos conflictos ocurran, puede ser ampliamente reducida mediante la provisión apropiada de distancias de visibilidad de cruce y de dispositivos de control acordes. El conductor de un vehículo que se aproxima por la calzada principal a una intersección a nivel, debe tener visibilidad, libre de obstrucciones, de toda la intersección y de un tramo de la calzada secundaria de suficiente longitud que le permita reaccionar y efectuar las maniobras necesarias para evitar una colisión. La distancia mínima de visibilidad de cruce considerada como segura, bajo ciertos supuestos sobre las condiciones físicas de la intersección y del comportamiento del conductor, se halla

relacionada directamente con la velocidad de los vehículos y las distancias recorridas durante el tiempo percepción - reacción y el correspondiente de frenado. Por lo anterior, en las intersecciones a nivel deberá existir visibilidad continua a lo largo de las calzadas que se cruzan, incluyendo sus esquinas, que permita a los conductores que simultáneamente se aproximan, verse mutuamente con la debida anticipación y así evitar colisiones. Ante una situación de éstas, el conductor que circula por la calzada secundaria deberá tener la posibilidad de disminuir la velocidad y parar en la intersección con la calzada principal. Las relaciones entre el espacio, el tiempo y la velocidad, definen el triángulo de visibilidad requerido, libre de obstrucciones, o el establecimiento de las modificaciones necesarias en la velocidad de aproximación a los accesos cuando se usa un triángulo de visibilidad de dimensiones menores a la requerida. El triángulo de visibilidad en la aproximación a los accesos de una intersección se muestra en la Figura 1.2.6. Por lo tanto, cualquier objeto ubicado dentro del triángulo de visibilidad, lo suficientemente alto, que se constituya en una obstrucción a la visibilidad lateral, deberá ser removido. Por otra parte, después de que un vehículo se ha detenido en el acceso de una intersección por la presencia de una señal de "PARE", su conductor deberá tener la suficiente distancia de visibilidad para realizar una maniobra segura a través del área de la intersección, ya sea para cruzar de frente la calzada principal o para girar a la derecha o a la izquierda sobre ella. Simultáneamente se deberá proveer la suficiente distancia de visibilidad a los conductores que viajan sobre la calzada principal, la cual deberá ser al menos igual a la distancia que recorre el vehículo sobre la calzada principal durante el tiempo que le toma al vehículo de la calzada secundaria realizar su maniobra de cruce o giro. La Figura 2.9 muestra el triángulo de visibilidad requerido bajo esta condición.

Figura 1.2.6 Distancia de visibilidad en intersecciones. Triángulo mínimo de visibilidad



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

La distancia de visibilidad para una maniobra de cruce de la calzada principal por un vehículo detenido en la calzada secundaria, está basada en el tiempo que le toma a este vehículo en despejar la intersección, y la distancia que recorre un vehículo sobre la

calzada principal a la velocidad de diseño durante el mismo tiempo. La distancia mínima de visibilidad de cruce necesaria a lo largo de la calzada principal se debe calcular mediante la siguiente expresión:

$$d = 0,278 * V_e * (t_1 + t_2) \quad (1.2.1)$$

Dónde:

d: Distancia mínima de visibilidad lateral requerida a lo largo de la calzada principal, medida desde la intersección, en metros.

Corresponde a las distancias d1 y d2 de la Figura 1.2.6.

Ve: Velocidad Específica de la calzada principal, en km/h. Corresponde a la Velocidad específica del elemento de la calzada principal inmediatamente antes del sitio de cruce.

t1: Tiempo de percepción – reacción del conductor que cruza, adoptado en dos y medio segundos (2.5 s).

t2: Tiempo requerido para acelerar y recorrer la distancia S, cruzando la calzada principal, en segundos.

En t1 está incluido el tiempo necesario para que el conductor de un vehículo detenido por el "PARE" sobre la vía secundaria vea en ambas direcciones sobre la vía principal y deduzca si dispone del intervalo suficiente para cruzarla con seguridad y para que engrane su velocidad, previamente al arranque. El tiempo t2 necesario para recorrer la distancia S depende de la aceleración de cada vehículo. La distancia S se calcula como la suma de:

$$S = D + W + L \quad (1.2.2)$$

Dónde:

D: Distancia entre el vehículo parado y la orilla de la calzada principal, adoptada como tres metros (3.0 m).

W: Ancho de la calzada principal, en metros.

L: Longitud total del vehículo, en metros. Por lo tanto, el valor de t2, se debe obtener de la expresión:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2 * (D + W + L)}{9,8 * a}} \quad (1.2.3)$$

Dónde:

D: Tres metros (3.0 m).

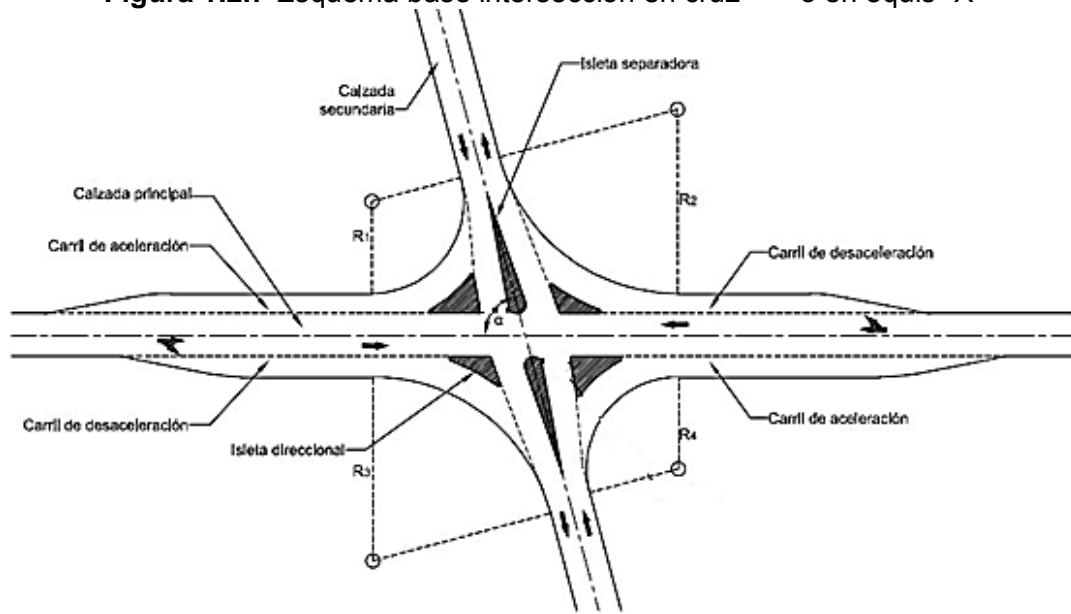
W: Ancho de la calzada principal o anchura del total de carriles, en metros.

- L: Depende del tipo de vehículo, así:
- 20.89 m para vehículos articulados (tracto camión son semirremolque).
 - 11.00 m para camión de dos ejes
 - 5.00 m para vehículos livianos

- a: Aceleración del vehículo que realiza la maniobra de cruce, en m/s².
- 0.055 para vehículos articulados.
 - 0.075 para camiones de dos ejes (2).
 - 0.150 para vehículos livianos.

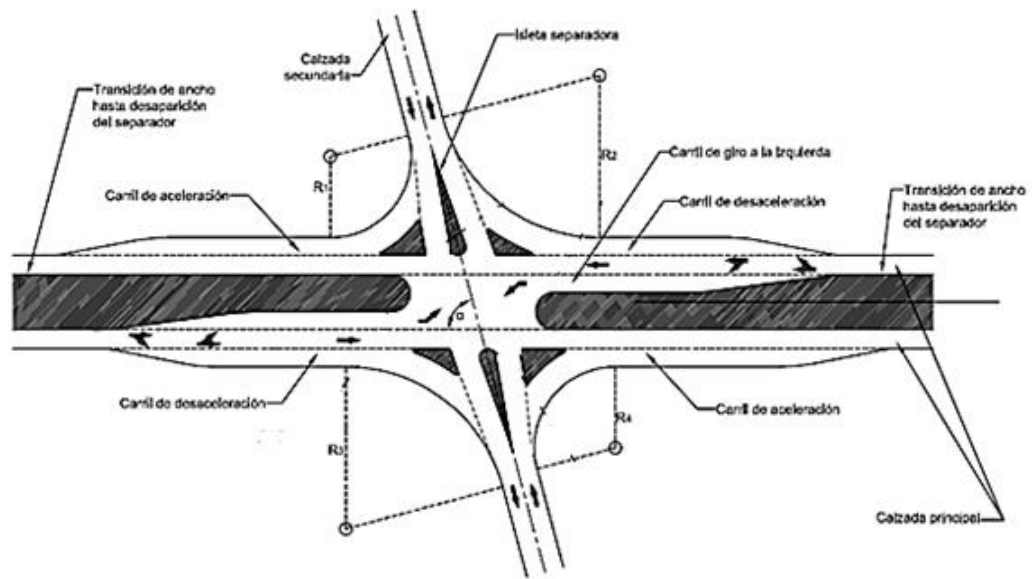
Canalizadas

Figura 1.2.7 Esquema base intersección en cruz “+” o en equis “X”



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Figura 1.2.8 Esquema base intersección en cruz “+” o en equis “X” con separador y carril de giro a la izquierda



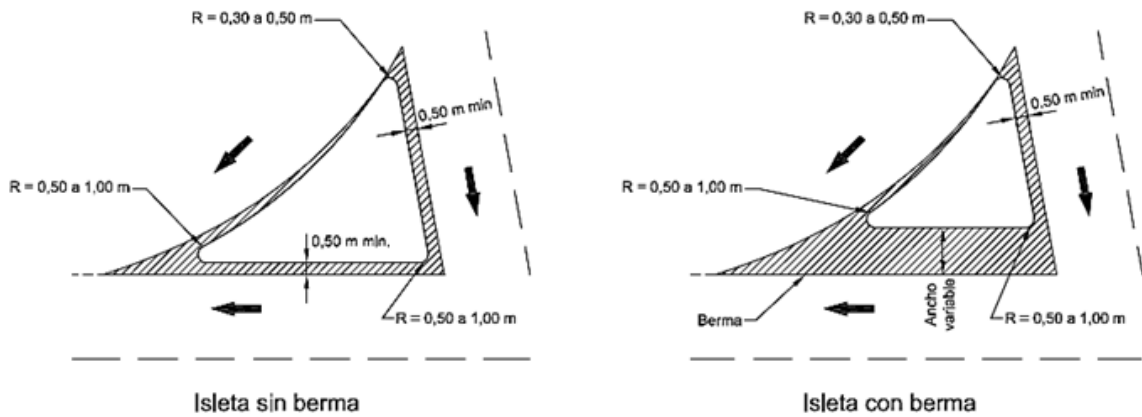
Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Criterios básicos de diseño:

1. **El ángulo de entrada (α):** Debe estar comprendido entre sesenta y noventa grados ($60^\circ - 90^\circ$).
2. **Radios:** Igual que en las intersecciones sin canalizar
3. **Pendiente:** La pendiente longitudinal de las calzadas que confluyen debe ser, en lo posible, menor de cuatro por ciento (4.0 %) para facilitar el arranque de los vehículos que acceden a la calzada principal.
4. **DC:** Igual que para las intersecciones sin Canalizar
5. **Isletas**

5.1 Isletas Tipo Direccionales. Se muestran en la Figura siguiente. Son de forma triangular, sirven de guía al conductor a lo largo de la intersección indicándole la ruta por seguir.

Figura 1.2.9 Isletas direccionales



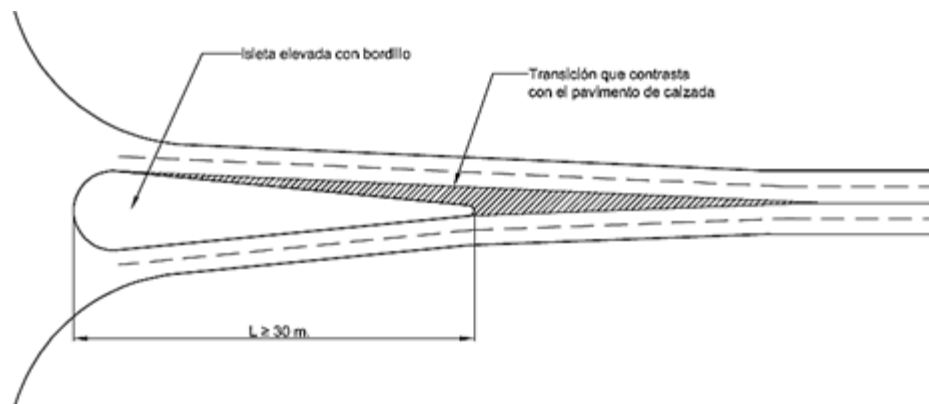
Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Criterios de diseño

Deben tener una superficie mínima de cuatro con cinco metros cuadrados (4.5 m²) preferiblemente siete metros cuadrados (7.0 m²). A su vez, los triángulos deben tener un lado mínimo de dos metros con cuarenta centímetros (2.40 m) y preferiblemente de tres metros con sesenta centímetros (3.60 m).

5.2 Isletas Tipo Separadoras. Tienen forma de lágrima y se usan principalmente en las cercanías de las intersecciones, en carreteras no divididas. El esquema se muestra en la Figura 1.2.10.

Figura 1.2.10 Isletas separadoras



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

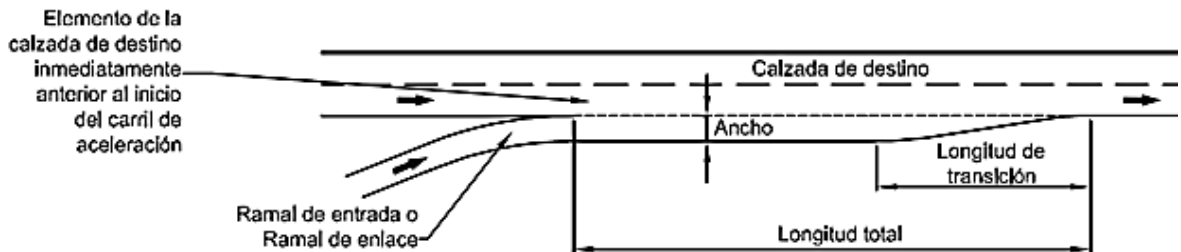
Criterios de diseño

Deben tener una longitud mínima de treinta metros (30 m) y preferiblemente de cien metros (100 m) o más, sobre todo cuando sirven a su vez para la introducción de un carril de giro. Si no pudieran tener la longitud recomendada deben ir precedidas de un pavimento rugoso notorio, resaltos sobre la calzada o, al menos, de marcas bien conservadas sobre el pavimento.

6. Diseño de carriles de cambio de velocidad:

➤ Carriles de aceleración

Figura 1.2.11 Esquema de un carril de aceleración.



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

El ancho de un carril de aceleración debe corresponder al del carril adyacente, pero no menor de tres metros con treinta centímetros (3.30 m).

Tabla 1.2.2. Longitud mínima del carril de aceleración

VÍA PRIMARIA (CALZADA DE DESTINO)								
Velocidad específica del ramal de entrada ⁽¹⁾ o de enlace ⁽²⁾ (km/h)		PARE	25	30	40	50	60	80
Velocidad Específica del elemento de la calzada de destino inmediatamente anterior al inicio del carril de aceleración (km/h)	Longitud de la transición (m)	Longitud total del carril de aceleración, incluyendo la transición (m)						
50	45	90	70	55	45	-	-	-
60	55	140	120	105	90	55	-	-
70	60	185	165	150	135	100	60	-
80	65	235	215	200	185	150	105	-
100	75	340	320	305	290	255	210	105
120	90	435	425	410	390	360	300	210
VÍA SECUNDARIA (CALZADA DE DESTINO)								
50	45	55	45	45	45	-	-	-
60	55	90	75	65	55	55	-	-
70	60	125	110	90	75	60	60	-
80	65	165	150	130	110	85	65	-
100	75	255	235	220	200	170	120	75
120	90	340	320	300	275	250	195	100

Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

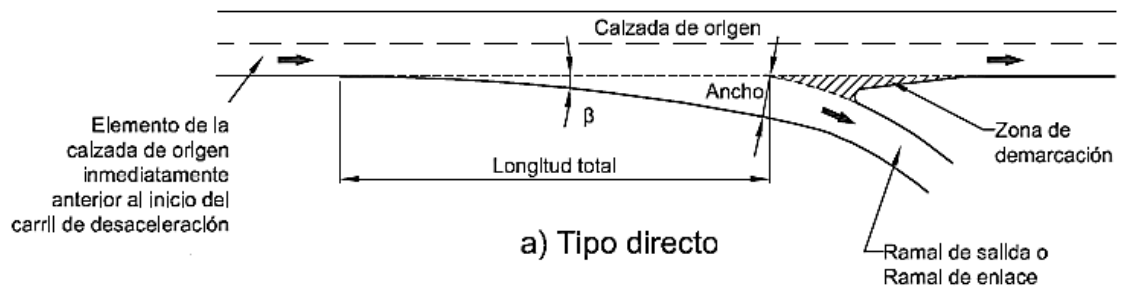
➤ Carriles de desaceleración

El ancho de un carril de desaceleración debe corresponder al del carril adyacente, pero no menor de tres metros con treinta centímetros (3.30 m).

- Tipo directo

Está constituido por un carril recto (o curvo de gran radio), que forma en el borde de la calzada principal un ángulo muy pequeño (β) (dos a cinco grados (2° a 5°)) y empalma con el ramal de salida o enlace.

Figura 1.2.12 Tipo directo

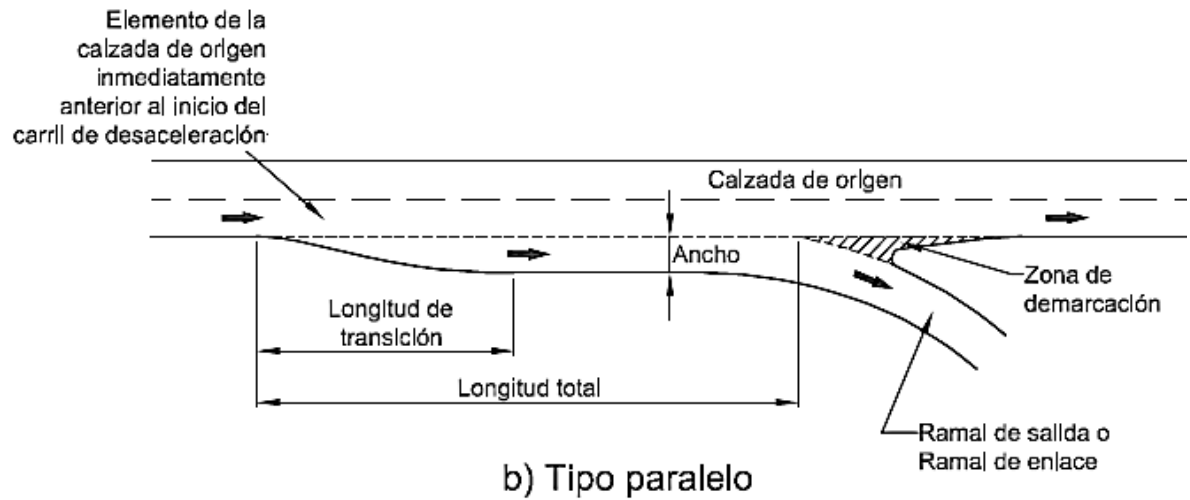


Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

- Tipo paralelo

Es un carril adicional que se añade a la vía principal, con una zona de transición de anchura variable.

Figura 1.2.12 Tipo paralelo



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

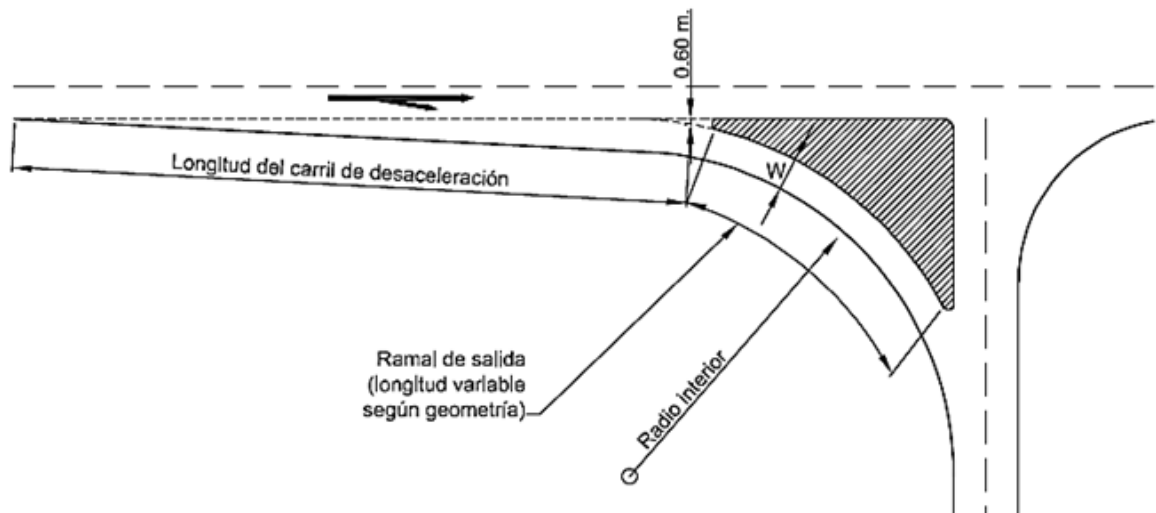
Tabla 1.2.3. Longitud mínima del carril de desaceleración

Velocidad específica del ramal de salida ⁽¹⁾ o de enlace ⁽²⁾ (km/h)		PARE	25	30	40	50	60	80
Velocidad Específica del elemento de la calzada de origen inmediatamente anterior al inicio del carril de desaceleración (km/h)	Longitud de la transición (m)	Longitud total del carril de desaceleración, incluyendo la transición (m)						
50	45	70	50	45	45	-	-	-
60	55	90	70	70	55	55	-	-
70	60	105	90	90	75	60	60	-
80	65	120	105	105	90	75	65	-
100	75	140	125	125	110	95	80	75
120	90	160	145	145	130	130	110	90

Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

7. Ramal de salida o ramal de entrada

Figura 1.2.13 Ancho del ramal de salida o de entrada



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

- Ancho de calzada. Se debe cumplir con las dimensiones ilustradas en la Figura 1.2.13 y consignadas en la Tabla 1.2.4.

- Peralte. Su valor debe estar entre dos y cuatro por ciento (2% - 4%) de acuerdo con el bombeo de las calzadas enlazadas.

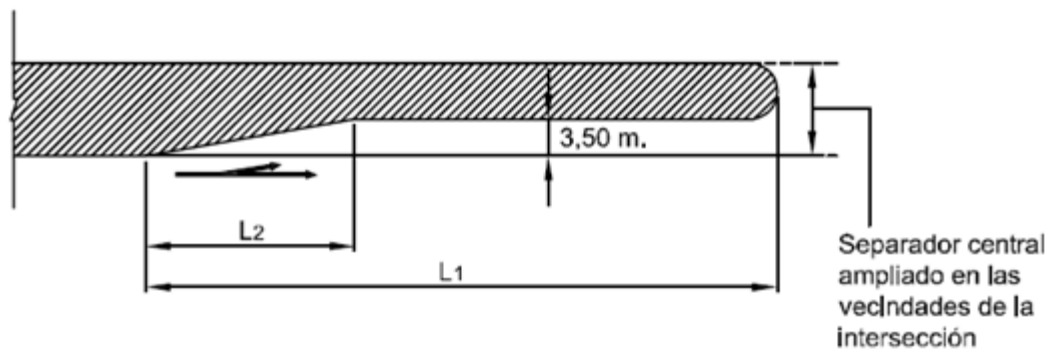
Tabla 1.2.4 Ancho de calzada en ramales de salida o de entrada enlace en función del Radio interior

RADIO INTERIOR (m)	ANCHO DE UN CARRIL SENCILLO, W (m)	ANCHO DE CALZADA CON UN ÚNICO CARRIL CON ESPACIO PARA SOBREPASAR UN VEHÍCULO ESTACIONADO, W (m)
15	6,20	9,50
20	5,70	8,90
25	5,30	8,40
30	5,00	8,00
40	4,60	7,40
50	4,50	7,00
75	4,50	6,50
100	4,50	6,20
150	4,50	6,10
Derecho	4,50	6,00

Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Carril de giro a la izquierda

Figura 1.2.14 Esquema carril de giro a la izquierda



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Tabla 1.2.5 Carril de giro a la izquierda

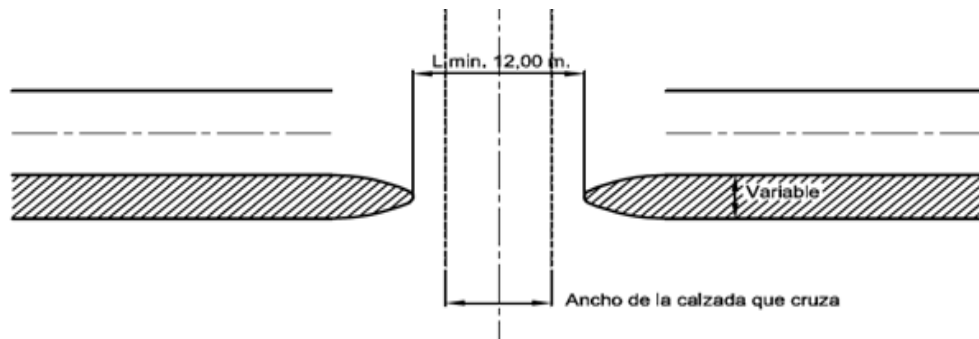
VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA CALZADA ADYACENTE AL CARRIL DE GIRO A LA IZQUIERDA (km/h)	L ₁ (m)	L ₂ (m)
50	80	30
60	100	30
80	125	45
100	155	45

Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

8. Abertura del separador central

Ya sea que se trate de una intersección en “T” o en “+”, la abertura del separador debe ser por lo menos igual al ancho de la calzada que cruza (pavimento más bermas) y en ningún caso menor de doce metros (12 m) de ancho. Si la calzada que cruza no tiene bermas la abertura del separador será igual al ancho del pavimento más dos metros con cincuenta centímetros (2.50 m).

Figura 1.2.15 Abertura del separador central



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

2. INTERSECCIONES CONTROLADAS POR PARE TIPO T Y +

2.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO:

La metodología que se explicará a continuación es la descrita por la Highway Capacity Manual 2010 para intersecciones de doble sentido controladas por pare tipo T y +, en sus capítulos 19 y 32.

Introducción:

Las intersecciones de doble sentido controladas son comunes en los EEUU. Una configuración típica es una intersección de cuatro accesos, en donde una calle – la calle principal- no es controlada, mientras que la otra calle – la calle menor- si es controlada por señales de parada. Otra configuración típica es una intersección de tres accesos, donde se controla el acceso único menor de la calle (es decir, el vástago de la configuración T) por una señal de parada.

El análisis de capacidad de las IDSC requiere una descripción clara y la comprensión de la interacción entre los viajeros en el acceso de menor importancia, o el acceso controlado con parada, con los viajeros en la calle principal. Los procedimientos descritos en este capítulo se basan principalmente en mediciones de campo de rendimiento IDSC en los Estados Unidos que se han aplicado a un modelo de brecha aceptable desarrollado y perfeccionado en Alemania.

Análisis de límites de intersección y modos de viajes

El análisis de los límites de la intersección para una IDSC se supone que es el de una intersección aislada (es decir, no se ve afectado por las intersecciones de aguas arriba o aguas abajo), con la excepción de las intersecciones IDSC que se encuentran dentro de 0,25 millas de una intersección señalizada (el acceso de la calle principal).

Criterios de nivel de servicio

El nivel de servicio (NDS) para una IDSC se determina por el control de la demora calculada o medida. Para los vehículos de motor, el NDS se determina para cada movimiento de la calle menor (o movimiento compartido), así como para el giro a la izquierda de la calle principal utilizando criterios que figuran en el Tabla 2.1.1.

El NDS no está definido por la intersección en su conjunto o por el acceso de la calle principal por tres razones principales:(a) Se supone que los vehículos de la calle principal experimentan demora cero,(b) el número desproporcionado de los vehículos de la calle principal en una intersección IDSC típica distorsiona el promedio ponderado de todos los movimientos, lo que resulta en una demora media muy baja en general para todos los

vehículos y(c) la demora resultante baja puede enmascarar importantes deficiencias en el NDS para movimientos menores.

En el Tabla 2.1.1 el NDS F está asignado al movimiento, si la relación volumen-capacidad para el movimiento excede de 1,0, independientemente, del control de demora.

Tabla 2.1.1 Criterio Nivel se servicio

NDS Por relación Vol/ Cap		DEMORA (Seg/Veh)
≤ 1,0	>1,0	
A	F	≤ 10.0
B	F	>10.0 y ≤ 15.0
C	F	>15.0 y ≤ 25.0
D	F	>25.0 y ≤ 35.0
E	F	>35.0 y ≤ 50.0
F	F	> 50.0

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Datos de entrada

El análisis de una intersección IDSC requiere los siguientes datos:

1. Número de carriles en cada acceso
2. Porcentaje de vehículos pesados
3. Cualquiera de las siguientes:
 - a. La demanda de flujo para cada movimiento vehicular que entra y cada movimiento paso de peatones durante el pico de 15 minutos, o
 - b. La demanda de flujo para cada movimiento vehicular que entra y cada movimiento paso de peatones durante la hora pico y un factor de hora pico de la hora;
4. Factores geométricos especiales tales como:
 - a. Aspectos únicos de canalización,
 - b. La pendiente del acceso
 - c. Existencia de señales aguas arriba
 - d. Ancho de carriles

Metodología

Las intersecciones controladas por pare requieren que solo los conductores de la calle menor paren antes de proceder a la intersección. Los conductores de giro izquierdo de la

calle principal pueden tener que ceder al aproximarse a los movimientos directos y de giro a la derecha de esta calle, pero no están obligados a parar en ausencia de tráfico.

Las metodologías presentadas se basan en los datos de entrada requeridos enumerados anteriormente para calcular la capacidad potencial de cada pequeño movimiento, que es en última instancia, ajustada, en su caso, para calcular la capacidad de movimiento para cada uno de estos. La capacidad de movimiento puede ser utilizado para estimar el control de demora por el movimiento, por acceso, y para la intersección como un todo.

En las IDSC, los conductores en los accesos controlados por parada necesitan seleccionar huecos en el flujo principal de la calle a fin de ejecutar el cruce o las maniobras de giro. En la presencia de una cola, cada conductor en el acceso controlado también debe utilizar algún tiempo para pasar a la primera posición de la cola en donde se preparan para evaluar huecos en el flujo principal de la calle. Por lo tanto, la capacidad de los accesos controlados se basa principalmente en tres factores: la distribución de los huecos en la calle principal, el juicio del conductor en la selección de las brechas a través de las cuales se ejecutan las maniobras deseadas, y los avances de seguimiento requeridos por cada conductor en una cola.

El modelo de capacidad base asume que las diferencias en los movimientos conflictivos están distribuidas al azar. Cuando las señales de tráfico en la calle principal se encuentran a 0,25 millas de la intersección tema, los flujos no pueden ser al azar, pero es probable que tenga alguna estructura pelotón.

Para el modo de análisis del automóvil, la metodología aborda una serie de circunstancias especiales que puedan existir en las intersecciones IDSC, incluyendo las siguientes:

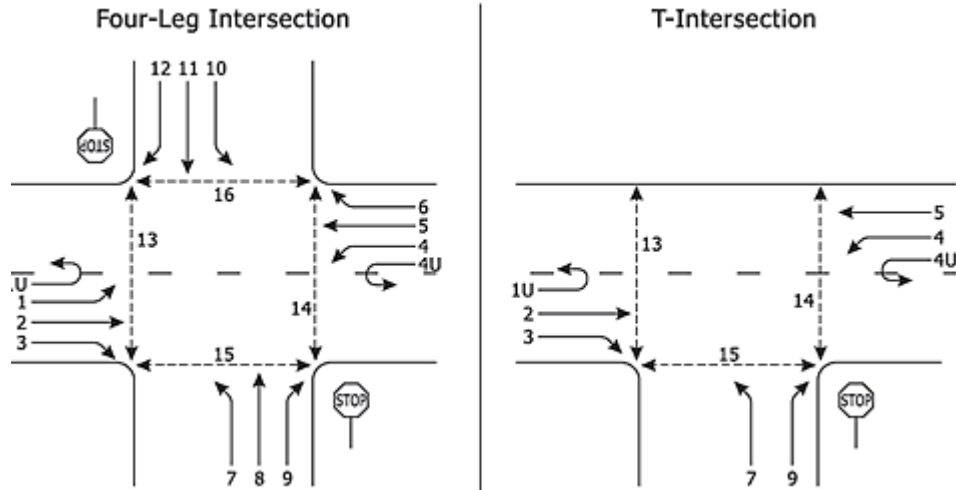
- Dos etapas de brechas aceptables,
- Accesos con carriles compartidos,
- La presencia de señales de tráfico aguas arriba

Prioridad relativa de los diferentes movimientos en la intersección

Cada movimiento tiene una clasificación diferente en una jerarquía de prioridad. El proceso de brechas aceptables evalúa con los términos de impedancia a través de la orden de salidas. Por lo general, los procesos de brechas aceptables suponen que los conductores en la calle principal no se ven afectados por los movimientos de la calle menor.

En el uso de la metodología de intersecciones DSC, la prioridad del derecho de paso a cada movimiento debe ser identificado. Algunos movimientos tienen prioridad absoluta, mientras que otros tienen que ceder o rendirse a los movimientos de orden superior.

Figura 2.1.1 numeración de los movimientos tanto para T y X



Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Los movimientos pueden ser clasificados por derecho de prioridad de paso de la siguiente manera:

- **Movimientos de rango 1:**
Incluye el tráfico directo en la calle principal, el giro a la derecha de la calle principal, y los movimientos de los peatones que cruzan la calle menor.
- **Movimientos de rango 2:**
Incluye los giros a la izquierda de la calle principal, los giros a la derecha de la calle menor y los peatones que cruzan la calle principal.
- **Movimientos de rango 3:**
Incluye el tráfico directo de la calle menor (en el caso de las intersecciones de 4 accesos) y el giro a la izquierda de la calle menor (en el caso de la intersección T).
- **Movimientos de rango 4 :**
Incluye el giro a la izquierda de la calle menor. Este rango solo ocurre en las intersecciones de 4 accesos.

Avance crítico y avance de seguimiento

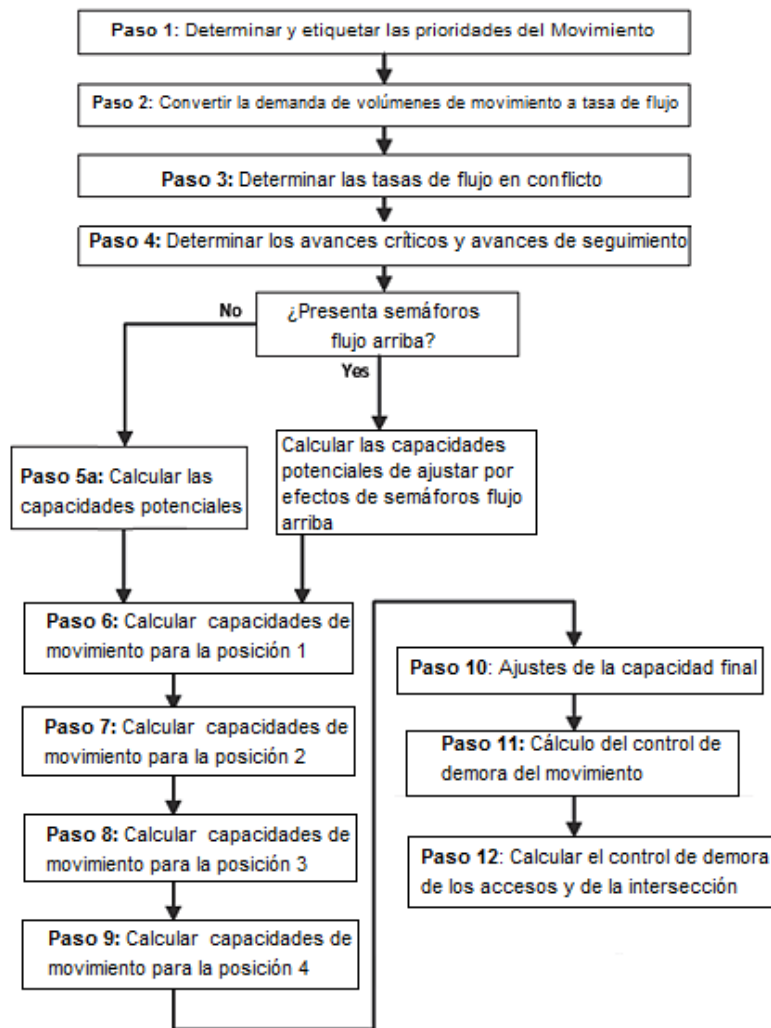
El avance crítico t_c se define como el intervalo de tiempo mínimo de la corriente de tráfico en la calle principal que permite la entrada a la intersección para los vehículos de la calle menor (4). Por lo tanto, el avance crítico de los conductores es el mínimo avance que sería aceptable.

El tiempo entre la salida de un vehículo de la calle menor y la salida del vehículo siguiente con el mismo avance de la calle principal, bajo una condición de cola continua en la calle menor, se llama avance de seguimiento t_f . Así, t_f es el avance que define la velocidad de flujo de saturación para el acceso si no hay vehículos en conflicto sobre los movimientos de más alto rango.

Modo automóvil

La metodología de las intersecciones DSC para el modo de automóvil se aplica a través de una serie de pasos que requieren los datos de entrada relacionados con la información de movimiento de flujo y las condiciones geométricas, la priorización de los movimientos, el cálculo de las capacidades potenciales y la incorporación de los ajustes para calcular las capacidades de movimiento, y la estimación del control de demoras y longitudes de cola. Estos pasos se muestran en la figura 2.1.2.

Figura 2.1.2 Metodología en intersecciones controladas con pare



Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Paso 1: Determinar y etiquetar las prioridades del Movimiento

La prioridad de cada movimiento en una intersección IDSC debe ser identificada para designar el rango apropiado de cada movimiento para los pasos futuros en el proceso de análisis. Este paso en el proceso también identifica para el analista, la secuencia en la que los cálculos de capacidad se completarán. Debido a que la metodología se basa en el uso de prioridades de las brechas por vehículos en una intersección IDSC, es importante que los cálculos posteriores en el modo automóvil se hagan en un orden preciso. La secuencia de cómputo es la misma que la prioridad de uso de brechas y los movimientos son considerados en el orden siguiente:

1. Giros a la izquierda de la calle principal,
2. Giros a la derecha de la calle menor,

3. Movimientos directos de la calle menor,
4. Giros a la izquierda de la calle menor.

Paso 2: Convertir la demanda de volúmenes de movimiento a tasa de flujo

Para el análisis de las condiciones existentes, donde el pico en periodos de 15 minutos puede ser medido en campo, los volúmenes para el pico 15-min se convierten en tasa de demanda de flujo pico de 15-min multiplicando el pico 15-min por 4.

Para el análisis de las condiciones proyectadas o cuando los datos de 15-min no están disponibles, la tasa de demanda por hora para cada movimiento se convierte a tasa de demanda de flujo en vehículos por hora como se muestra en la ecuación 19-1, a través del uso del factor de hora pico para la intersección.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF} \quad (2.1.1)$$

Dónde:

v_i = tasa de demanda de flujo para el movimiento i (veh / h),

V_i = volumen de la demanda para el movimiento i (veh / h), y

PHF = factor de pico hora.

Paso 3: Determinar las tasas de flujo en conflicto

Cada movimiento en una intersección DSC se enfrenta a un conjunto de conflictos que están directamente relacionados con la naturaleza del movimiento. En los apartados siguientes se proporciona una ilustración del conjunto de conflictos que enfrenta cada pequeño movimiento (rango 2 hasta el rango 4) en una intersección DSC.

Estos cuadros ilustran el cálculo del parámetro V_{cx} - la tasa de flujo en conflicto para el movimiento x - es decir, la tasa de flujo total [en vehículos por hora (veh / h)] que es conflicto para x movimiento.

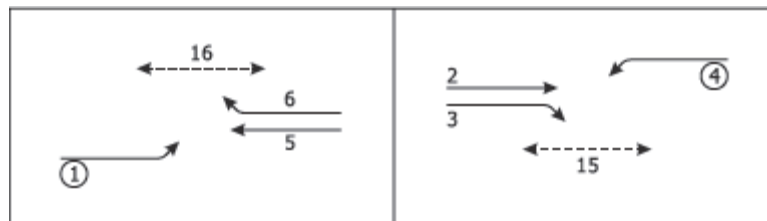
Los peatones también pueden entrar en conflicto con los movimientos vehiculares. Las tasas de flujo de peatones, también definido como v_x , con x señalando el acceso de la intersección que se cruza, debe ser incluido como parte de los flujos en conflicto. Los flujos de peatones se incluyen porque definen el comienzo o el final de un vacío que puede ser utilizado por un movimiento de la calle menor. Aunque reconoce algunas peculiaridades asociadas con los movimientos peatonales, este método tiene un enfoque homogéneo de los movimientos vehiculares y peatonales.

Movimientos de los giros a la izquierda de la calle principal (Rango 2- Movimientos 1 y 4)

La figura 2.1.3 ilustra los movimientos conflictivos, mientras que la ecuación 2.1.2 y la 2.1.3 calculan el flujo en conflicto que encuentran los conductores que giran a la izquierda en la calle principal.

El movimiento de giro a la izquierda de la calle principal está en conflicto con el flujo de total oposición que va a través y el de giro a la derecha, ya que estos vehículos deben cruzar el movimiento a través de oposición y fusionarse con los vehículos de giro a la derecha. El método no distingue entre el cruce y la fusión de los conflictos. Los vehículos que giran a la izquierda desde la calle principal y los giros opuestos a la derecha de la calle principal son considerados a fusionar, independientemente del número de carriles previstos en el camino de salida.

Figura 2.1.3 Definición de movimientos en conflicto en la calle mayor



Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

$$v_{c,1} = v_5 + v_6 + v_{16} \quad (2.1.2)$$

$$v_{c,A} = v_2 + v_3 + v_{15} \quad (2.1.3)$$

Si el giro a la derecha de la calle principal está separado por una isla triangular y tiene que cumplir con un "ceder el paso" o una señal de pare, los términos de v_6 y v_3 de la ecuación 2.1.2 y la 2.1.3, respectivamente, se suponen 0.

Movimientos de giro a la derecha de la calle menor (Rango 2- Movimientos 9 y 12)

La figura 2.1.3 ilustra los movimientos contradictorios encontrados para los conductores que giran a la derecha en la calle menor.

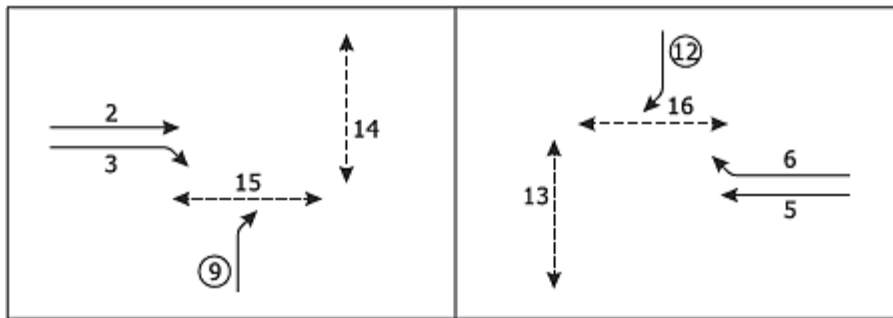
El movimiento de giro a la derecha de la calle menor se supone que está en conflicto con solo el movimiento directo de la calle principal donde más de un carro de esta calle está presente. Además, la mitad de cada movimiento de giro a la derecha de la calle principal

es considerado en conflicto con el movimiento de giro a la derecha de la calle menor, como algunos de estos giros tienden a impedir el movimiento del sujeto.

Debido a que los vehículos que giran a la derecha de la calle menor con frecuencia se funden en huecos en el carril de la derecha de la corriente en la que se convierten, por lo general, no requieren un hueco en todos los carriles de la corriente conflictiva (esta situación no puede ser cierto para algunos camiones y furgonetas con distancias entre ejes largos que invaden más de un carril en la toma de su turno).

Además, un hueco en el conjunto de tráfico de la calle principal puede ser utilizado simultáneamente por otro vehículo, tal como un vehículo de la calle principal.

Figura 2.1.3 Definición de movimientos en conflicto en la calle menor



Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

La ecuación 2.1.4 y 2.1.5 calculan el flujo en conflicto para los movimientos de giro a la derecha de la calle menor de dos carriles que entran a la calle principal, la ecuación 2.1.6 y 2.1.7 son usadas para 4 carriles en la calle principal y la 2.1.8 y 2.1.9 son usadas para 6 carriles de la calle principal. Si el giro a la derecha de la calle principal tiene su propio carril, el término v_3 o v_6 en estas ecuaciones se asume como cero. Los usuarios pueden suministrar diferentes distribuciones de carril de los términos v_2 y v_5 en las ecuaciones para las calles de cuatro y seis carriles principales, cuando son apoyados por los datos de campo.

Dos carriles calle mayor:

$$v_{c,9} = v_2 + 0,5v_3 + v_{14} + v_{15} \quad (2.1.4)$$

$$v_{c,12} = v_5 + 0,5v_6 + v_{13} + v_{16} \quad (2.1.5)$$

Cuatro carriles calle mayor:

$$v_{c,9} = 0,5v_2 + 0,5v_3 + v_{14} + v_{15} \quad (2.1.6)$$

$$v_{c,12} = 0,5v_5 + 0,5v_6 + v_{13} + v_{16} \quad (2.1.7)$$

Seis carriles calle mayor:

$$v_{c,9} = 0,5v_2 + 0,5v_3 + v_{14} + v_{15} \quad (2.1.8)$$

$$v_{c,12} = 0,5v_5 + 0,5v_6 + v_{13} + v_{16} \quad (2.1.9)$$

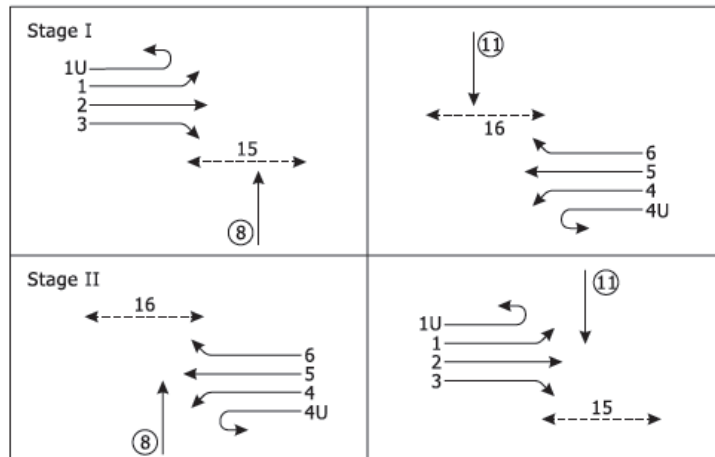
Movimientos a través de la calle menor (Rango 3-Movimientos 8 y 11)

Los movimientos a través de la calle menor tienen un conflicto directo de cruce o fusión con todos los movimientos de la calle principal, excepto el giro a la derecha en el acceso en análisis. Similar a los movimientos de giro a la derecha de la calle menor, la mitad de cada movimiento de giro a la derecha de la calle principal se considera en conflicto con el movimiento directo de la calle menor. Además, la investigación de campo ha demostrado que el efecto de los vehículos del giro a la izquierda es aproximadamente el doble de su número real.

Los movimientos a través de la calle menor pueden completar su maniobra en una o dos etapas. Una etapa de brecha aceptable no asume que alguna área de refugio mediana está disponible para los conductores de la calle menor para guardar y que los conductores de la calle menor evalúen las brechas en las dos direcciones de la calle principal al mismo tiempo.

Por el contrario, la brecha aceptable de dos etapas de escenario supone que un área de refugio mediana está disponible para los conductores de la calle menor. Durante la etapa 1, los conductores de la calle menor evalúan las brechas de la calle principal en flujo de tráfico del lado cercano (tránsito en conflicto desde la izquierda), durante la etapa 2, los conductores de la calle menor evalúan las brechas de la calle principal en el flujo de tráfico del lado lejano (tráfico en conflicto desde la derecha). Para los cruces de una etapa, los flujos conflictivos para la etapa 1 y 2 se combinan, para los cruces de dos etapas, los flujos conflictivos se consideran por separado.

Figura 2.1.4 Definición de movimientos en conflicto de los movimientos directos en la calle menor



Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

La ecuación 2.1.10 y 2.1.11 calculan el flujo en conflicto encontrado para los movimientos directos de la calle menor durante la etapa 1. Si hay un carril de giro a la derecha en la calle principal, los términos v_3 y v_6 en la ecuación se asumen como cero.

$$v_{c,I,8} = 2(v_1 + v_{1u}) + v_2 + 0,5v_3 + v_{15} \quad (2.1.10)$$

$$v_{c,I,11} = 2(v_4 + v_{4u}) + v_5 + 0,5v_6 + v_{16} \quad (2.1.11)$$

La ecuación 2.1.12 y 2.1.13 calculan el flujo en conflicto encontrado para los movimientos directos de la calle menor durante la etapa 2. Si el giro a la derecha está separado por una isla triangular y tiene que cumplir con una señal de parada, el parámetro v_3 y v_6 en la ecuación se asumen como cero.

$$v_{c,II,8} = 2(v_4 + v_{4u}) + v_5 + v_6 + v_{16} \quad (2.1.12)$$

$$v_{c,II,11} = 2(v_1 + v_{1u}) + v_2 + v_3 + v_{15} \quad (2.1.13)$$

Giro a la izquierda de la calle menor (Rango 4- Movimientos 7 y 10)

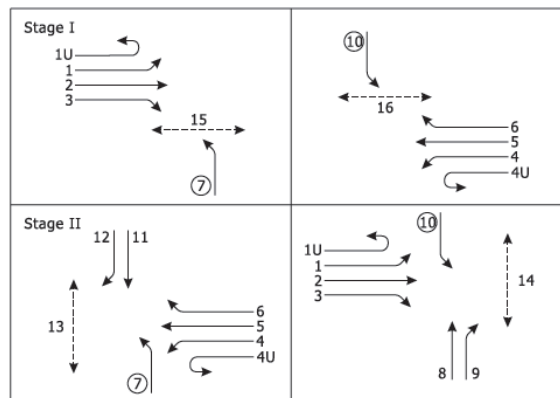
El movimiento de giro a la izquierda en la calle menor es la maniobra más difícil de ejecutar en una IDSC, ya que se enfrenta al conjunto más complejo de movimientos en conflicto que incluyen todos los movimientos de la calle principal, además de la oposición del giro a la derecha y el movimiento a través de la calle menor.

Solo la mitad de la oposición del flujo de los movimientos de giro a la derecha y a través se incluye como caudal en conflicto debido a que ambos movimientos están controlados por señal de parada, lo que disminuye su efecto en giros a la izquierda.

Los efectos adicionales de capacidad de impedancia de la oposición del giro a la derecha y del movimiento directo son tasas de flujo que se tienen en cuenta en el resto del procedimiento.

Similar al movimiento directo de la calle menor, los movimientos a la izquierda de la calle menor se pueden completar en una o dos etapas. En el anexo 2.1.5 se ilustran los movimientos en conflicto encontrados para los conductores que giran a la izquierda en la calle menor.

Figura 2.1.5 Movimientos en conflicto en la calle menor- movimientos de giro izquierdo



Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Etapa 1:

Si un carril de giro a la derecha existe en la calle principal, el v_3 correspondiente o término v_6 en estas ecuaciones se puede suponer que es cero.

Dos carriles calle mayor:

$$v_{c,I,7} = 2v_1 + v_2 + 0,5v_{13} + v_{15} \quad (2.1.14)$$

$$v_{c,I,10} = 2v_4 + v_5 + 0,5v_6 + v_{16} \quad (2.1.15)$$

Cuatro carriles calle mayor:

$$v_{c,I,7} = 2(v_1 + v_{1u}) + v_2 + 0,5v_3 + v_{15} \quad (2.1.16)$$

$$v_{c,I,10} = 2(v_4 + v_{4u}) + v_5 + 0,5v_6 + v_{16} \quad (2.1.17)$$

Seis carriles calle mayor:

$$v_{c,I,7} = 2(v_1 + v_{1u}) + v_2 + 0,5v_3 + v_{15} \quad (2.1.18)$$

$$v_{c,I,10} = 2(v_4 + v_{4u}) + v_5 + 0,5v_6 + v_{16} \quad (2.1.19)$$

Etapa 2:

Si el giro a la derecha de la calle menor está separado por una isleta triangular y tiene una señal de parada, v_9 y v_{12} son cero.

Dos carriles calle mayor:

$$v_{c,II,7} = 2v_4 + v_5 + 0,5v_6 + 0,5v_{12} + 0,5v_{11} + v_{13} \quad (2.1.20)$$

$$v_{c,II,10} = 2v_1 + v_2 + 0,5v_3 + 0,5v_9 + 0,5v_8 + v_{14} \quad (2.1.21)$$

Cuatro carriles calle mayor:

$$v_{c,II,7} = 2(v_4 + v_{4u}) + 0,5v_5 + 0,5v_{11} + v_{13} \quad (2.1.22)$$

$$v_{c,II,10} = 2(v_1 + v_{1u}) + 0,5v_2 + 0,5v_8 + v_{14} \quad (2.1.23)$$

Seis carriles calle mayor:

$$v_{c,II,7} = 2(v_4 + v_{4u}) + 0,4v_5 + 0,5v_{11} + v_{13} \quad (2.1.24)$$

$$v_{c,II,10} = 2(v_1 + v_{1u}) + 0,4v_2 + 0,4v_8 + v_{14} \quad (2.1.25)$$

Paso 4: Determinar los avances críticos y avances de seguimiento.

El avance crítico $t_{c,x}$ y el avance de seguimiento $t_{f,x}$ deben ser determinados para el giro a la izquierda de la calle principal (vc_1 y vc_4), giro a la derecha de la calle menor (vc_9 y vc_{12}), los movimientos a través de la calle menor (vc_8 y vc_{11}) y los giros a la izquierda de la calle menor (vc_7 y vc_{11}).

Para calcular el avance crítico para cada movimiento, el análisis comienza con la base del avance crítico en el Tabla 2.1.1 y realiza ajustes de movimientos específicos relacionados con el porcentaje de vehículos pesados, la pendiente detectada en intersecciones de tres accesos contra intersecciones de cuatro accesos como se muestra en la ecuación de 2.1.26:

$$t_{c,x} = t_{c,bases} + t_{c,HV} + P_{HV} + t_{c,G} - t_{3,LT} \quad (2.1.26)$$

Dónde:

$t_{c,x}$ = avance crítico para el movimiento x (s)

t_c , base = avance crítico base del Tabla 2.1.1 0 (s);

t_c , HV = factor de ajuste para vehículos pesados (1,0 para las calles principales con un carril en cada dirección; 2,0 para las calles principales con dos o tres carriles en cada dirección) (s);

PHV = proporción de vehículos pesados para el movimiento (expresado como un decimal, por ejemplo, el PHV = 0,02 para el 2% de los vehículos pesados);

t_c , G = factor de ajuste por pendiente (0,1 para Movimientos 9 y 12; 0,2 para los Movimientos 7, 8, 10 y 11) (s);

G = porcentaje de la pendiente (expresado como un número entero; por ejemplo, G = -2 para un 2% cuesta abajo);

t_3 , LT = factor de ajuste para la geometría de intersección. 0.7 para el movimiento de giro a la izquierda de la calle menor para intersecciones de tres accesos, 0.0 de otra manera.

Tabla 2.1.2 Datos del avance crítico

Vehicle Movement	Base Critical Headway, $t_{c,base}$ (s)		
	Two Lanes	Four Lanes	Six Lanes
Left turn from major	4.1	4.1	5.3
U-turn from major	N/A	6.4 (wide) 6.9 (narrow)	5.6
Right turn from minor	6.2	6.9	7.1
Through traffic on minor	1-stage: 6.5	1-stage: 6.5	1-stage: 6.5*
	2-stage, Stage I: 5.5	2-stage, Stage I: 5.5	2-stage, Stage I: 5.5*
	2-stage, Stage II: 5.5	2-stage, Stage II: 5.5	2-stage, Stage II: 5.5*
Left turn from minor	1-stage: 7.1	1-stage: 7.5	1-stage: 6.4
	2-stage, Stage I: 6.1	2-stage, Stage I: 6.5	2-stage, Stage I: 7.3
	2-stage, Stage II: 6.1	2-stage, Stage II: 6.5	2-stage, Stage II: 6.7

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Los datos del avance crítico para sitios de 4 y 6 carriles cuentan para la distribución del carril actual de flujo de tráfico medido en cada sitio. Para los sitios de 6 carriles, los giros a la izquierda de la calle menor se observaron comúnmente empezando su movimiento mientras que aparentemente los vehículos en conflicto en el sitio lejano del paso a través de la calle principal.

Los valores para el avance crítico de los movimientos a través de la calle menor en calles de 6 carriles se estiman, ya que el movimiento no se observa frecuentemente en campo.

Al igual que en el cálculo del avance crítico, el análisis empieza con el cálculo del avance de seguimiento con la base del avance de seguimiento dado en la Tabla 2.1.2.

El analista hace los ajustes específicos de movimiento a la base de seguimiento con intervalos entre la información recogida en los vehículos pesados y la geometría de la calle principal por los factores de ajuste dados en la ecuación 2.1.27.

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HV}P_{HV} \quad (2.1.27)$$

Dónde:

$t_{f, x}$ = avance de seguimiento para el movimiento x (s),

$t_{f, base}$ = avance de seguimiento base de la tabla 2.1.3 (s),

$t_{f, HV}$ = factor de ajuste para vehículos pesados (0,9 para las calles principales con un carril en cada dirección, 1,0 para las calles principales con dos o tres carriles en cada dirección)

P_{HV} = proporción de vehículos pesados para el movimiento (expresado como un decimal, por ejemplo, el $P_{HV} = 0,02$ para el 2% de los vehículos pesados).

Tabla 2.1.3 Base de seguimiento de avance

Vehicle Movement	Base Follow-Up Headway, $t_{f,base}$ (s)		
	Two Lanes	Four Lanes	Six Lanes
Left turn from major	2.2	2.2	3.1
U-turn from major	N/A	2.5 (wide) 3.1 (narrow)	2.3
Right turn from minor	3.3	3.3	3.9
Through traffic on minor	4.0	4.0	4.0
Left turn from minor	3.5	3.5	3.8

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Los valores del Tabla 2.1.2 0 y 2.1.3 se basan en estudios de los EEUU y son representativos de una amplia gama de condiciones. Si los valores de t_c y t_f son pequeños la capacidad se incrementara. Si los valores de t_c y t_f son grandes la capacidad de reducirá.

Paso 5: Calcular las capacidades potenciales

Paso 5a: Capacidad potencial si no están presentes señales aguas arriba

La capacidad potencial $c_{p,x}$ de un movimiento se calcula de acuerdo con el modelo de brecha aceptable proporcionado por la ecuación 2.1.28 (6).

Este modelo requiere el análisis de entrada del flujo en conflicto $v_{c,x}$, el avance crítico $t_{c,x}$ y el avance de seguimiento $t_{f,x}$ por movimiento.

$$C_{p,x} = v_{c,x} \frac{e^{-v_{c,x}t_{c,x}/3600}}{1 - e^{-v_{c,x}t_{c,x}/3600}} \quad (2.1.28)$$

Donde

$c_{p,x}$ = capacidad potencial de movimiento x (veh / h),

$v_{c,x}$ = flujo conflictivo para el movimiento x (veh / h),

$t_{c,x}$ = avance crítico para el movimiento menor x (s), y

$t_{f,x}$ = avance de seguimiento para movimientos menores x (s).

Para los movimientos del rango 3 y 4 de la etapa 2, la capacidad potencial se calcula tres veces: $c_{p,x}$ suponiendo una operación de 1 etapa, $c_{p,I,x}$ para la etapa 1 y $c_{p,II,x}$ para la etapa 2. Las definiciones del flujo de conflicto para cada cálculo son los previstos en el paso 4.

Paso 5b: Capacidad potencial si los efectos de señal aguas arriba están presentes

Para evaluar el impacto de la coordinación de las señales aguas arriba, la metodología de los segmentos de la calle urbana (Capítulo 17) se utiliza para estimar el porcentaje de tiempo de rango 2 o de cada movimiento menor que será bloqueado por un pelotón.

La proporción de tiempo obstruido se denota por $p_{b,x}$ donde x es el movimiento utilizando las convenciones de movimiento previstas en la tabla 2.1.4.

Con estos valores, la proporción del período de análisis que está bloqueado para cada movimiento de la calle menor se puede calcular mediante el uso del Tabla 2.1.4:

Tabla 2.1.4 Proporción del período de análisis que está bloqueado para cada pequeño movimiento

Movement(s) x	Proportion Blocked for Movement, $p_{b,x}$		
	One-Stage Movements	Two-Stage Movements	
		Stage I	Stage II
1, 1U	$p_{b,1}$	N/A	N/A
4, 4U	$p_{b,4}$	N/A	N/A
7	$p_{b,7}$	$p_{b,4}$	$p_{b,1}$
8	$p_{b,8}$	$p_{b,4}$	$p_{b,1}$
9	$p_{b,9}$	N/A	N/A
10	$p_{b,10}$	$p_{b,1}$	$p_{b,4}$
11	$p_{b,11}$	$p_{b,1}$	$p_{b,4}$
12	$p_{b,12}$	N/A	N/A

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

El flujo para el período no bloqueado (no pelotones) se determina en este paso. Este flujo se convierte en el flujo conflictivo para el movimiento en análisis y se usa para calcular la capacidad de este movimiento. La mínima razón de flujo $v_{c, \min}$ es aproximada a $1,000N$ donde N es el número de carriles en cada dirección sobre la calle principal.

El flujo conflictivo para x movimiento durante el período desbloqueado viene dado por la ecuación 2.1.29:

$$v_{c,u,x} = \begin{cases} \frac{v_{c,x} - 1.5v_{c,\min}p_{b,x}}{1 - p_{b,x}} & \text{if } v_{c,x} > 1.5v_{c,\min}p_{b,x} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1.29)$$

Donde

$v_{c, u, x}$ = flujo conflictivo para x movimiento durante el período desbloqueado (veh / h);

$v_{c,x}$ = flujo de conflicto total para el movimiento x determinado para la etapa. (veh/h);

$v_{c, \min}$ = tasa de flujo mínimo (veh / h), que se supone $1.000 N$, donde N es el número de carriles por sentido en la calle principal, y

$p_{b, x}$ = proporción de tiempo que el movimiento en análisis x es bloqueado por el pelotón de la calle principal, que se determina a partir del Tabla 2.1.4.

La capacidad potencial del movimiento en análisis x , que represente el efecto de pelotón está dada por la ecuación 2.1.30 y 2.1.31:

$$c_{p,x} = (1 - p_{b,x})c_{r,x} \quad (2.1.30)$$

$$c_{r,x} = v_{c,u,x} \frac{e^{-v_{c,u,x}t_{c,x}/3600}}{1 - e^{-v_{c,u,x}t_{f,x}/3600}} \quad (2.1.31)$$

Donde

$c_{p, x}$ = capacidad potencial de movimiento x (veh / h),

$p_{b, x}$ = proporción de tiempo que el movimiento x está bloqueada por una sección, y

$c_{r, x}$ = capacidad de movimiento x asumiendo flujo azar durante el período desbloqueado.

Esta ecuación utiliza las mismas entradas de avance crítico y avance de seguimiento como lo hace un cálculo normal, pero solo utiliza el flujo en conflicto durante el periodo de desbloqueo.

Pasos 6–9: Calcular capacidades de movimiento

Para mayor claridad, estos pasos asumen que los efectos de impedancia de peatones se pueden despreciar, y en muchos casos se trata de una suposición razonable. Sin embargo, los peatones pueden tenerse en cuenta en el análisis del modo automóvil mediante la sustitución de estos pasos con los proporcionados por el capítulo 32, INTERSECCIONES CONTROLADAS POR PARADA: suplementario, que incorporan los efectos de impedancia de los peatones.

Paso 6: Capacidad de movimiento del Rango 1

El rango 1 de los movimientos de la calle principal asume que no están obstaculizados por ningún movimiento de menor rango. Este rango también implica que los movimientos de la calle principal del rango 1 no se espera que incurran en una demora a medida que viajan por la intersección. Las observaciones empíricas han demostrado que estas demoras se producen de vez en cuando, y se tienen en cuenta mediante el uso de ajustes que se dan más adelante en este procedimiento.

Paso 7: Capacidad de movimiento del Rango 2

Los movimientos de Rango 2 (giros a la izquierda de la calle principal y giros a la derecha de la calle menor) deben ceder el paso al conflicto del movimiento a través de la calle principal y los movimientos vehiculares de giro a la derecha del rango 1.

Paso 7a: Capacidad de movimiento del giro a la izquierda de la calle principal

La capacidad de movimiento de cada rango 2 del giro ala izquierda de la calle principal (1 y 4) es igual a su capacidad potencial, como se muestra en la ecuación 2.1.32.

$$c_{m,j} = c_{p,j} \quad (2.1.32)$$

Paso 7b: Capacidad de Movimiento para el giro a la derecha de la calle menor

La capacidad de movimiento, $c_{m,j}$, para los movimientos del rango 2 del giro a la derecha de la calle menor (9 y 12) es igual a su capacidad potencial, como se muestra en la Ecuación 2.1.33.

$$c_{m,j} = c_{p,j} \quad (2.1.33)$$

Los movimientos de giro derecho que comparten o conducen por el mismo carril que otro giro, calculan su capacidad para carril compartido con la ecuación 2.1.34:

$$c_{SH} = \frac{\sum_y (v_y)}{\sum_y \left(\frac{v_y}{c_{m,y}} \right)} \quad (2.1.34)$$

Donde

CSH = capacidad del carril compartido (veh / h),

Vy = flujo de circulación del movimiento Y en el carril compartido (veh / h),

cm, y = capacidad del movimiento Y en el carril compartido (veh / h).

Paso 7d: Efecto del carril compartido entre los movimiento directos y de giro a la izquierda de la calle principal

La probabilidad de que el tráfico de giro a la izquierda de la calle principal operara en estado de cola libre se expresa en la ecuación 2.1.35:

$$p_{0,j} = 1 - \frac{v_j}{c_{m,j}} \quad (2.1.35)$$

Donde

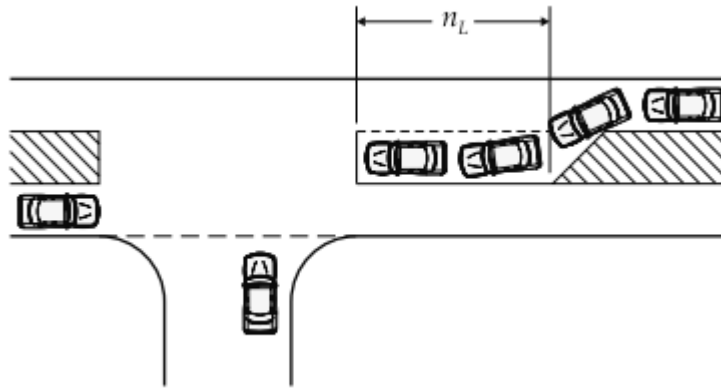
j=1 y 4 (movimientos de giro a la izquierda de la calle principal del rango 2, utilizando el volumen compartido y la capacidad según el caso).

Nota:

Si los movimientos de giro a la izquierda y a través de la calle principal son compartidos, se usa la ecuación 2.1.34. Además, se usa la ecuación 2.1.35 para calcular la probabilidad de estado de cola libre de los movimientos del rango 3.

Si, sin embargo, un carril de giro a la izquierda compartido o un hueco de giro a la izquierda corto está presente en el acceso de la calle principal (como en la figura 2.1.6), el análisis representa este hecho mediante el cálculo de la probabilidad de que no habrá cola en la calle principal, $p^*_{0,j}$. Esta probabilidad es luego utilizada para el análisis en lugar de la $p_{0,j}$.

Figura 2.1.6 Hueco de giro a la izquierda corto



Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

La metodología supone implícitamente que un carril exclusivo se proporciona a todo el tráfico de giro a la izquierda de la calle principal. Si un carril de giro la izquierda no se proporciona o el hueco de giro la izquierda no es lo suficientemente largo para dar cabida a todos los vehículos de giro a la izquierda, el tráfico directo de la calle principal (y posiblemente el de giro a la derecha) podría retrasarse por los vehículos de giro la izquierda esperando una brecha aceptable en oposición al tráfico a través de la calle principal. Para tener en cuenta este hecho, los factores $p_{0,1}$ y $p_{0,4}$ pueden calcularse según la ecuación 2.1.36 y 2.1.37 como una indicación de la probabilidad de que no habrá ninguna cola en los respectivos carriles compartidos o cortos de la calle principal.

$$p_{0,j} = 1 - (1 - p_{0,j}) \left[\frac{(n_{L+1})}{\sqrt{1 + \frac{X_{i,1+2}^{(n_{L+1})}}{1 - X_{i,1+2}}}} \right] \quad (2.1.36)$$

$$X_{i,1+2} = \frac{v_{i1}}{S_{i1}} + \frac{v_{i2}}{S_{i2}} \quad (2.1.37)$$

Donde

$p_{0,j}$ =probabilidad de estado libre de cola para el movimiento j suponiendo un giro a la izquierda exclusivo en la calle principal;

$j = 1$ y 4 (movimientos vehiculares de giro la izquierda en la calle principal);

$i1 = 2$ y 5 (movimientos vehiculares directos de la calle principal);

$i_2 = 3$ y 6 (movimientos vehiculares de giro a la derecha de la calle principal);

Cuando $j = 1$, i_1 e $i_2 = 2 = 3$

Cuando $j = 4, 5 = i_1$ y $i_2 = 6$

$x_{i,1+2}$ = grado combinado de saturación del movimiento directo y a la derecha de la calle principal

s_{i1} = razón de saturación de flujo de los movimientos directos de la calle principal (por defecto se asume de 1800 veh/h; sin embargo, este parámetro puede medirse en campo)

s_{i2} = Tasa de saturación para los movimientos de giro la derecha de la calle principal (por defecto se supone como 1500 veh/h, sin embargo, este parámetro se puede medir en campo)

v_{i1} = Tasa de flujo del movimiento a través de la calle principal (veh/h)

v_{i2} = Tasa de flujo de giro a la derecha de la calle principal (veh/h) (0 si un carril exclusivo de giro la derecha es proporcionado)

n_L = Lugares de almacenamiento en el hueco del giro la izquierda

Para la situación especial de los carriles compartidos ($n_L = 0$), la ecuación 2.1.36 se convierte en la ecuación 2.1.38 como sigue:

$$p_{0,j}^* = 1 - \frac{1 - p_{0,j}}{1 - X_{i,1+2}} \quad (2.1.38)$$

Donde todos los términos son como se han definido previamente.

Paso 8: Calcular las capacidades de movimiento para los movimientos del Rango 3

Los movimientos de la calle menor del rango 3 (movimientos directos de la calle menor para intersecciones de 4 accesos y giros a la izquierda de la calle menor en intersecciones de 3 accesos) deben ceder el paso a los movimientos en conflicto del rango 1 y rango 2.

No todos los huecos de longitud aceptable que pasan a través de la intersección normalmente estarán disponibles para el uso de los movimientos del rango 3, porque algunos de estos huecos son susceptibles de ser utilizados por los movimientos del rango 2.

Si el movimiento del rango 3 es un movimiento de etapa 2, la capacidad de movimiento para el movimiento de la etapa 1 se calcula como una entrada para el cálculo de la etapa 2.

Paso 8a: Capacidad de movimiento para los movimientos del rango 3 de etapa 1

Para movimientos de rango 3, la magnitud de la impedancia del vehículo depende de la probabilidad de que los vehículos de giro a la izquierda de la calle principal estén esperando una brecha aceptable al mismo tiempo que los vehículos del rango 3.

Una mayor probabilidad de que esta situación ocurra significa una mayor reducción de efectos de capacidad para el tráfico de giro a la izquierda de la calle principal en los movimientos del rango 3.

La capacidad de movimiento $c_{m,k}$ para todos los movimientos del rango 3 se encuentra calculando primero el factor de ajuste de capacidad que tiene en cuenta los efectos que obstaculizan los movimientos de rangos más altos.

El factor de ajuste de capacidad se denota por f_k para todos los movimientos k y todos los movimientos del rango y y está dada por la ecuación 2.1.39:

$$f_k = \prod_j p_{0,j} \quad (2.1.39)$$

Donde

$p_{0,j}$ = probabilidad de que los movimientos del rango en conflicto del rango 2 j operaran en estado libre de cola

k = movimientos del rango 3

La capacidad de movimiento para los movimientos de la calle menor del rango 3 se calcula con la ecuación 2.1.39, donde f_k es el factor de capacidad de ajuste que tiene en cuenta los efectos de impedancia para los movimientos de altos rangos calculados de acuerdo con la ecuación 2.1.38.

$$c_{m,k} = (c_{p,k}) f_k \quad (2.1.40)$$

Paso 8b: Capacidad para los movimientos de 2 etapas del rango 3

Si el movimiento de rango 3 es un movimiento de 2 etapas, el procedimiento para calcular la capacidad de movimiento total para el movimiento en análisis, considerando la brecha de aceptación de la etapa 2, el proceso es el siguiente.

Un factor de ajuste a y una variable intermedia y se calculan con la ecuación 2.1.41 y 2.1.42 respectivamente:

$$a = 1 - 0,32e^{-1,5\sqrt{n_m}} \text{ para } n_m > 0 \quad (2.1.41)$$

$$y = \frac{c_I - c_{m,k}}{c_{II} - v_L - c_{m,k}} \quad (2.1.42)$$

Donde

n_m = número de espacios de almacenamiento en el medio;

c_I = Capacidad de movimiento para la Etapa I del proceso (veh / h);

c_{II} = Capacidad de movimiento para la Etapa II del proceso (veh / h);

v_L = Volumen de flujo de giro a la izquierda de la calle principal, cualquiera de v_1 o v_4 (veh/h);

$c_{m,x}$ = Capacidad de movimiento, considerando la tasa de flujo en conflicto total para ambas etapas del proceso de brecha de aceptación de las 2 etapas (paso 8a)

La capacidad total c_T para el movimiento en análisis, teniendo en cuenta el proceso de brecha de aceptación para las dos etapas se calcula usando la ecuación 2.1.43 y 2.1.44 y la incorporación de los factores de ajuste derivados de la ecuación 2.1.41 y 2.1.42.

Para $y \neq 1$:

$$c_T = \frac{a}{y^{n_m+1} - 1} [y(y^{n_m} - 1)(c_{II} - v_L) + (y - 1)c_{m,k}] \quad (2.1.43)$$

Para $y=1$:

$$c_T = \frac{a}{n_m + 1} [n_m(c_{II} - v_L) + c_{m,k}] \quad (2.1.44)$$

Paso 9: Calcular las capacidades de movimiento para los movimientos del Rango 4

Los movimientos del rango 4 se producen solo en intersecciones de 4 accesos. Los movimientos del rango 4 (es decir, solo los giros a la izquierda de la calle menor para una intersección de 4 accesos) puede ser impedido por movimientos de rangos más altos (rangos 1, 2 y 3).

Paso 9a: Capacidad para movimientos de 1 etapa del rango 4

La probabilidad de que los movimientos del tráfico de rangos más altos operen en estado libre de cola es fundamental para determinar sus efectos globales que impiden a los movimientos de giro a la izquierda de la calle menor. Al mismo tiempo, se debe reconocer que no todas las probabilidades son independientes una de otra.

En concreto, la cola en los movimientos de giro a la izquierda de la calle menor afecta la probabilidad de un estado libre de cola en los movimientos de cruce de la calle menor. Aplicando el simple producto de estas probabilidades, probablemente sobreestiman los efectos que impiden los efectos de tráfico del giro a la izquierda de la calle menor.

La Tabla 2.1.1 4 se puede usar para ajustar la sobreestimación causada por la dependencia estadística entre las colas de las corrientes de los rangos 2 y 3. La representación matemática de esta curva es determinada en la ecuación:

$$p' = 0,65p'' - \frac{p''}{p'' + 3} + 0,6\sqrt{p''} \quad (2.1.45)$$

Donde

p' = ajuste de giro a la izquierda de la calle principal, factor de impedancia a través de la calle menor.

$p'' = (p_{0,j})(p_{0,k});$

$p_{0,j}$ = probabilidad del estado libre de cola para el tráfico en conflicto del giro a la izquierda de la calle principal.

$p_{0,k}$ = Probabilidad de estado libre de cola para el tráfico en conflicto del cruce de la calle menor.

Al determinar p' para el movimientos 7 del rango 4 en la ecuación 2.1.46,

$p'' = (p_{0,1})(p_{0,4})(p_{0,11})$. Del mismo modo, cuando se determina p' para el movimiento 10 para el rango 4.

$p'' = (p_{0,1})(p_{0,4})(p_{0,8})$.

La capacidad de movimiento cm_l para todos los movimientos del rango 4 se encuentra calculando primero un factor de capacidad de ajuste que tenga en cuenta los efectos de impedancia de los movimientos de rangos más altos. El factor de capacidad de ajuste

para el movimiento de giro a la izquierda de la calle menor del rango 4 se puede calcular con la ecuación 2.1.44:

$$f_{p,l} = (p')(p_{0,j}) \quad (2.1.46)$$

Donde

l = movimiento de giro a la izquierda de la calle menor del rango 4 (movimientos 7 y 10 mostrados en la gráfica 19-3)

j = movimiento en conflicto de giro a la derecha de la calle menor del rango 2

Por último, la capacidad de movimiento para los movimientos de giro a la izquierda de la calle menor del rango 4 son determinados por la ecuación 2.1.47, donde $f_{p,l}$ es el factor de ajuste de capacidad que tiene en cuenta los efectos de impedancia de los movimientos de rangos más altos.

$$c_{m,l} = (c_{p,l}) f_{p,l} \quad (2.1.47)$$

Paso 9b: Capacidad de movimiento para 2 etapas

El procedimiento para el cálculo de la capacidad de movimiento total para el movimiento, considerado el proceso de brecha de aceptación de dos etapas es el siguiente: Un factor de ajuste a y una variable intermedia y se calculan con la ecuación 2.1.48 y 2.1.49, respectivamente:

$$a = 1 - 0,32e^{-1,5\sqrt{n_m}} \text{ para } n_m > 0 \quad (2.1.48)$$

$$y = \frac{c_I - c_{m,k}}{c_{II} - v_L - c_{m,k}} \quad (2.1.49)$$

Donde

n_m = número de espacios de almacenamiento en el medio;;

c_I = Capacidad de movimiento para la Etapa I del proceso (veh / h);

c_{II} = Capacidad de movimiento para la Etapa II del proceso (veh / h);

v_L = velocidad de flujo del giro en u y a la izquierda de la calle principal, ya sea $1 + v1U$ o $v4 + v4U$ (veh/h);

$c_{m,x}$ = Capacidad de movimiento, incluyendo la tasa de flujo total conflictivo para ambas etapas (del paso 9a).

La capacidad total c_T para el movimiento en análisis considera el proceso de brecha de aceptación de dos etapas y se calcula usando la ecuación 2.1.50 y la ecuación 2.1.51 y la incorporación de los factores de ajuste calculados en la ecuación 2.1.46 y la ecuación 2.1.47.

Para $y \neq 1$:

$$c_T = \frac{a}{y^{n_m+1} - 1} [y(y^{n_m} - 1)(c_{II} - v_L) + (y - 1)c_{m,k}] \quad (2.1.50)$$

Para $y=1$:

$$c_T = \frac{a}{n_m + 1} [n_m(c_{II} - v_L) + c_{m,k}] \quad (2.1.51)$$

Paso 10: Ajustes finales de capacidad

Paso 10a: Capacidad de carril compartido para accesos de la calle menor

Cuando varios movimientos comparten el mismo carril y no se puede dejar de lado el lado en la línea de pare, la ecuación 2.1.52 es usada para calcular la capacidad del carril compartido:

$$c_{SH} = \frac{\sum_y (v_y)}{\sum_y \left(\frac{v_y}{c_{m,y}} \right)} \quad (2.1.52)$$

Donde

c_{SH} = capacidad del carril compartido (veh / h),

v_y = volumen de flujo del movimiento y en el carril compartido (veh/h),

$c_{m,y}$ = Capacidad de movimiento del movimiento y en el carril compartido(veh/h).

Paso 11: Calculo del control de demora de movimiento

La demora experimentada por un automovilista se compone de una serie de factores que relacionan el tipo de control, geometría, el tráfico y los incidentes. En la metodología de las intersecciones DSC, únicamente la parte de demora atribuido al aspecto de control de parada de la intersección, conocido como control de demora, se cuantifica.

El control de demora incluye la demora debida a la desaceleración para una parada en la parte posterior de la cola de la velocidad de flujo libre, tiempo de movimiento hacia arriba dentro de la cola, demora de parada en la parte delantera de la cola y demora debida a la desaceleración de la parte de atrás a la velocidad de flujo libre. Con respecto a las

mediciones, el control de demora se define como el tiempo total que transcurre desde el momento que un vehículo para y el fin de la cola a la vez que el vehículo sale de la línea de parada. Este tiempo total transcurrido incluye el tiempo requerido para el vehículo para viajar desde la última posición de la cola a la primera posición, incluyendo desaceleración de los vehículos de velocidad de flujo libre a la velocidad de los vehículos en cola.

Paso 11a: Calculo del control de demora para los movimientos directos del rango 2 y para los movimientos del rango 4

El control de demora medio para cualquier movimiento menor particular es función de la capacidad del acceso y el grado de saturación. El modelo de análisis utilizado para estimar el control de demora (ecuación 2.1.53) asume que la demanda es menor que la capacidad para el periodo de análisis.

Si el grado de saturación es mayor que aproximadamente 0.9, el control de demora medio es significativamente afectado por la longitud del periodo de análisis. En la mayoría de los casos, el periodo de análisis recomendado es 15 min. Si la demanda excede la capacidad durante un periodo de 15 min, los resultados de demora calculados por el procedimiento pueden no ser exactos. En este caso, el periodo de análisis debería ser alargado para incluir el periodo de sobresaturación.

$$d = \frac{3600}{c_{m,x}} + 900T \left[\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_{m,x}}\right)\left(\frac{v_x}{c_{m,x}}\right)}{450T}} \right] + 5 \quad (2.1.53)$$

Donde

d = control de demora (s/veh),

v_x = volumen de flujo para el movimiento x (veh / h)

c_{m,x} = capacidad del movimiento x (veh/h), y

T = periodo de tiempo de análisis (igual a 0.25 h para un periodo de 15-min) (h).

La constante de 5 s/veh se incluye en la ecuación 2.1.53 para dar cuenta de la desaceleración de los vehículos de velocidad de flujo libre a la velocidad de los vehículos en cola y la aceleración de los vehículos de la línea de parada a velocidad de flujo libre.

Nota

Un valor constante de 5 s/veh se utiliza para reflejar la demora durante la desaceleración y la aceleración a partir de una parada.

Paso 11b: Calculo del control de demora para los movimientos del rango 1

El efecto de un carril compartido en el acceso de la calle principal donde los vehículos que giran a la izquierda pueden bloquear a los vehículos de giro a la derecha o directos del rango 1, pueden ser significativos.

Si el hueco de giro a la izquierda no exclusivo está provisto en la calle principal, un vehículo de giro a la izquierda demorado puede bloquear los vehículos del rango 1 detrás de él. Esto demorará no solo a los vehículos del rango 2 sino también, los movimientos de menor rango. Mientras que las demoras de los vehículos del rango 1 están descargadas de la cola formada detrás un vehículo de giro a la izquierda, estos impiden a los movimientos de conflicto de rangos menores.

Mientras que las demoras de los vehículos del rango 1 son descargados de la cola formada detrás de un vehículo de giro a la izquierda, ellos impiden los movimientos conflictivos de los rangos menores.

Las observaciones de campo han demostrado que un efecto de bloqueo es generalmente muy pequeño, porque la calle principal usualmente proporciona suficiente espacio para el bloqueo del vehículo del rango 1 para colarse al vehículo de giro a la izquierda. Como mínimo, la incorporación de este efecto requiere la estimación de la proporción de los vehículos de rango 1 que están bloqueados y calcular el promedio de demora para los vehículos de giro a la izquierda de la calle principal que estas bloqueando a los vehículos directos.

En el procedimiento más simple, la proporción del rango 1 de los vehículos de la calle principal que no están bloqueados (es decir, en un estado libre de cola) está dada por $p^*_{0,j}$ en la ecuación 2.1.34 ($p^*_{0,j}$ debe ser sustituido por el factor de giro a la izquierda de la calle principal $p_{0,j}$ en la ecuación 2.1.34 en el cálculo de la capacidad de los movimientos de menor rango que entran en conflicto). Por lo tanto, la proporción de vehículos del rango 1 que están siendo bloqueados es $1 - p^*_{0,j}$.

La demora media del rango 1 se calcula con la ecuación 2.1.54.

$$d_{Rank1} = \begin{cases} \frac{(1-p^*_{0,j})d_{M,LT} \left(\frac{v_{i,1}}{N} \right)}{v_{i,1} + v_{i,2}} & N > 1 \\ (1-p^*_{0,j})d_{M,LT} & N = 1 \end{cases} \quad (2.1.54)$$

Donde

d_{Rank1} = demora de vehículos del rango 1 (s/veh);

N = número de carriles por sentido de la calle principal;

$p^*_{0,j}$ = proporción de vehículos del Rango 1 no bloqueados, de la ecuación 2.1.34;

$d_{M,LT}$ = demora de los vehículos de giro a la izquierda de la calle principal (s / veh);

$v_{i,1}$ = vehículos a través de la calle principal de carril compartido (veh/h);
 $v_{i,2}$ =vehículos de la calle principal que gira en carril compartido (veh/h).

En una carretera de varios carriles, solo los volúmenes de la calle principal en el carril que puede ser bloqueado se debe utilizar en el cálculo de $v_{i,1}$ y $v_{i,2}$. En vías con varios carriles, si se supone que los vehículos bloqueados del rango 1 no pasan por alto la obstrucción al moverse a otros carriles directos (una posición razonable en condiciones de alto flujo de la calle principal), entonces $v_{i,1}=v/2N$. Debido a las características únicas asociadas con cada sitio, la decisión sobre si se debe explicar este efecto se deja al analista.

Paso 12: Calculo del control de demora del acceso y la intersección

El control de demora para todos los vehículos en un acceso particular puede ser calculado como el promedio ponderado del control de demora calculado para cada movimiento en el acceso. La ecuación 2.1.55 se utiliza para el cálculo.

$$d_A = \frac{d_r V_r + d_t V_t + d_l V_l}{V_r + V_t + V_l} \quad (2.1.55)$$

Donde

d_A = control de demora en el acceso (s/veh);
 d_r, d_t, d_l =cálculo del control de demora para movimientos de giro a la derecha, directos y giro a la izquierda, respectivamente (s/veh); y
 v_r, v_t, v_l = tasa de flujo o volumen de giro a la derecha, a través y a la izquierda en el acceso, respectivamente (veh/h).

Del mismo modo, el control de demora de la intersección se puede calcular con:

$$d_I = \frac{d_{A,1} V_{A,1} + d_{A,2} V_{A,2} + d_{A,3} V_{A,3} + d_{A,4} V_{A,4}}{V_{A,1} + V_{A,2} + V_{A,3} + V_{A,4}} \quad (2.1.56)$$

Donde

$d_{A,x}$ = control de demora en el acceso x (s/veh), y
 $v_{A,x}$ = volumen o tasa de flujo en el acceso x (veh/h).

En la aplicación de la ecuación 2.1.55 y 2.1.56, la demora para los movimientos de la calle principal de rango 1 se suponen como 0 s/veh. El nivel de servicio no está definido para una intersección en general porque los movimientos de la calle principal con 0 s de demora suelen dar lugar a una demora promedio que es extremadamente baja. Por lo tanto, el total de los cálculos de control de demora de la intersección se utilizan solo en el control de demora entre los diferentes tipos de control de tráfico, tales como el control de parada en ambos sentidos frente a todas las vías de control de parada.

Valores por defecto

Una presentación comprensiva de los posibles valores por defecto para la comodidad del flujo interrumpido se ofrece en otra parte (15), con recomendaciones específicas resumidas en el capítulo 3, recomendando valores predeterminados. Estos valores por defecto cubren las principales características de PHF y porcentaje de vehículos pesados (%HV). Las recomendaciones se basan en la región geográfica, la población, y la hora del día. Todos los valores por defecto generales para instalaciones de interrupción de flujo se pueden aplicar al análisis de las intersecciones DSC en la ausencia de datos de campo o condiciones proyectadas.

Figura 2.1.7 Requerimientos para datos de entrada y valores por defecto

Required Data	Recommended Default Value	Relevant Modes
<i>Geometric Data</i>		
Highway class	Must select as appropriate	Auto
Lane width	12 ft	Auto, bicycle
Shoulder width	6 ft	Auto, bicycle
Access-point density (one side)	Classes I and II: 8/mi, Class III: 16/mi	Auto
Terrain	Level or rolling	Auto
Percent no-passing zone ^a	Level: 20%, rolling: 40%, more extreme: 80%	Auto
Speed limit	Speed limit	Bicycle
Base design speed	Speed limit + 10 mi/h	Auto
Length of passing lane (if present)	Must be site-specific	Auto
Pavement condition	4 on FHWA 5-point rating scale (good)	Bicycle
<i>Demand Data</i>		
Hourly automobile volume	Must be site-specific	Auto, bicycle
Length of analysis period	15 min (0.25 h)	Auto, bicycle
Peak hour factor	0.88	Auto, bicycle
Directional split	60/40	Auto, bicycle
Heavy vehicle percentage ^b	6% trucks	Auto, bicycle
Percent occupied on-highway parking	0%	Bicycle

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Los siguientes valores predeterminados generales se pueden aplicar a una intersección DSC:

$$\text{PHF} = 0.92$$

$$\% \text{HV} = 3$$

A veces, se requieren otros valores por defecto. Para el análisis de un carril compartido o un carril corto de giro a la izquierda de la calle principal, lo siguiente se asume como valores por defecto y se pueden aplicar para las tasas de saturación de flujo de los movimientos directos y giro a la derecha de la calle principal:

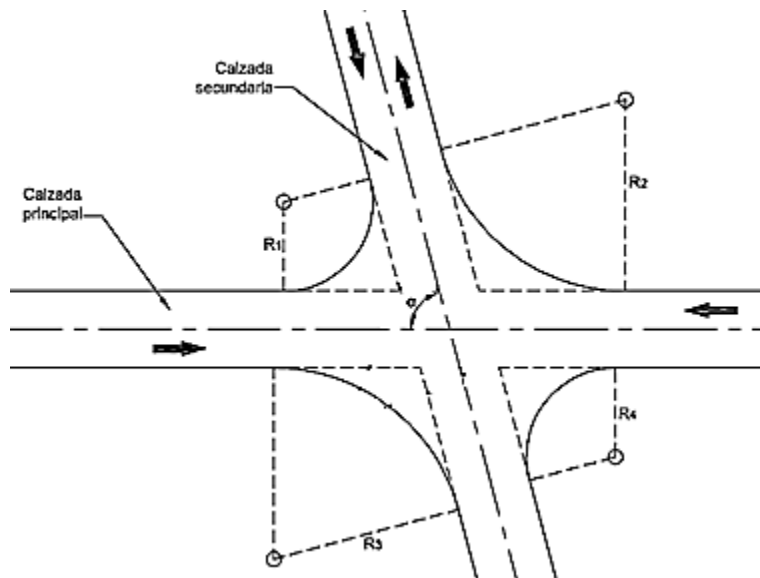
- Movimiento a través de la calle principal, $s_1 = 1,800$ veh/h
- Movimiento de giro a la derecha de la calle principal, $s_2 = 1,500$ veh/h

2.2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO

El análisis geométrico que se resumirá a continuación se presenta en el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS.

Sin canalizar

Figura 2.2.1 Esquema base intersección en cruz “+” o en equis “X”



[Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008](#)

Criterios básicos de diseño:

1. **El ángulo de entrada (α):** Debe estar comprendido entre sesenta y noventa grados ($60^\circ - 90^\circ$).
2. **Radio:** Los Radios mínimos de las curvas R1, R2, R3 y R4 debe corresponder al Radio mínimo de giro del vehículo de diseño seleccionado.

Estos vehículos de diseño y sus respectivos radios se describen en el capítulo 2 del Manual INVIAS. A continuación se muestra la descripción de cada vehículo de diseño y se muestran los radios de giro para ellos.

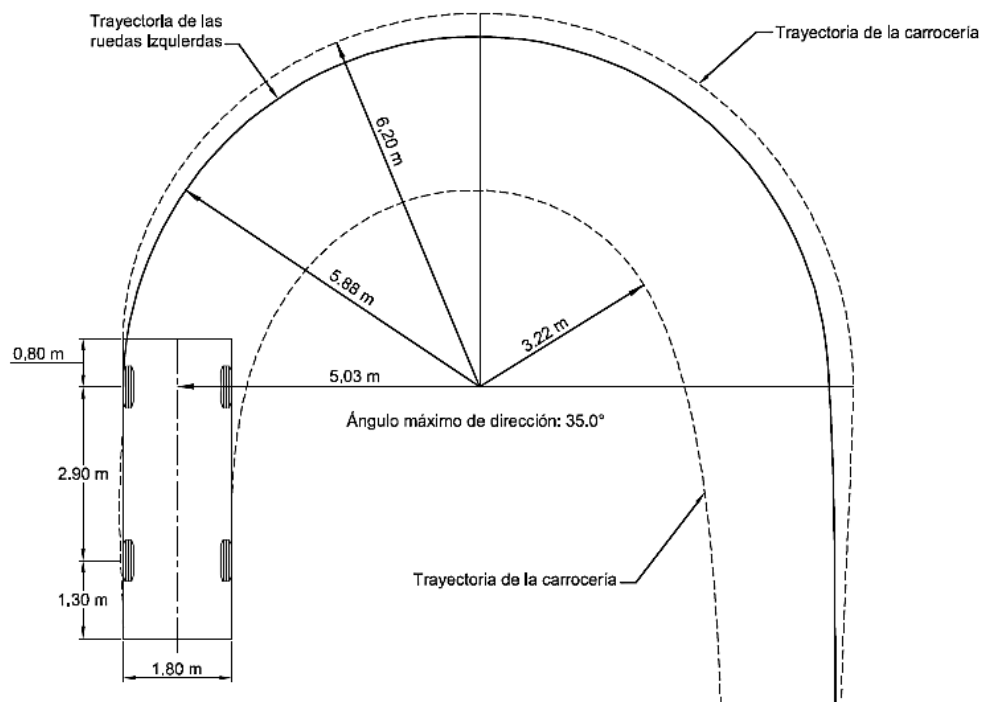
Tabla 2.2.1. Nomenclatura empleada para la descripción de los vehículos de diseño.

Categoría	Descripción
Vehículo	-

Liviano	
Bus Mediano	-
Bus Grande	-
2	Camión de dos (2) ejes- Camión sencillo
3	Camión de tres (3) ejes- Dobletroque
3S2	Tracto camión de tres (e) ejes con semirremolque de dos (2) ejes

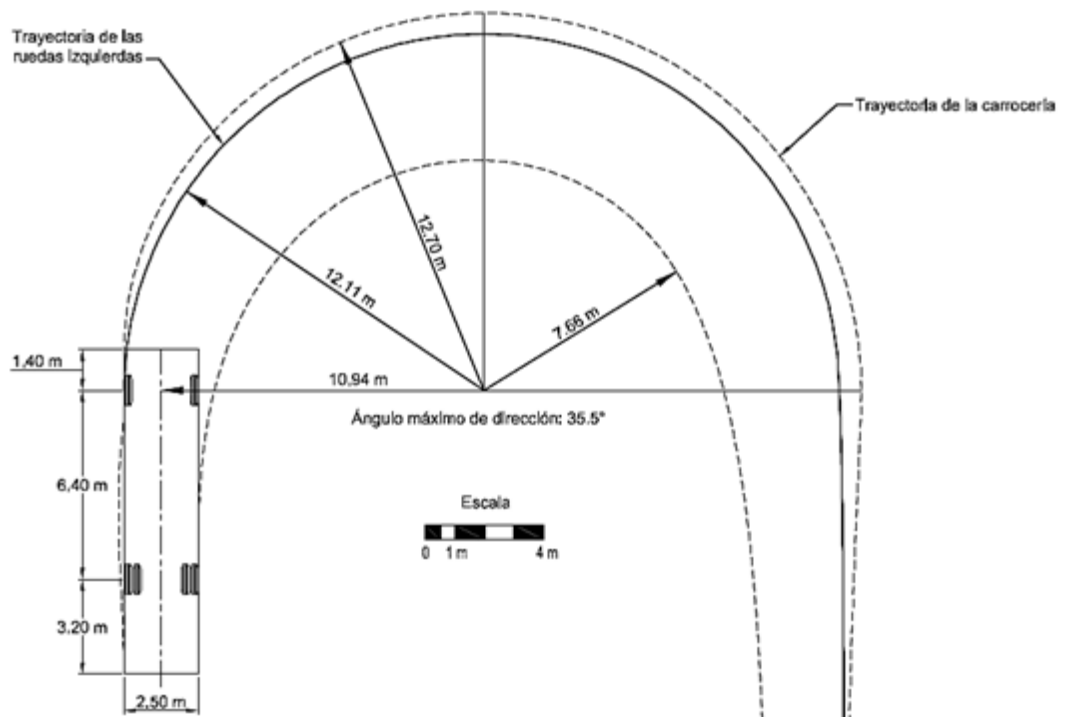
[Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008](#)

Figura 2.2.2 Vehículo liviano



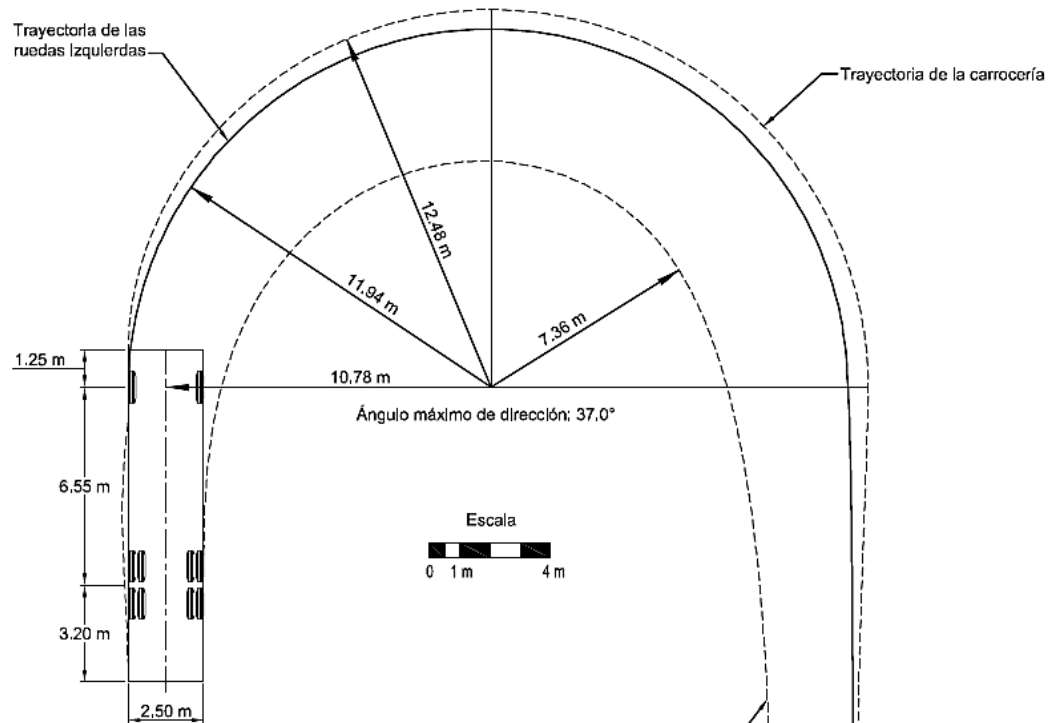
[Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008](#)

Figura 2.2.3 Camión categoría 2



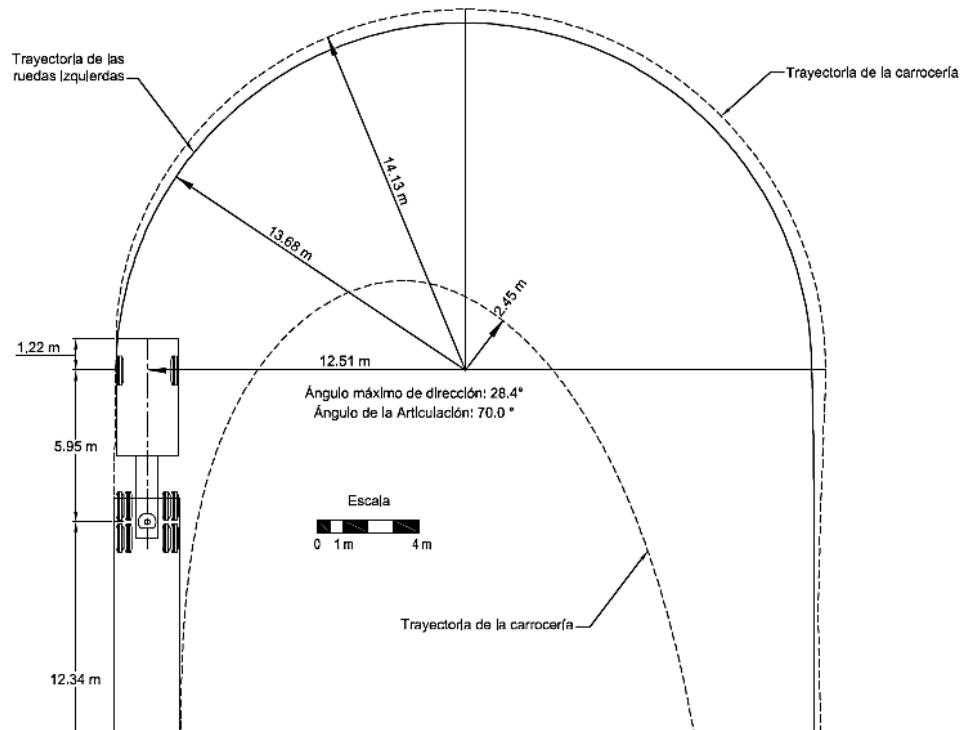
Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Figura 2.2.4 Camión categoría 3



[Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008](#)

Figura 2.2.5 Camión Categoría 3S2



[Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008](#)

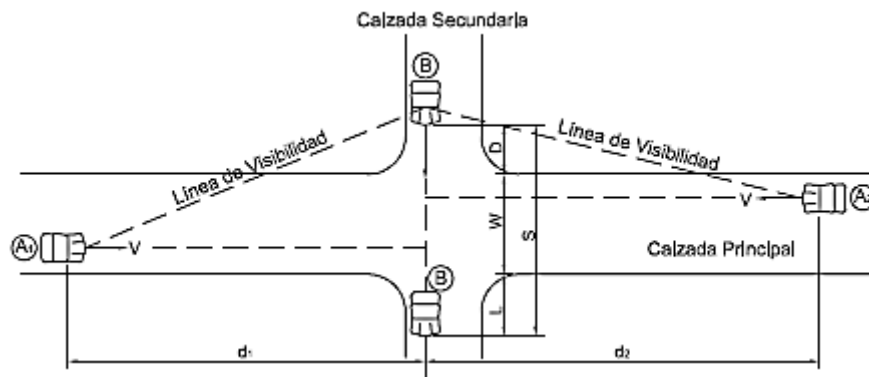
- 3. Pendiente:** La pendiente longitudinal de las calzadas que confluyen debe ser, en lo posible, menor de cuatro por ciento (4.0 %) para facilitar el arranque de los vehículos que acceden a la calzada principal.
- 4. DC:** La intersección debe satisfacer la Distancia de visibilidad de cruce (DC).

Distancia de Visibilidad de cruce:

La presencia de intersecciones rurales a nivel, hace que potencialmente se puedan presentar una diversidad de conflictos entre los vehículos que circulan por una y otra calzada. La posibilidad de que estos conflictos ocurran, puede ser ampliamente reducida mediante la provisión apropiada de distancias de visibilidad de cruce y de dispositivos de control acordes. El conductor de un vehículo que se aproxima por la calzada principal a una intersección a nivel, debe tener visibilidad, libre de obstrucciones, de toda la intersección y de un tramo de la calzada secundaria de suficiente longitud que le permita reaccionar y efectuar las maniobras necesarias para evitar una colisión. La distancia

mínima de visibilidad de cruce considerada como segura, bajo ciertos supuestos sobre las condiciones físicas de la intersección y del comportamiento del conductor, se halla relacionada directamente con la velocidad de los vehículos y las distancias recorridas durante el tiempo percepción - reacción y el correspondiente de frenado. Por lo anterior, en las intersecciones a nivel deberá existir visibilidad continua a lo largo de las calzadas que se cruzan, incluyendo sus esquinas, que permita a los conductores que simultáneamente se aproximan, verse mutuamente con la debida anticipación y así evitar colisiones. Ante una situación de éstas, el conductor que circula por la calzada secundaria deberá tener la posibilidad de disminuir la velocidad y parar en la intersección con la calzada principal. Las relaciones entre el espacio, el tiempo y la velocidad, definen el triángulo de visibilidad requerido, libre de obstrucciones, o el establecimiento de las modificaciones necesarias en la velocidad de aproximación a los accesos cuando se usa un triángulo de visibilidad de dimensiones menores a la requerida. El triángulo de visibilidad en la aproximación a los accesos de una intersección se muestra en la Figura 2.2.6. Por lo tanto, cualquier objeto ubicado dentro del triángulo de visibilidad, lo suficientemente alto, que se constituya en una obstrucción a la visibilidad lateral, deberá ser removido. Por otra parte, después de que un vehículo se ha detenido en el acceso de una intersección por la presencia de una señal de "PARE", su conductor deberá tener la suficiente distancia de visibilidad para realizar una maniobra segura a través del área de la intersección, ya sea para cruzar de frente la calzada principal o para girar a la derecha o a la izquierda sobre ella. Simultáneamente se deberá proveer la suficiente distancia de visibilidad a los conductores que viajan sobre la calzada principal, la cual deberá ser al menos igual a la distancia que recorre el vehículo sobre la calzada principal durante el tiempo que le toma al vehículo de la calzada secundaria realizar su maniobra de cruce o giro. La Figura 2.9 muestra el triángulo de visibilidad requerido bajo esta condición.

Figura 2.2.6 Distancia de visibilidad en intersecciones. Triángulo mínimo de visibilidad



[Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008](#)

La distancia de visibilidad para una maniobra de cruce de la calzada principal por un vehículo detenido en la calzada secundaria, está basada en el tiempo que le toma a este vehículo en despejar la intersección, y la distancia que recorre un vehículo sobre la calzada principal a la velocidad de diseño durante el mismo tiempo. La distancia mínima de visibilidad de cruce necesaria a lo largo de la calzada principal se debe calcular mediante la siguiente expresión:

$$d = 0,278 * V_g * (t_1 + t_2) \quad (2.2.1)$$

Dónde:

d: Distancia mínima de visibilidad lateral requerida a lo largo de la calzada principal, medida desde la intersección, en metros.

Corresponde a las distancias d1 y d2 de la Figura 2.2.6.

Ve: Velocidad Específica de la calzada principal, en km/h. Corresponde a la Velocidad específica del elemento de la calzada principal inmediatamente antes del sitio de cruce.

t1: Tiempo de percepción – reacción del conductor que cruza, adoptado en dos y medio segundos (2.5 s).

t2: Tiempo requerido para acelerar y recorrer la distancia S, cruzando la calzada principal, en segundos.

En t1 está incluido el tiempo necesario para que el conductor de un vehículo detenido por el "PARE" sobre la vía secundaria vea en ambas direcciones sobre la vía principal y deduzca si dispone del intervalo suficiente para cruzarla con seguridad y para que engrane su velocidad, previamente al arranque. El tiempo t2 necesario para recorrer la distancia S depende de la aceleración de cada vehículo. La distancia S se calcula como la suma de:

$$S = D + W + L \quad (2.2.2)$$

Dónde:

D: Distancia entre el vehículo parado y la orilla de la calzada principal, adoptada como tres metros (3.0 m).

W: Ancho de la calzada principal, en metros.

L: Longitud total del vehículo, en metros. Por lo tanto, el valor de t2, se debe obtener de la expresión:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2 * (D + W + L)}{9,8 * a}} \quad (2.2.3)$$

Dónde:

D: Tres metros (3.0 m).

W: Ancho de la calzada principal o anchura del total de carriles, en metros.

L: Depende del tipo de vehículo, así:

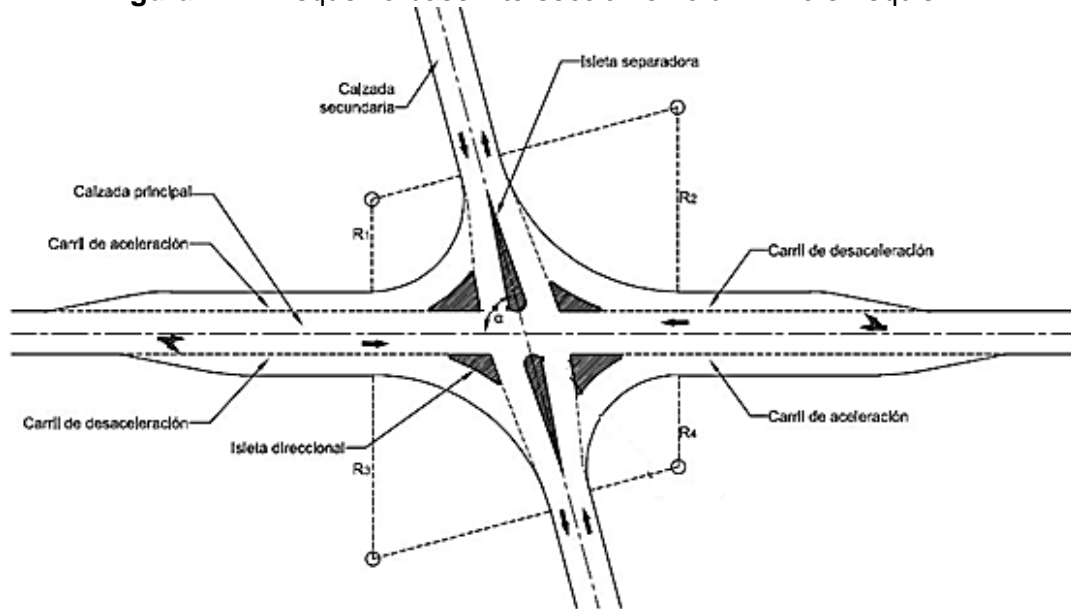
- 20.89 m para vehículos articulados (tracto camión con semirremolque).
- 11.00 m para camión de dos ejes
- 5.00 m para vehículos livianos

a: Aceleración del vehículo que realiza la maniobra de cruce, en m/s^2 .

- 0.055 para vehículos articulados.
- 0.075 para camiones de dos ejes (2).
- 0.150 para vehículos livianos.

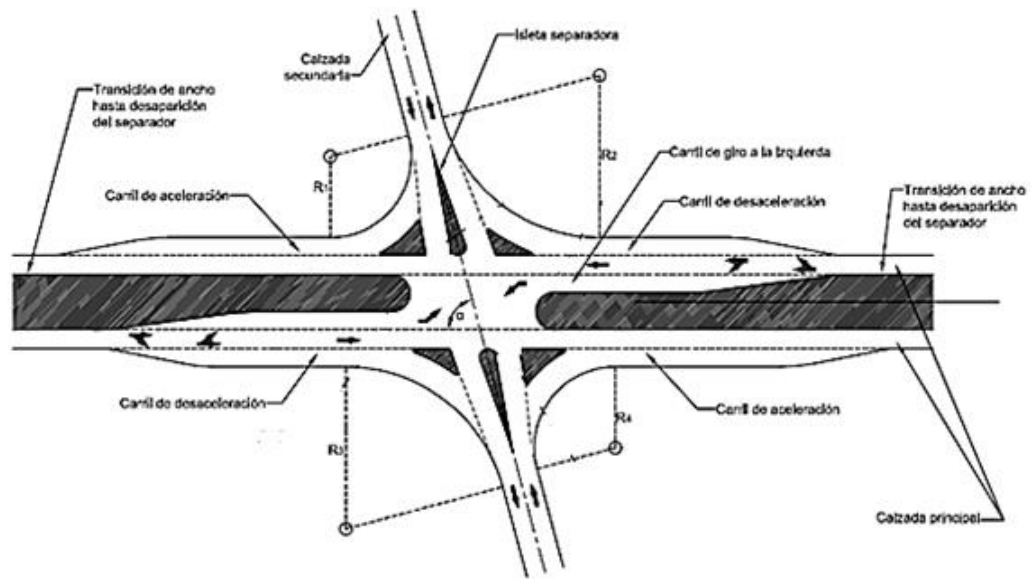
Canalizadas

Figura 2.2.7 Esquema base intersección en cruz “+” o en equis “X”



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Figura 2.2.8 Esquema base intersección en cruz “+” o en equis “X” con separador y carril de giro a la izquierda



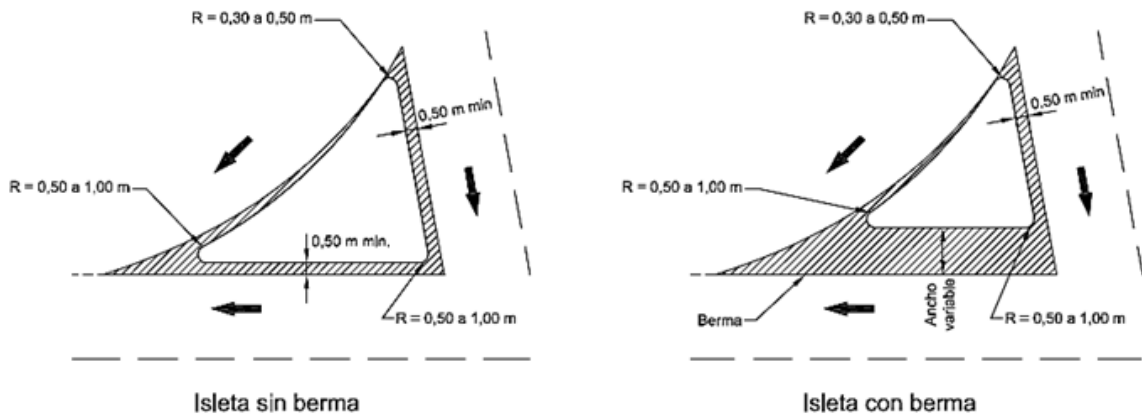
Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Criterios básicos de diseño:

1. **El ángulo de entrada (α):** Debe estar comprendido entre sesenta y noventa grados ($60^\circ - 90^\circ$).
2. **Radios:** Igual que en las intersecciones sin canalizar
3. **Pendiente:** La pendiente longitudinal de las calzadas que confluyen debe ser, en lo posible, menor de cuatro por ciento (4.0 %) para facilitar el arranque de los vehículos que acceden a la calzada principal.
4. **DC:** Igual que para las intersecciones sin Canalizar
5. **Isletas**

5.1 Isletas Tipo Direccionales. Se muestran en la Figura siguiente. Son de forma triangular, sirven de guía al conductor a lo largo de la intersección indicándole la ruta por seguir.

Figura 2.2.9 Isletas direccionales



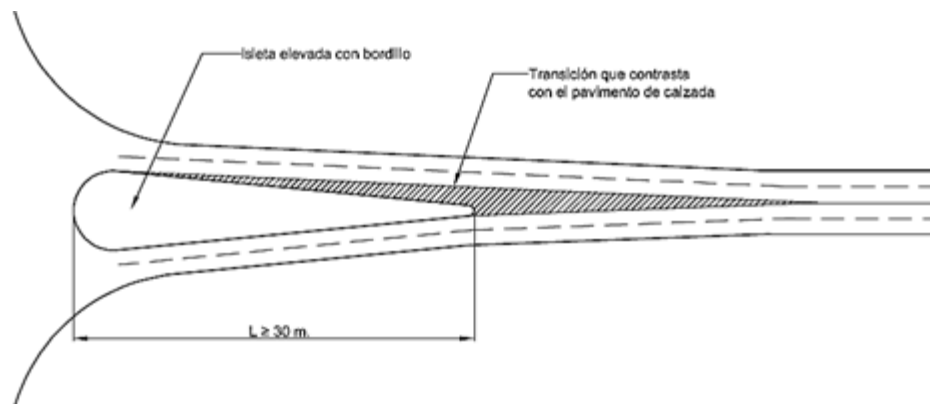
Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Criterios de diseño

Deben tener una superficie mínima de cuatro con cinco metros cuadrados (4.5 m²) preferiblemente siete metros cuadrados (7.0 m²). A su vez, los triángulos deben tener un lado mínimo de dos metros con cuarenta centímetros (2.40 m) y preferiblemente de tres metros con sesenta centímetros (3.60 m).

5.2 Isletas Tipo Separadoras. Tienen forma de lágrima y se usan principalmente en las cercanías de las intersecciones, en carreteras no divididas. El esquema se muestra en la Figura 2.2.10.

Figura 2.2.10 Isletas separadoras



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

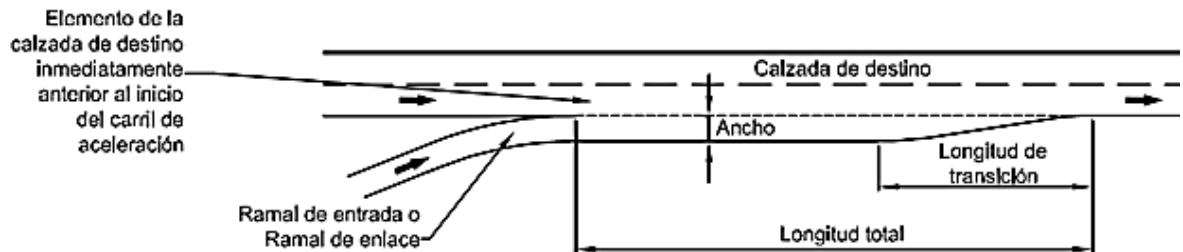
Criterios de diseño

Deben tener una longitud mínima de treinta metros (30 m) y preferiblemente de cien metros (100 m) o más, sobre todo cuando sirven a su vez para la introducción de un carril de giro. Si no pudieran tener la longitud recomendada deben ir precedidas de un pavimento rugoso notorio, resaltos sobre la calzada o, al menos, de marcas bien conservadas sobre el pavimento.

6. Diseño de carriles de cambio de velocidad:

➤ Carriles de aceleración

Figura 2.2.11 Esquema de un carril de aceleración.



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

El ancho de un carril de aceleración debe corresponder al del carril adyacente, pero no menor de tres metros con treinta centímetros (3.30 m).

Tabla 2.2.2. Longitud mínima del carril de aceleración

VÍA PRIMARIA (CALZADA DE DESTINO)								
Velocidad específica del ramal de entrada ⁽¹⁾ o de enlace ⁽²⁾ (km/h)		PARE	25	30	40	50	60	80
Velocidad Específica del elemento de la calzada de destino inmediatamente anterior al inicio del carril de aceleración (km/h)	Longitud de la transición (m)	Longitud total del carril de aceleración, incluyendo la transición (m)						
50	45	90	70	55	45	-	-	-
60	55	140	120	105	90	55	-	-
70	60	185	165	150	135	100	60	-
80	65	235	215	200	185	150	105	-
100	75	340	320	305	290	255	210	105
120	90	435	425	410	390	360	300	210
VÍA SECUNDARIA (CALZADA DE DESTINO)								
50	45	55	45	45	45	-	-	-
60	55	90	75	65	55	55	-	-
70	60	125	110	90	75	60	60	-
80	65	165	150	130	110	85	65	-
100	75	255	235	220	200	170	120	75
120	90	340	320	300	275	250	195	100

Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

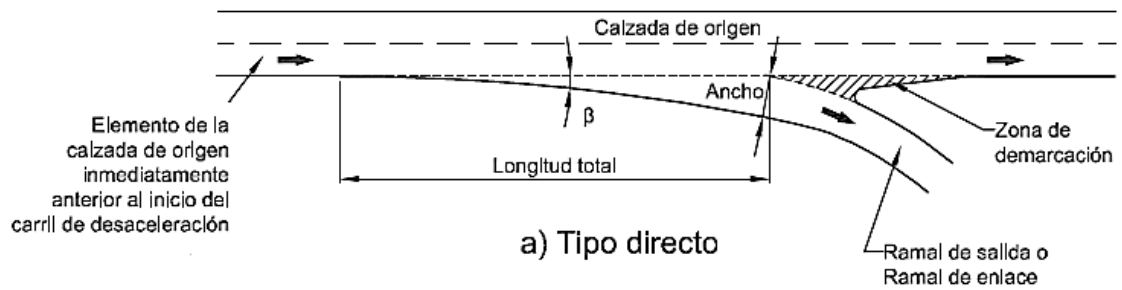
➤ **Carriles de desaceleración**

El ancho de un carril de desaceleración debe corresponder al del carril adyacente, pero no menor de tres metros con treinta centímetros (3.30 m).

- Tipo directo

Está constituido por un carril recto (o curvo de gran radio), que forma en el borde de la calzada principal un ángulo muy pequeño (β) (dos a cinco grados (2° a 5°)) y empalma con el ramal de salida o enlace.

Figura 2.2.12 Tipo directo

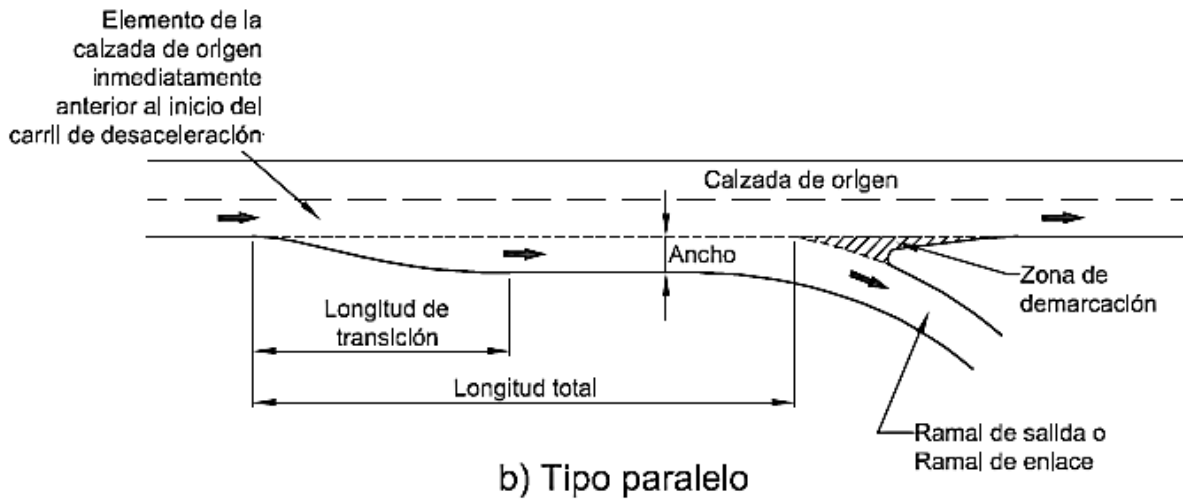


Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

- Tipo paralelo

Es un carril adicional que se añade a la vía principal, con una zona de transición de anchura variable.

Figura 2.2.12 Tipo paralelo



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

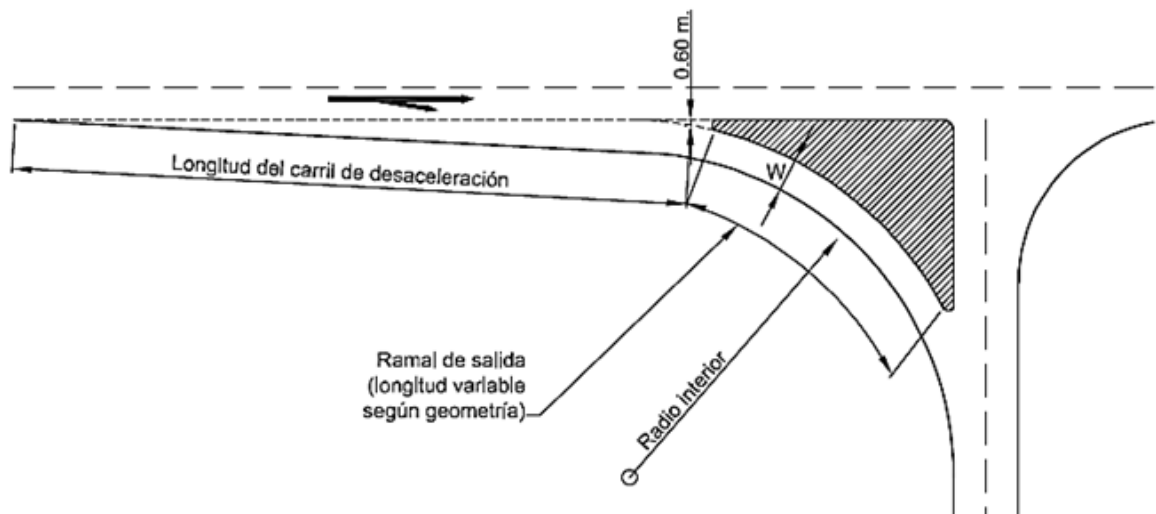
Tabla 2.2.3. Longitud mínima del carril de desaceleración

Velocidad específica del ramal de salida ⁽¹⁾ o de enlace ⁽²⁾ (km/h)		PARE	25	30	40	50	60	80
Velocidad Específica del elemento de la calzada de origen inmediatamente anterior al inicio del carril de desaceleración (km/h)	Longitud de la transición (m)	Longitud total del carril de desaceleración, incluyendo la transición (m)						
50	45	70	50	45	45	-	-	-
60	55	90	70	70	55	55	-	-
70	60	105	90	90	75	60	60	-
80	65	120	105	105	90	75	65	-
100	75	140	125	125	110	95	80	75
120	90	160	145	145	130	130	110	90

Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

7. Ramal de salida o ramal de entrada

Figura 2.2.13 Ancho del ramal de salida o de entrada



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

- Ancho de calzada. Se debe cumplir con las dimensiones ilustradas en la Figura 2.2.13 y consignadas en la Tabla 2.2.4.
- Peralte. Su valor debe estar entre dos y cuatro por ciento (2% - 4%) de acuerdo con el bombeo de las calzadas enlazadas.

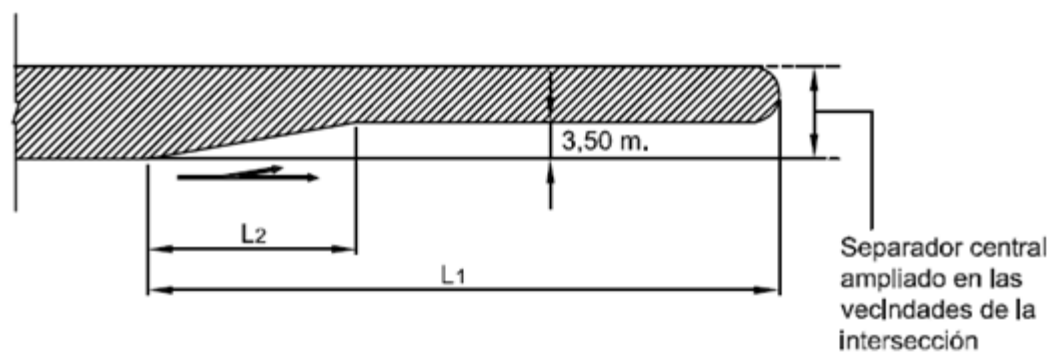
Tabla 2.2.4 Ancho de calzada en ramales de salida o de entrada enlace en función del Radio interior

RADIO INTERIOR (m)	ANCHO DE UN CARRIL SENCILLO, W (m)	ANCHO DE CALZADA CON UN ÚNICO CARRIL CON ESPACIO PARA SOBREPASAR UN VEHÍCULO ESTACIONADO, W (m)
15	6,20	9,50
20	5,70	8,90
25	5,30	8,40
30	5,00	8,00
40	4,60	7,40
50	4,50	7,00
75	4,50	6,50
100	4,50	6,20
150	4,50	6,10
Derecho	4,50	6,00

Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Carril de giro a la izquierda

Figura 2.2.14 Esquema carril de giro a la izquierda



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Tabla 2.2.5 Carril de giro a la izquierda

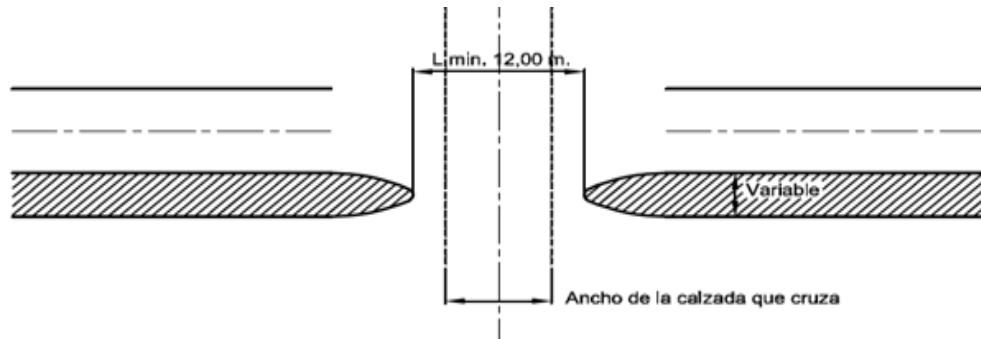
VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA CALZADA ADYACENTE AL CARRIL DE GIRO A LA IZQUIERDA (km/h)	L ₁ (m)	L ₂ (m)
50	80	30
60	100	30
80	125	45
100	155	45

Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

8. Abertura del separador central

Ya sea que se trate de una intersección en “T” o en “+”, la abertura del separador debe ser por lo menos igual al ancho de la calzada que cruza (pavimento más bermas) y en ningún caso menor de doce metros (12 m) de ancho. Si la calzada que cruza no tiene bermas la abertura del separador será igual al ancho del pavimento más dos metros con cincuenta centímetros (2.50 m).

Figura 2.2.15 Abertura del separador central



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

3. GLORIETAS

Son intersecciones con una forma generalmente circular, que se caracteriza por el rendimiento de entrada y la circulación alrededor de una isla central.

En este capítulo se resumirán los procedimientos para realizar tanto el análisis de tráfico como el geométrico en una glorieta.

3.1 ANÁLISIS DE TRÁFICO

Para determinar la capacidad y el nivel de servicio de glorietas se usaron 3 metodologías:

- a. Cálculo de capacidad y nivel de servicio del Highway Capacity Manual 2010,
- b. Cálculo de capacidad de acuerdo con las expresiones del Transport and Road Research Laboratory TRRL, de la Gran Bretaña y
- c. Capacidad de acuerdo con la fórmula de Wardrop, Gran Bretaña.

A continuación se explicara cada una de estas metodologías.

a. Highway Capacity Manual 2010:

⁶En el capítulo 21, Glorietas de la HCM 2010, se presentan los conceptos y procedimientos para el análisis de estas intersecciones. El proyecto National Cooperative Highway Research Program 3-65 proporcionó una amplia base de datos de las operaciones de la glorieta para las condiciones de Estados Unidos sobre la base de un estudio de 31 sitios. Los procedimientos que siguen se basan en gran medida en las recomendaciones de ese estudio. Estos procedimientos permiten al analista evaluar el rendimiento operativo de una glorieta de los niveles de demanda de tráfico, dado un solo carril o dos carriles existentes o previstos.

Límites de análisis de la intersección

El procedimiento de análisis presentado en este capítulo presupone que los límites del análisis son la glorieta en sí, incluyendo cruces peatonales asociados. Con este método solo se pueden analizar glorietas con máximo dos carriles en el anillo de circulación o en los accesos.

Criterios de Nivel de servicio

Se presentan los criterios de nivel de servicio para automóviles en glorietas en la tabla 3.1.1. Como las notas de la tabla, se asigna NDS F, si la relación volumen-capacidad de un acceso excede la unidad (1), independientemente del control de demora. Se realiza la

⁶ Highway Capacity Manual 2010

evaluación del NDS en los accesos y en la intersección. NDS se basa únicamente en el control de demora. Los límites de que se muestran en la tabla 3.1.1 se basan en el juicio ponderado del Comité de Transporte de la Junta de Investigación de Capacidad de Carreteras y Calidad de Servicio.

Tabla 3.1.1 Criterio Nivel se servicio

NDS Por relación v/c		DEMORA (Seg/Veh)
≤ 1,0	>1,0	
A	F	≤ 10.0
B	F	>10.0 y ≤ 15.0
C	F	>15.0 y ≤ 25.0
D	F	>25.0 y ≤ 35.0
E	F	>35.0 y ≤ 50.0
F	F	> 50.0

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Datos de entrada requeridos:

Son necesarios los siguientes datos para analizar una glorieta:

1. Número de carriles en cada acceso
2. Volumen de demanda para cada movimiento vehicular que entra a la glorieta y cada paso de peatones durante la hora pico
3. Factor de hora pico para dicha hora
4. Porcentaje de vehículos pesados

Ámbito de aplicación de la metodología

La metodología presentada en este capítulo se centra en el funcionamiento de las glorietas. La metodología no tiene en cuenta los efectos de los dispositivos de control de tránsito adyacentes, tales como señales de tráfico cercanos o pasos de peatones señalizados.

Esta versión de los procedimientos de análisis de la glorieta se debe principalmente a los estudios realizados por el National Cooperative Highway Research Program Proyecto 3-65 (1).

La metodología no es necesariamente aplicable a otros tipos de intersecciones circulares tales como tráfico circular vecino o glorietas señalizadas porque este tipo de

intersecciones circulares suelen tener elementos de control geométrico o de tráfico que se desvían de las utilizadas en las glorietas. Como resultado, su desempeño operacional puede ser significativamente diferente de la vivida en las glorietas y por lo tanto no puede ser modelada con precisión mediante el uso de los procedimientos de este capítulo.

Limitaciones de la metodología

Aunque la base de datos en que se basan estos procedimientos es el más integral desarrollado para las condiciones de Estados Unidos, no cubre todas las situaciones que pueden presentarse en la práctica. La metodología del capítulo es aplicable a glorietas aisladas con un máximo de dos carriles de entrada y de circulación.

Metodología:

Este capítulo presenta los procedimientos para el análisis de las glorietas, presenta las características únicas de la capacidad de esta y presenta la terminología específica. Para facilitar la consulta, se definen los siguientes términos:

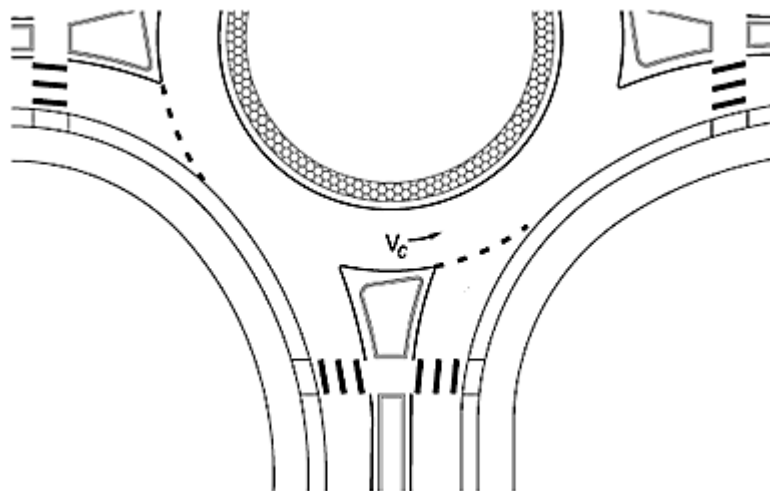
ve = flujo de entrada,

vc = flujo en conflicto

Conceptos de capacidad:

La capacidad de los accesos de una glorieta está en función del flujo en conflicto frente al acceso así:

Figura 3.1.1. *Flujo en conflicto frente al acceso*

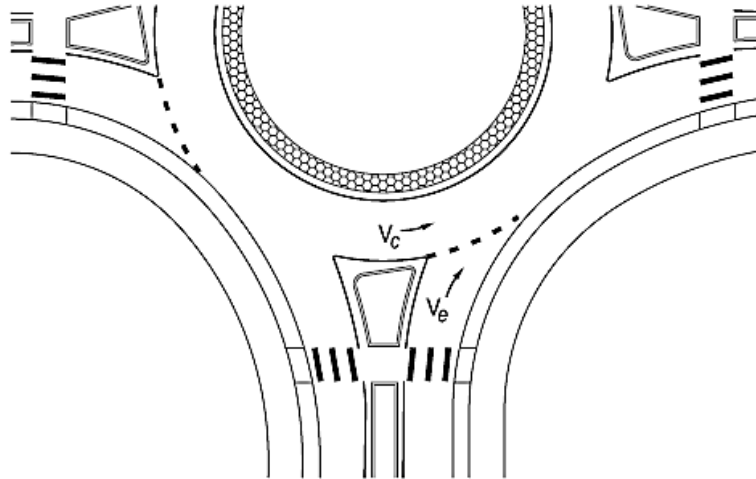


Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Para un mejor análisis, las ecuaciones de cálculo de capacidad se clasificaron de la siguiente manera:

1. Capacidad de glorietas de un solo carril:

Figura 3.1.2. Glorietas de un solo carril



Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

La ecuación para determinar la capacidad del acceso es:

$$C_{e,pce} = 1,130e^{(-1,0 \times 10^{-3})V_{c,pce}} \quad (3.1.1)$$

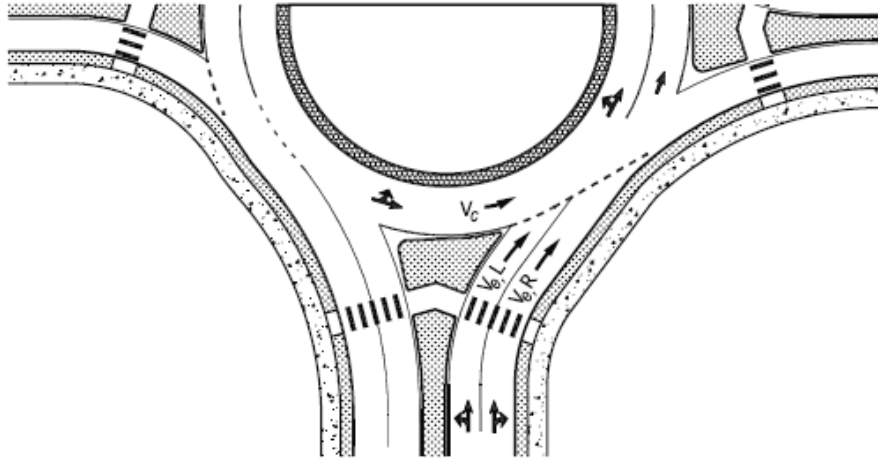
Donde

$C_{e,pce}$ = Capacidad de un acceso, ajustado para vehículos pesados (pc/h)

$V_{c,pce}$ = Flujo que circula por el anillo frente al acceso en análisis (pc/h)

2. Capacidad para accesos de dos carriles con un carril de circulación:

Figura 3.1.3. Accesos de dos carriles con un carril de circulación



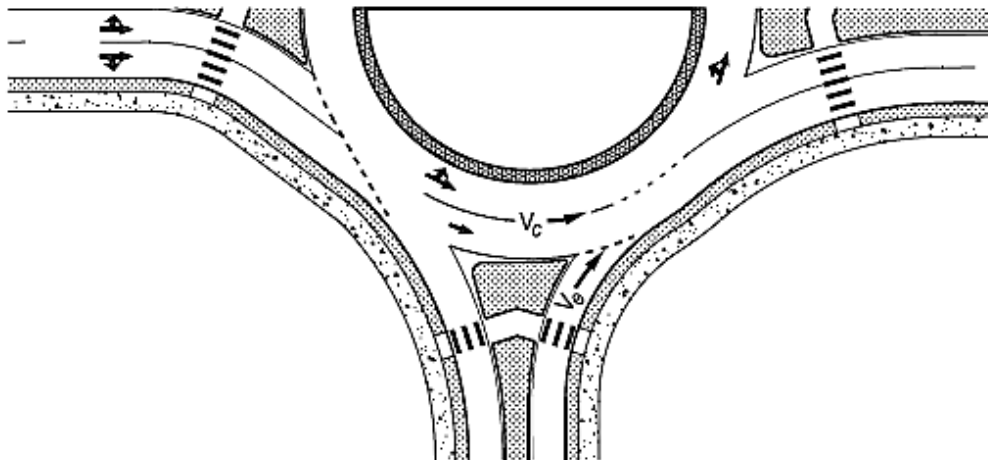
Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

La ecuación para determinar la capacidad es:

$$C_{e,pce} = 1,130e^{(-1,0 \times 10^{-3})v_{c,pce}} \quad (3.1.2)$$

3. Capacidad para accesos con 1 carril y 2 carriles circulantes:

Figura 3.1.4. Accesos con 1 carril y 2 carriles circulantes



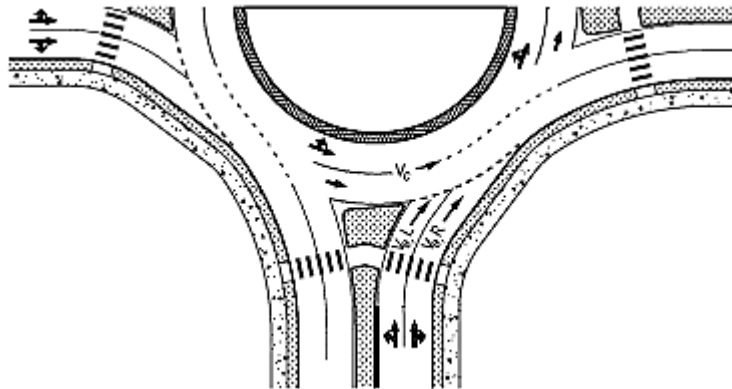
Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Se determina por la siguiente ecuación:

$$C_{e,pce} = 1,130e^{(-0,7*10^{-3})v_{c,pce}} \quad (3.1.3)$$

4. Capacidad para accesos de dos carriles con dos carriles circulantes:

Figura 3.1.5. Accesos de dos carriles con dos carriles



circulantes

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Las siguientes ecuaciones determinan la capacidad del carril de la derecha y de la izquierda del acceso:

$$C_{e,R,pce} = 1,130e^{(-0,7*10^{-3})v_{c,pce}} \quad (3.1.4)$$

$$C_{e,L,pce} = 1,130e^{(-0,75*10^{-3})v_{c,pce}} \quad (3.1.5)$$

Donde

$C_{e,R,pce}$ = Capacidad del carril derecho ajustado a vehículos pesados (pc/h)

$C_{e,L,pce}$ = Capacidad del carril izquierdo ajustado a vehículos pesados (pc/h)

$v_{c,pce}$ = Flujo circulante por el anillo frente al acceso (el total de los dos carriles)

Procedimiento:

A continuación se muestran los pasos a seguir para determinar la capacidad de los accesos de la glorieta y el nivel de servicio tanto para los accesos como para la intersección como un todo.

Paso 1: Convertir los volúmenes de demanda del movimiento a tasa de flujo

Paso 2: Ajustar la tasa de flujo para vehículos pesados

Paso 3: Determinar la tasa de flujo circulante y de salida

Paso 4: Determinar las tasas de entrada de flujo por carril

Paso 5: Determinar la capacidad de cada carril de entrada según sea apropiado en vehículos equivalentes.

Paso 6: Determinar la impedancia de peatones para vehículos

Paso 7: Convertir las tasas de flujo por carril y las capacidades en vehículos por hora

Paso 8: Calcular la relación volumen-capacidad para cada carril

Paso 9: Calcular el control de demora promedio para cada carril

Paso 10: Determinar el NDS para cada carril en cada acceso.

Paso 11: Calcular el control de demora promedio y determinar el nivel de servicio para cada acceso y la glorieta en conjunto

Paso 1: Convertir los volúmenes de demanda del movimiento a tasa de flujo

Para el análisis de las condiciones proyectadas o cuando los datos de 15 min no están disponibles, los volúmenes de demanda por hora en cada movimiento se convierten en tasa de flujo de demanda en el pico de 15 min en vehículos por hora, como se muestra en la ecuación 21-8, mediante el uso de un factor de hora pico para la intersección:

$$v_i = \frac{V_i}{PHF} \quad (3.1.6)$$

Donde

v_i = tasa de flujo de demanda para el movimiento i (veh/h),

V_i = volumen de demanda para el movimiento i (veh/h), y

PHF = factor de hora pico

Paso 2: Ajustar la tasa de flujo para vehículos pesados

La tasa de flujo para cada movimiento debe ser ajustada para tener en cuenta las características del flujo de los vehículos usando los factores dados en la tabla 3.1.2:

Tabla 3.1.2 *Equivalencia de Veh*

Tipo de Veh	Equivalencia de Veh, ET
-------------	----------------------------

Carro de pasajero	1
Vehículo pesado	2

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

El cálculo para incorporar estos valores se da en la Ecuación 21-9 y 3.1.2:

$$v_{i,pce} = \frac{v_i}{f_{HV}} \quad (3.1.7)$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1+P_T(ET-1)} \quad (3.1.8)$$

Donde

$v_{i,pce}$ = tasa de flujo de demanda para el movimiento i (pc/h);

v_i = tasa de flujo de demanda para el movimiento i (veh/h);

f_{HV} = factor de ajuste para vehículos pesados;

P_T = proporción de volumen de demanda que se compone de vehículos pesados;

ET = equivalente de carros de pasajeros para vehículos pesados.

Paso 3: Determinar la tasa de flujo circulante y de salida

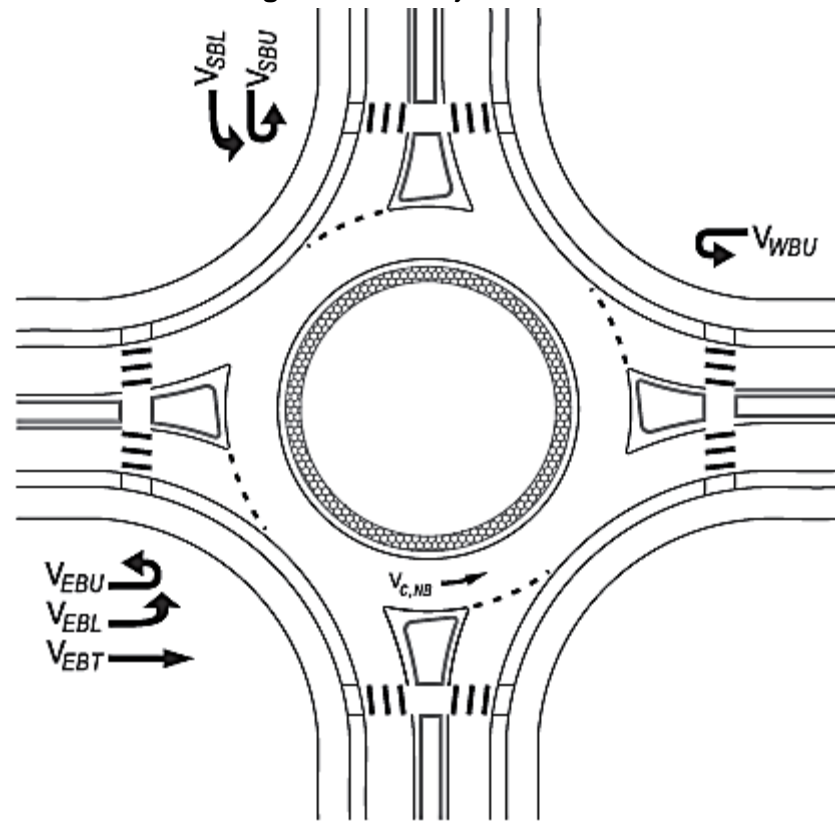
Las tasas de flujo circulante se calculan para cada acceso de la glorieta. Aunque la metodología que sigue se aplica en una glorieta de 4 accesos, puede servir para cualquier otro tipo de glorieta.

Flujo circulante:

El flujo circulante que se opone a una entrada se define como el flujo en conflicto con el flujo de entrada (es decir, el paso de flujo delante de la isla divisoria junto a la entrada).

El cálculo del flujo circulante para la tasa de flujo que circula hacia el norte se ilustra en la gráfica 3.1.6 y numéricamente en la ecuación 3.1.9. Todos los flujos son en vehículos de pasajeros equivalentes.

Figura 3.1.6. Flujo



circulante

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

$$v_{c,NB,pce} = v_{WBU,pce} + v_{SBU,pce} + v_{EBT,pce} + v_{EBL,pce} + v_{EBU,pce} \quad (3.1.9)$$

Paso 4: Determinar las tasas de entrada de flujo por carril

Para las entradas de un solo carril, la tasa de flujo de entrada es la suma de todas las tasas de movimiento de flujo usando esa entrada. Para las entradas de varios carriles con carriles el siguiente procedimiento puede utilizarse para asignar flujos a cada carril:

1. Si solo un carril está disponible para un movimiento dado, el flujo para este movimiento se asigna solo a ese carril.
2. El resto del flujo se supone que se distribuye a través de todos los carriles, con sujeción a las limitaciones impuestas por cualquier designada o asignaciones de los factores de carriles y cualquier desequilibrio carril observados o estimados de utilización.

Cinco casos multicarriles generalizados se pueden analizar con este procedimiento. Para los casos en que un movimiento puede utilizar más de un carril, una primera verificación debe ser hecha para determinar cuál es la configuración de carril que puede ser asumida. Esto puede diferir de la asignación de carriles designados en base a los patrones de movimiento específicos de torneado que se analiza.

Estas asignaciones de carril asumidas se dan en el cuadro 3.1.3. Para las intersecciones con un número diferente de accesos, el analista debe ejercer un juicio razonable en la asignación de volúmenes para cada carril.

Tabla 3.1.3 *Asignaciones de carril*

Designated Lane Assignment	Assumed Lane Assignment
LT, TR	If $v_U + v_L > v_T + v_{R,e}$: L, TR (de facto left-turn lane) If $v_{R,e} > v_U + v_L + v_T$: LT, R (de facto right-turn lane) Else LT, TR
L, LTR	If $v_T + v_{R,e} > v_U + v_L$: L, TR (de facto through-right lane) Else L, LTR
LTR, R	If $v_U + v_L + v_T > v_{R,e}$: LT, R (de facto left-through lane) Else LTR, R

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Sobre la base de la asignación de carril asumido para la entrada y el efecto de la utilización de carril se ha descrito anteriormente, las tasas de flujo se puede asignar a cada carril mediante el uso de las fórmulas dadas en la tabla 3.1.4. En esta tabla, % RL es el porcentaje del tráfico de entrada usando el carril de la derecha, % LL es el porcentaje del tráfico de entrada que utiliza el carril izquierdo, y $\%LL + \%RL = 1$.

Tabla 3.1.4 *Asignaciones de*

Case	Assumed Lane Assignment	Left Lane	Right Lane
1	L, TR	$v_U + v_L$	$v_T + v_{R,e}$
2	LT, R	$v_U + v_T + v_T$	$v_{R,e}$
3	LT, TR	$(\%LL)v_e$	$(\%RL)v_e$
4	L, LTR	$(\%LL)v_e$	$(\%RL)v_e$
5	LTR, R	$(\%LL)v_e$	$(\%RL)v_e$

carril

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Tabla 3.1.5. *Valores por defecto para utilización de carril de accesos de 2 carriles*

Lane Configuration	% Traffic in Left Lane ^a	% Traffic in Right Lane ^a
Left-through + through-right	0.47	0.53
Left-through-right + right	0.47	0.53
Left + left-through-right	0.53	0.47

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Paso 5: Determinar la capacidad de cada carril de entrada en vehículos equivalentes.

La capacidad de cada carril de entrada se calcula usando las ecuaciones de capacidad discutidos anteriormente. Ecuaciones de capacidad para carriles de entrada se resumen en la tabla 3.1.6.

Tabla 3.1.6. Ecuaciones de capacidad para carriles de entrada

Entering Lanes	Conflicting Circulating Lanes	Capacity Equation
1	1	Equation 21-1
2	1	Each lane: Equation 21-2
1	2	Equation 21-3
2	2	Right lane: Equation 21-4; left lane: Equation 21-5

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Paso 6: Determinar Impedancia de peatones para vehículos

El tráfico peatonal puede reducir la capacidad vehicular de una glorieta si están presentes suficientes peatones. Bajo altos flujos vehiculares en conflicto, los peatones suelen pasar entre los vehículos en cola en la entrada y por lo tanto tienen un impacto insignificante sobre la capacidad de entrada adicional vehicular. Sin embargo, en condiciones de bajos flujos contrapuestos de vehículos, los peatones efectivamente pueden funcionar como vehículos adicionales conflictivos y así reducir la capacidad vehicular de la entrada. El efecto de los peatones es más pronunciado con el aumento de volumen de peatones.

Para las entradas de una glorieta de un solo carril, el modelo que figura 3.1.7 se puede utilizar para aproximarse a este efecto (6). Estas ecuaciones se basan en la suposición de que los peatones tienen prioridad absoluta.

Figura 3.1.7. Modelo Factor de ajuste de peatones que cruzan un carril para la capacidad de

entrada

Case	One-Lane Entry Capacity Adjustment Factor for Pedestrians
If $v_{c,pce} > 881$	$f_{ped} = 1$
Else if $n_{ped} \leq 101$	$f_{ped} = 1 - 0.000137n_{ped}$
Else	$f_{ped} = \frac{1,119.5 - 0.715v_{c,pce} - 0.644n_{ped} + 0.00073v_{c,pce}n_{ped}}{1,068.6 - 0.654v_{c,pce}}$

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Donde:

f_{ped} = Factor de ajuste de peatones para la capacidad de entrada;

n_{ped} = Número de peatones en conflicto por hora (t/h);

$v_{c;pce}$ = Flujo vehicular circulante en el anillo frente al acceso (pc/h).

Para las entradas de dos carriles, el modelo que figura 3.1.8 se puede utilizar para aproximarse a este efecto (6). Estas ecuaciones comparten el supuesto de que los peatones tienen prioridad absoluta.

Figura 3.1.8. Modelo Factor de ajuste de peatones que cruzan dos carril para la capacidad de entrada

Case	Two-Lane Entry Capacity Adjustment Factor for Pedestrians
If $n_{ped} < 100$	$f_{ped} = \min \left[1 - \frac{n_{ped}}{100} \left(1 - \frac{1,260.6 - 0.329v_{c,pce} - 0.381 \times 100}{1,380 - 0.5v_{c,pce}} \right), 1 \right]$
Else	$f_{ped} = \min \left[\frac{1,260.6 - 0.329v_{c,pce} - 0.381n_{ped}}{1,380 - 0.5v_{c,pce}}, 1 \right]$

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Paso 7: Convertir la tasa de flujo del carril y las capacidades en vehículos por hora

La tasa de flujo para un determinado carril se convierte de nuevo a vehículos por hora multiplicando la tasa de flujo de coche de pasajeros equivalentes calculado en el paso anterior por el factor de vehículos pesados para el carril, como se muestra en la Ecuación 3.1.10:

$$v_i = v_{i,PCE} f_{HV,e} \quad (3.1.10)$$

Donde

v_i = tasa de flujo para el carril i (veh/h);

$v_{i,PCE}$ = tasa de flujo para el carril i (pc/h);

$f_{HV,e}$ = factor de ajuste de vehículos pesados para el carril (ver más abajo).

Del mismo modo, la capacidad de un determinado carril se convierte de nuevo a vehículos por hora, como se muestra en la Ecuación 3.1.11:

$$c_i = c_{i,PCE} f_{HV,e} f_{ped} \quad (3.1.11)$$

Donde

c_i = capacidad para el carril i (veh/h);

$c_{i,PCE}$ = capacidad para el carril i (pc/h);

$f_{HV,e}$ = factor de ajuste de vehículos pesados para el carril (ver abajo);

f_{ped} = factor de impedancia de peatones.

El factor de ajuste de vehículos pesados para cada carril de entrada se puede aproximar mediante la adopción de un promedio ponderado de los factores de ajuste vehículos pesados para cada movimiento de entrada de la glorieta ponderado por la tasa de flujo, como se muestra en la Ecuación 21 - 15:

$$f_{HV,e} = \frac{f_{HV,U} v_{U,pce} + f_{HV,L} v_{L,pce} + f_{HV,T} v_{T,pce} + f_{HV,R,e} v_{R,e,pce}}{v_{U,pce} + v_{L,pce} + v_{T,pce} + v_{R,e,pce}} \quad (3.1.12)$$

Donde

$f_{HV,e}$ = factor de ajuste de vehículos pesados para el carril de entrada;

$f_{HV,i}$ = factor de ajuste de vehículos pesado para el movimiento i ;

$v_{i,PCE}$ = tasa de flujo de demanda para el movimiento i (pc/h);

f_{hv} calculado en el paso 2.

Paso 8: Calcular la relación volumen-capacidad para cada carril

Para un carril determinado, la relación volumen-capacidad x se calcula dividiendo la capacidad calculada del carril entre su tasa de flujo de demanda, como lo muestra la ecuación 3.1.13. Ambos valores de entrada están en vehículos por hora.

$$x_i = \frac{v_i}{c_i} \quad (3.1.13)$$

Donde

x_i =relación volumen-capacidad del carril i ;
 v_i =tasa de flujo de demanda del carril i (veh/h);
 c_i =capacidad del carril i (veh/h).

Paso 9: Calcular el control de demora promedio para cada carril

La ecuación 3.1.14 muestra el modelo que se debe utilizar para estimar el control de demora promedio para cada carril de un acceso de la glorieta:

$$d = \frac{3600}{c} + 900T \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c}\right)x}{450T}} \right] + 5 * \min[x, 1] \quad (3.1.14)$$

Nota: El tercer término de esta ecuación utiliza la relación volumen-capacidad calculada o 1, el que sea menor.

Donde

d = control de demora promedio (s/veh);
 x = relación volumen-capacidad del carril;
 c = capacidad del carril (veh/h);
 T = periodo de tiempo (h) ($T = 0.25$ h para un análisis de 15-min).

Paso 10: Determine NDS para cada carril en cada enfoque

El NDS para cada carril en cada acceso se determina mediante el uso de la tabla 3.1.1 y el valor de control de demora calculado o medido.

Tabla 3.1.1 Criterio Nivel se servicio

NDS Por relación v/c		DEMORA (Seg/Veh)
≤ 1,0	>1,0	
A	F	≤ 10.0
B	F	>10.0 y ≤ 15.0
C	F	>15.0 y ≤ 25.0

D	F	>25.0 y ≤ 35.0
E	F	>35.0 y ≤ 50.0
F	F	> 50.0

Fuente, HCM10 (The Highway Capacity Manual 2010)

Paso 11: Calcular el control de demora promedio y determinar el NDS para cada acceso y de la glorieta como un todo

El control de demora para un acceso se calcula mediante una media ponderada de la demora para cada carril del acceso por el volumen en cada carril. El NDS para cada acceso se determina mediante el uso de la tabla 3.1.1 y los valores calculados o medidos del control de demora.

$$d_{\text{acceso}} = \frac{d_{LL}v_{LL} + d_{RL}v_{RL}}{d_{LL} + v_{LL}} \quad (3.1.15)$$

El control de demora de la intersección como un todo se calcula de manera similar mediante el cálculo de una media ponderada de la demora para cada acceso, ponderada por el volumen de cada acceso. El NDS de la intersección se determina mediante el uso de la tabla 3.1.1 y los valores calculados o medidos del control de demora.

$$d_{\text{Intersección}} = \frac{\sum d_i \cdot v_i}{\sum v_i} \quad (3.1.16)$$

Donde

$d_{\text{intersección}}$ = control de demora de la intersección (s/veh);

d_i = control de demora del acceso i (s/veh);

v_i = tasa de flujo para la intersección i (veh/h).

Valores por defecto:

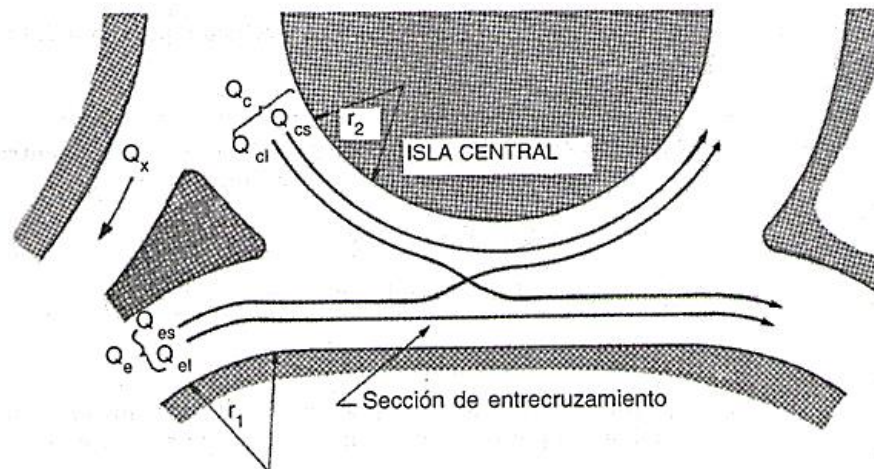
Los volúmenes de demanda, así como el número y la configuración de los carriles en una rotonda son específicos y por lo tanto no se prestan a los valores predeterminados. Los siguientes valores predeterminados se pueden aplicar a un análisis rotonda:

- Factor de hora pico = 0,92, y
- Porcentaje de vehículos pesados = 3%.

b. Método de Transport and Road Research Laboratory TRRL de la Gran Bretaña:

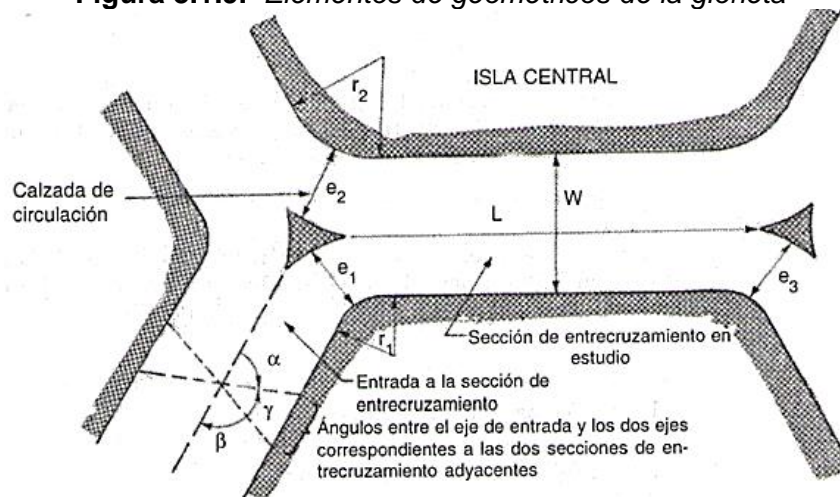
Las expresiones del TRRL permiten determinar la capacidad, en términos del flujo que pueda entrar a la glorieta desde un acceso dado, a partir del conocimiento del flujo en circulación y de las características geométricas del acceso y de la sección de entrecruzamiento, estos elementos se indican a continuación:

Figura 3.1.8. Elementos de flujo de la glorieta



Fuente: ARBOLEDA VÉLEZ, Germán. Cálculo y diseño de Glorietas. AC editores. Santiago de Cali, 2000.

Figura 3.1.9. Elementos de geométricos de la glorieta



Fuente: ARBOLEDA VÉLEZ, Germán. Cálculo y diseño de Glorietas. AC editores. Santiago de Cali, 2000.

Características Geométricas

La capacidad de flujo de entrada por un acceso determinado de la glorieta está dada por:

$$Q_e = F - f_c Q_c \text{ ade/hora (1 vehículo pesado}=2,0 \text{ ade)} \quad (3.1.17)$$

Donde:

$$F_i = 233 e_1 \left(1.5 - \frac{1}{\sqrt{r_1}} \right) - 255 \quad (3.1.18);$$

$$f_c = 0.0449(2e_1 - W) + 0.282 \quad (3.1.19);$$

Q_c = Flujo en circulación (ade/h);

Q_e = Capacidad de flujo de entrada (ade/h)

Los rangos de los parámetros empleados en el estudio estadístico que originó las anteriores expresiones son:

$$e_1: 0,4 \text{ a } 12,5 \text{ m}$$

$$\frac{e_1}{\sqrt{r_1}}: 0,74 \text{ a } 3,3 \text{ m}$$

$$2e_1 - W: 2,5 \text{ a } 9,5 \text{ m}$$

$$Q_c: 580 \text{ a } 3890 \text{ ade/h}$$

c. Método de Wardrop, Gran Bretaña:

La capacidad práctica, Q_p , de cada sección de entrecruzamiento entre entradas de una glorieta se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$Q_p = \frac{160W (1 + \frac{e}{W})}{1 + \frac{L}{W}}, \text{ en vehículos por hora} \quad (3.1.20)$$

Dónde:

W : ancho de la sección de entrecruzamiento, en metros

e : ancho promedio de las entradas a la sección de entrecruzamiento, metros

$$e = (e_1 + e_2)/2 \quad (3.1.21)$$

L : longitud de la sección de entrecruzamiento, en metros

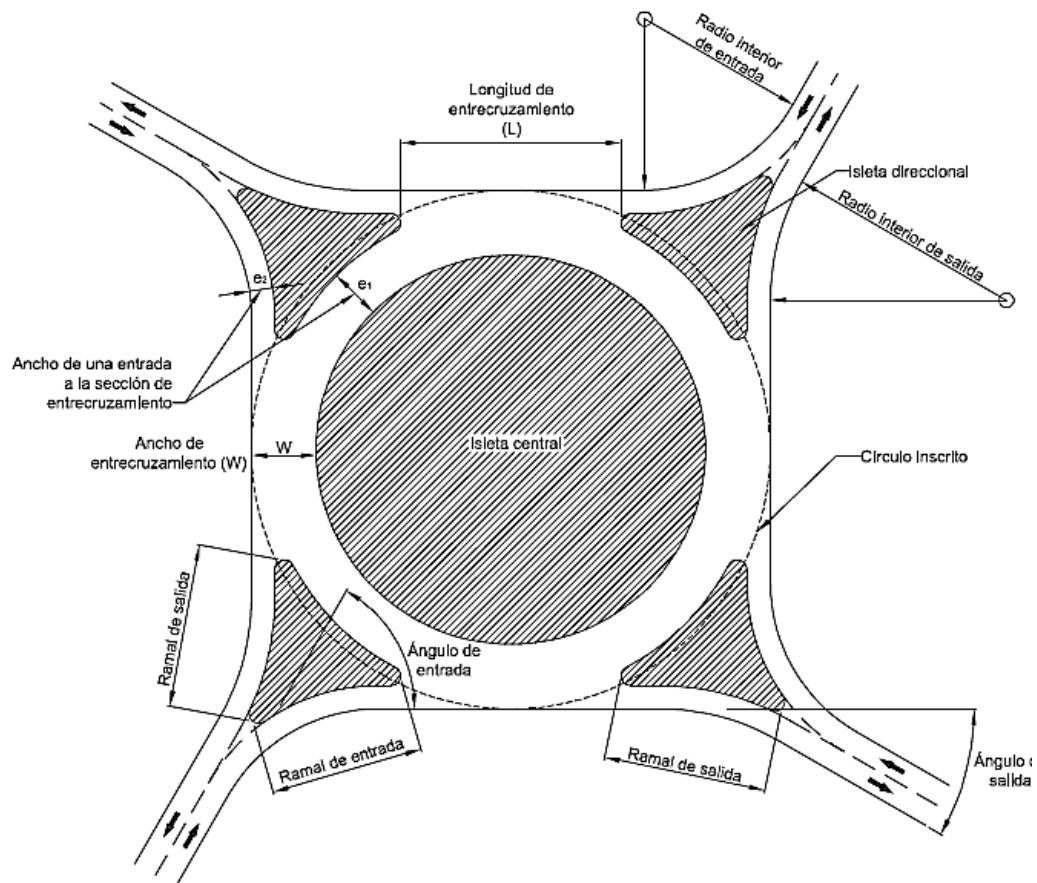
W = ancho de entrecruzamiento después del acceso (m);
 r_1 = radio de entrada del acceso (m);
 e_1 = ancho de entrada (m).

3.2 ANÁLISIS GEOMÉTRICO

Los parámetros de diseño geométrico se encuentran basados en el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS, apoyado por The Policy on geometric design of headway and streets –AASHTO 2011.

En la siguiente figura se muestran los principales parámetros geométricos para una glorieta.

Figura 3.2.1 Principales parámetros geométricos para una glorieta.



Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

La normativa y los límites de cada uno de estos parámetros se definen a continuación.

a. Velocidad de diseño (km/h)

Según la AASHTO, la velocidad de diseño depende del tipo de glorieta que se desea analizar y se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.2.1 Comparación de tipo de glorietas

Design Element	Mini-Roundabout	Single-Lane Roundabout	Multilane Roundabout
Recommended maximum entry design speed	25 to 30 km/h [15 to 20 mph]	30 to 40 km/h [20 to 25 mph]	40 to 50 km/h [25 to 30 mph]

Fuente, AASHTO 2011

La AASHTO habla de 3 tipos de glorietas: Mini-glorieta, glorieta de un carril y glorieta multicarril y las define así:

Tipos de glorietas:

Las glorietas pueden ser consideradas en tres categorías básicas según el tamaño y número de carriles.

Cualquiera de las categorías puede ser apropiada para su aplicación en las zonas rurales, suburbanas o urbanas. Las rotondas en las zonas urbanas pueden necesitar menor diámetro del círculo inscrito por diseñar para vehículos más pequeños y las limitaciones de existir derecho de vía. También pueden incluir peatonal más extensa y características de bicicleta. Las rotondas en las zonas rurales suelen tener mayores velocidades de aproximación y, por tanto, pueden necesitar atención especial a visibilidad, el enfoque de alineación, y los detalles de la sección transversal.

Mini-glorieta:

Son glorietas pequeñas que se usan en baja velocidad en entornos urbanos. La Figura siguiente es un ejemplo de una mini-rotonda. Pueden ser útiles en baja velocidad en entornos urbanos en los casos en que se impidió el diseño de una glorieta convencional por las limitaciones de derecho de paso.

Figura 3.2.2. Mini-glorieta

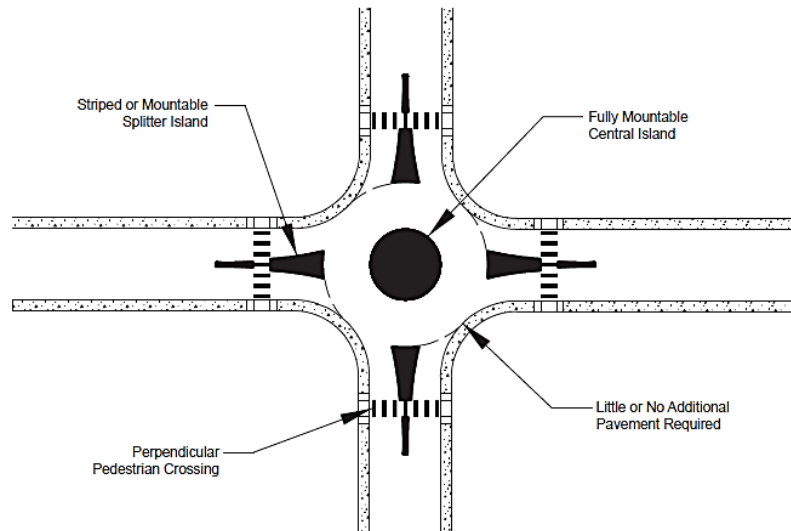


Figure 9-11. Typical Mini-Roundabout

Fuente, AASHTO 2011

Glorietas de un solo carril

Este tipo de glorieta se caracteriza por tener un carril de entrada individual en todas las patas y un carril circulatorio. La Figura siguiente proporciona un ejemplo de una típica glorieta urbana de un solo carril. Se distinguen de las mini-glorietas por sus diámetros mayores de círculo inscrito y sus islas centrales no alzadas. Su diseño permite velocidades ligeramente más altas en la entrada, en la calzada circulatoria, y en la salida. El diseño geométrico incluye islas divisoras alzadas, una isla central no alzada, y por lo general un sobreebanco de camión. El tamaño de la glorieta es en gran parte influido por la elección del vehículo de diseño.

Figura 3.2.3. Glorietas de un solo carril

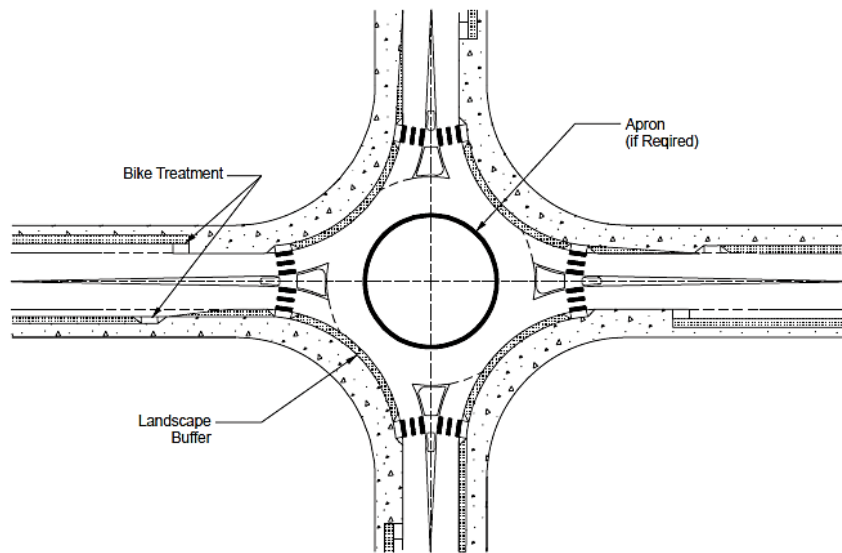


Figure 9-12. Typical Single-Lane Roundabout

Fuente, AASHTO 2011

Glorietas multicarril

Las glorietas multicarril incluyen todas las glorietas que tienen por lo menos una entrada con dos o más carriles. En algunos casos, la glorietta puede tener un número diferente de carriles en uno o más accesos. Por ejemplo, una glorietta con dos entradas de dos carriles y una sola entrada de un solo carril aún sería considerado una glorietta multicarril. Estas necesitan más calzadas de circulación amplias para dar cabida a más de un vehículo que viaja de un lado a otro. La Figura siguiente proporciona un ejemplo de una típica glorietta multicarril. Las velocidades de la entrada, en la calzada circulatoria, y en la salida son similares o pueden ser ligeramente superiores a los de las glorietas de un solo carril. Al igual que glorietas de un solo carril, es importante que las velocidades vehiculares sean consistentes a lo largo de la glorietta. El diseño geométrico incluirá islas divisoras alzadas o elevadas, un sobrecancho de camión, una isla central no alzada y una apropiada deflexión horizontal.

Figura 3.2.4 *Glorietas multicarril*

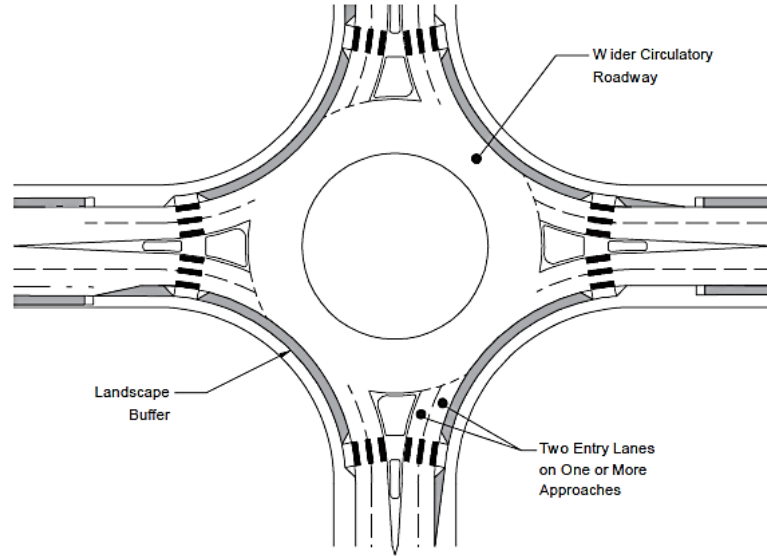


Figure 9-13. Typical Multilane Roundabout

Fuente, AASHTO 2011

b. Volumen típico diario (veh/día)

Al igual que la velocidad de diseño, el volumen típico diario depende del tipo de glorieta que se desea analizar y se resume en la siguiente tabla:

Tabla 3.2.2 Comparación de tipo de glorietas

Design Element	Mini-Roundabout	Single-Lane Roundabout	Multilane Roundabout
Typical daily volumes on 4-leg roundabout (veh/day)	0 to 15,000	0 to 20,000	20,000+

Fuente, AASHTO 2011

c. Diámetro del círculo inscrito

La AASHTO muestra los siguientes límites para el diámetro inscrito según el tipo de glorieta:

Tabla 3.2.3 Comparación de tipo de glorietas

Design Element	Mini-Roundabout	Single-Lane Roundabout	Multilane Roundabout
Typical inscribed circle diameter	13 to 27 m [45 to 90 ft]	27 to 46 m [90 to 150 ft]	40 to 76 m [140 to 250 ft]

Fuente, AASHTO 2011

- d. Diámetro de la isleta central
- e. Relación W/L (sección de entrecruzamiento)
- f. Ancho de la sección de entrecruzamiento
- g. Radio interior de entrada mínimo
- h. Radio interior de salida mínimo
- i. Angulo de entrada
- j. Angulo de Salida

Estos parámetros se resumen en la tabla 3.2.4 del Manual de diseño Geométrico del INVIAS y no depende del tipo de glorieta que se esté analizando.

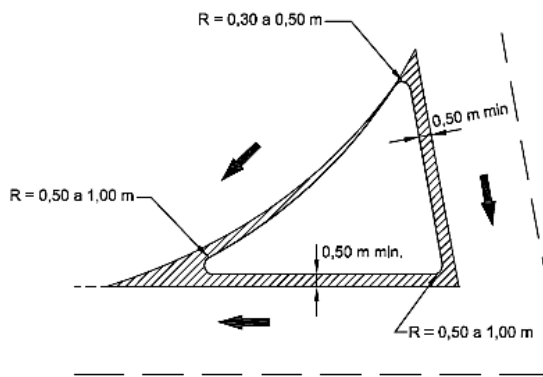
Tabla 3.2.4. Criterios de diseño de glorietas

DESCRIPCIÓN		UNIDAD	MAGNITUD
Diámetro mínimo de la isleta central		m	25
Relación W/L			entre 0,25 y 0,40
Ancho sección de entrecruzamiento		m	Máximo 15
Radio interior mínimo en los accesos	De entrada	m	30
	De salida	m	30
Ángulo ideal de entrada			60°
Ángulo ideal de salida			30°

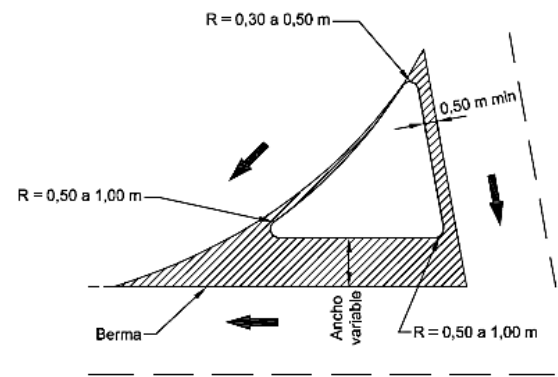
- k. Longitud de lado de la isleta direccional:

Se muestran en la Figura siguiente del manual de diseño geométrico del INVIAS. Son de forma triangular, sirven de guía al conductor a lo largo de la intersección indicándole la ruta por seguir.

Figura 3.2.5. Isletas Direccionales



Isleta sin berma



Isleta con berma

Fuente, Manual de Diseño Geométrico INVIAS 2008

Deben tener una superficie mínima de cuatro con cinco metros cuadrados (4.5 m²) preferiblemente siete metros cuadrados (7.0 m²). A su vez, los triángulos deben tener un lado mínimo de dos metros con cuarenta centímetros (2.40 m) y preferiblemente de tres metros con sesenta centímetros (3.60 m).

Anexo C: Aplicación, resultados y conclusión

APLICACIÓN, RESULTADOS Y COMPARACIÓN

HERRAMIENTA DE APOYO PARA EL ANÁLISIS DE TRÁFICO Y DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIONES VIALES

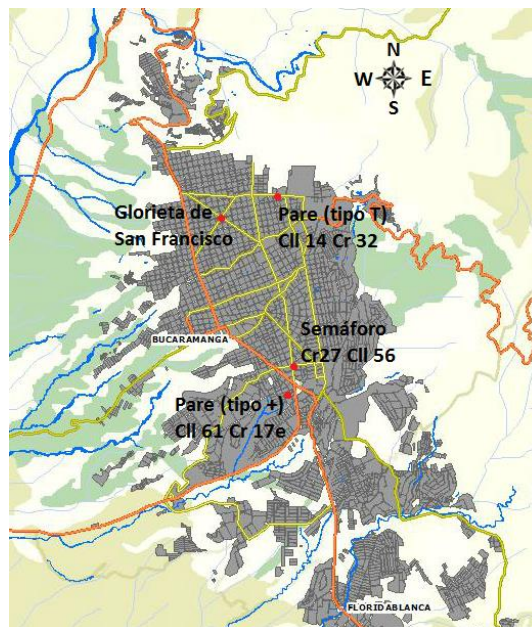
La herramienta de apoyo para intersecciones viales a nivel permite el análisis de tráfico y la verificación de diseño geométrico de cuatro tipos de intersecciones. La elección de estas en la ciudad de Bucaramanga para el análisis que se realizó, se hizo de acuerdo con intersecciones de las cuales se contara con datos de tráfico, de geometría y de señalización. El grupo de investigación Geomática de la Escuela de Ingeniería Civil brindó dicha información, así como los modelos de microsimulación en el software Transmodeler de cada una de las intersecciones para realizar la validación de la herramienta de apoyo.

Se escogieron las siguientes cuatro 4 intersecciones, una de cada tipo:

- Intersección de 4 accesos controlada por semáforos de tiempo fijo: *Kra 27 con Cll 56*
- Intersección de tres accesos (tipo T) controlada con señal de pare: *Cll 14 con Kra 32*
- Intersección de cuatro accesos (tipo +) controlada con señal de pare: *Cll 61 con Kra 17e*
- Glorieta de 8 accesos: *Glorieta San Francisco*

En la Figura 1 se muestra un mapa de la ciudad de Bucaramanga, en donde se ubican las 4 intersecciones viales a nivel seleccionadas para el análisis:

Figura 1. *Intersecciones seleccionadas*



Fuente, Sistema de información de la movilidad y el espacio público urbano de Bucaramanga.

A continuación se presenta una descripción de los resultados obtenidos en los dos análisis.

3.1 Análisis de tráfico

La herramienta desarrollada realizó el análisis de tráfico de las 4 intersecciones seleccionadas y comparando sus resultados con los obtenidos de los modelos de microsimulación de Transmodeler se obtuvo lo siguiente:

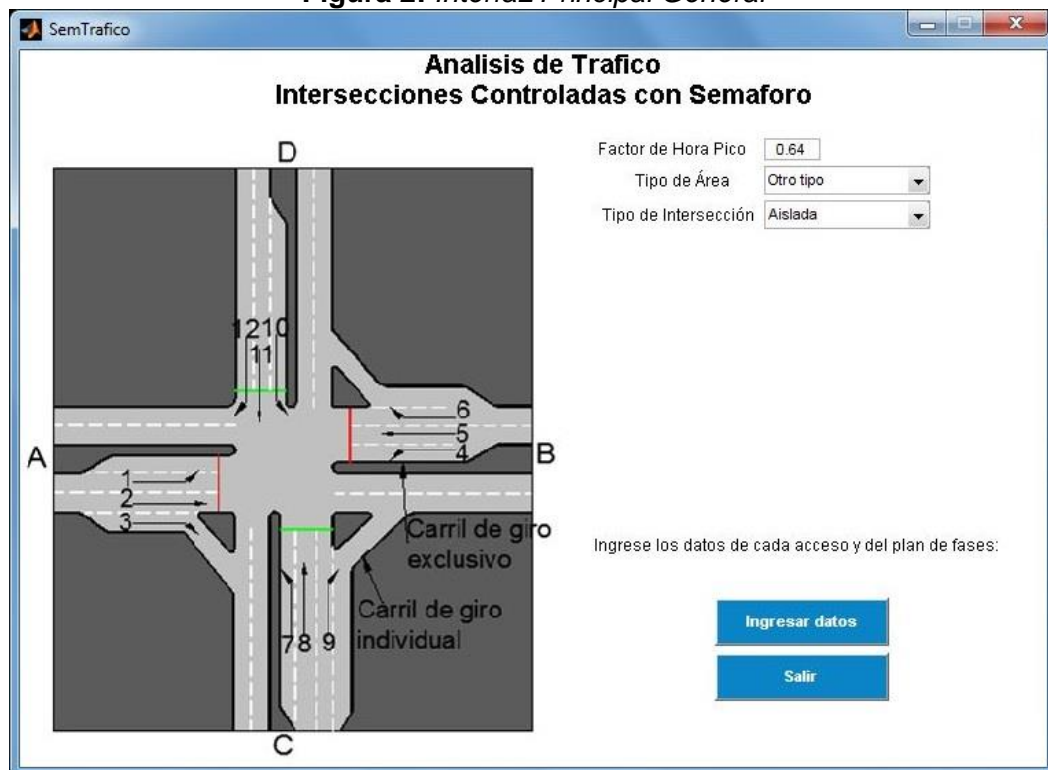
Debido a que el análisis de tráfico de la herramienta de apoyo que se desarrolló se basa en la metodología de la HCM 2010 (versión más reciente) y el programa de microsimulación Transmodeler se basa en la metodología propuesta en la HCM 2000, los resultados obtenidos tienen un porcentaje de diferencia al realizar la comparación entre las dos herramientas, debido a que existen cambios y a la vez, se agregan algunos parámetros a las ecuaciones planteadas por dicha norma.

3.1.1 Intersección controlada por semáforos de tiempo fijo: *Kra 27 con CII 56*

3.1.1.1 Aplicación

A continuación se muestran imágenes sobre cada una de las interfaces de la herramienta de apoyo con su respectiva información de entrada.

Figura 2: Interfaz Principal General



Fuente, Elaboración propia

Figura 3. Interfaz Acceso A

Intersecciones Controladas con Semaforo Acceso A

Condiciones Geometricas

Número de carriles por sentido: 2
 Ancho del carril 1 [m]: 3.6
 Ancho del carril 2 [m]: 3.6
 Tipo de giro a la izquierda: No existe
 Tipo de giro a la derecha: Compartido
 Pendiente [%]: 6

Condiciones de Transito

Flujo peatonal [p/h]: 0
 Flujo de bicicletas [bic/h]: 0
 Parqueo [maniobras/h]: 0
 Paradas de buses [bus/h]: 0
 Tipo de llegada: 3
 Cola Inicial [veh]: 14
 % Vehículos Pesados: 5.6

Movimientos

	1	2	3
Volumen [veh/h]	0	330	116

Siguiete Acceso Atras

Fuente, Elaboración propia

Figura 4. Interfaz Acceso B

Intersecciones Controladas con Semaforo Acceso B

Condiciones Geometricas

Número de carriles por sentido: 2
 Ancho del carril 1 [m]: 3.6
 Ancho del carril 2 [m]: 3.6
 Tipo de giro a la izquierda: Compartido
 Tipo de giro a la derecha: Compartido
 Pendiente [%]: -6

Condiciones de Transito

Flujo peatonal [p/h]: 0
 Flujo de bicicletas [bic/h]: 0
 Parqueo [maniobras/h]: 0
 Paradas de buses [bus/h]: 0
 Tipo de llegada: 3
 Cola Inicial [veh]: 14
 % Vehículos Pesados: 4.4

Movimientos

	4	5	6
Volumen [veh/h]	512	606	14

Siguiete Acceso Atras

Fuente, Elaboración propia

Figura 5. Interfaz Acceso C

Intersecciones Controladas con Semaforo Acceso C

Condiciones Geometricas

Número de carriles por sentido: 3
 Ancho del carril 1 [m]: 3.6
 Ancho del carril 2 [m]: 3.6
 Ancho del carril 3 [m]: 3.6

Tipo de giro a la izquierda: No existe
 Tipo de giro a la derecha: Compartido
 Pendiente [%]: 3

Condiciones de Transito

Flujo peatonal [p/h]: 0
 Flujo de bicicletas [bic/h]: 0
 Parqueo [maniobras/h]: 0
 Paradas de buses [bus/h]: 0

Tipo de llegada: 3
 Cola Inicial [veh]: 14
 % Vehiculos Pesados: 6.9

Movimientos

Volumen [veh/h]:
 7: 0
 8: 1407
 9: 73

Siguiente Acceso Atras

Fuente, Elaboración propia

Figura 6. Interfaz Acceso D

Intersecciones Controladas con Semaforo Acceso D

Condiciones Geometricas

Número de carriles por sentido: 3
 Ancho del carril 1 [m]: 3.6
 Ancho del carril 2 [m]: 3.6
 Ancho del carril 3 [m]: 3.6

Tipo de giro a la izquierda: No existe
 Tipo de giro a la derecha: Compartido
 Pendiente [%]: 3

Condiciones de Transito

Flujo peatonal [p/h]: 0
 Flujo de bicicletas [bic/h]: 0
 Parqueo [maniobras/h]: 0
 Paradas de buses [bus/h]: 0

Tipo de llegada: 3
 Cola Inicial [veh]: 14
 % Vehiculos Pesados: 6.9

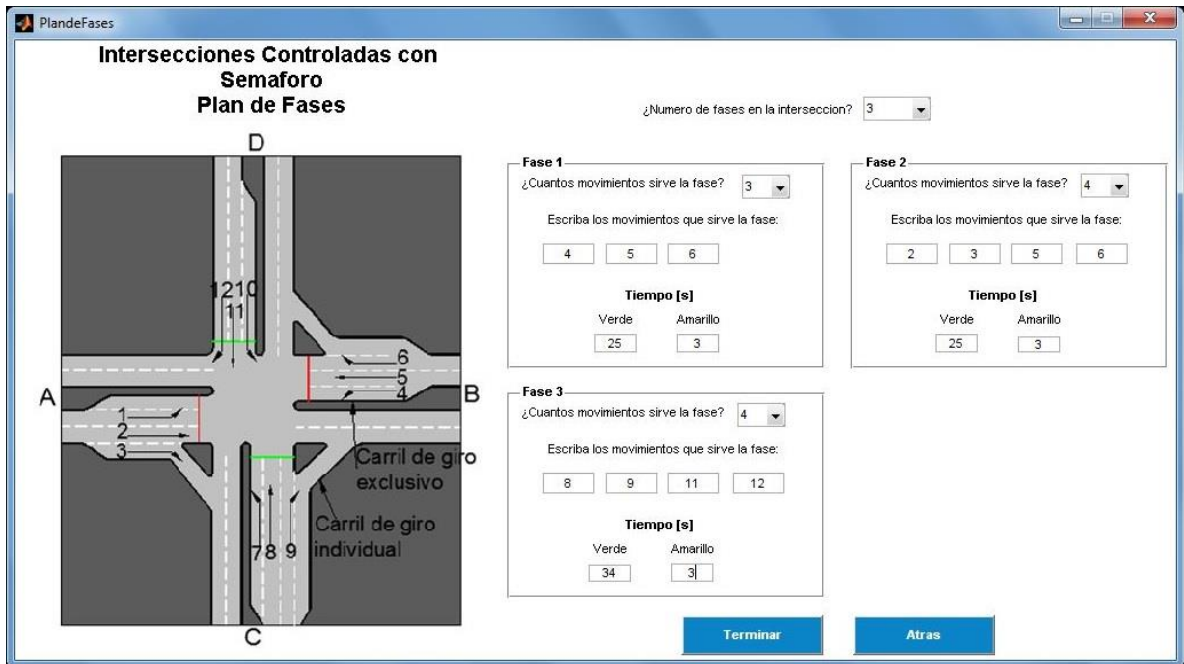
Movimientos

Volumen [veh/h]:
 10: 0
 11: 1407
 12: 73

Siguiente: Plan de Fases Atras

Fuente, Elaboración propia

Figura 7. Interfaz Plan de Fases



Fuente, Elaboración propia

3.1.1.2 Resultados y Comparación

Los resultados obtenidos con la herramienta de apoyo para Intersección controlada por semáforos están en la Figura 8.

Figura 8: Resultados obtenidos por la herramienta de apoyo Intersección controlada por semáforo



Fuente, Elaboración propia

Hablando de porcentajes de diferencia entre los resultados obtenidos por la herramienta de apoyo desarrollada y el programa de microsimulación Transmodeler, para la intersección controlada por semáforos se obtuvo un 7.7% de diferencia promedio en el cálculo de capacidades, demoras y nivel de servicio. Esta diferencia se debe al cambio de parámetros entre versiones de la norma en las cuales se basa cada herramienta y a su vez, la adición de otros como la demora por cola inicial. En la tabla 1 se encuentra la comparación entre los resultados obtenidos por la herramienta de apoyo y TransModeler.

Tabla 1 Comparación de resultados entre Transmodeler y Herramienta de Apoyo Intersección controlada por semáforo

TransModeler		Error %	Herramienta de Apoyo	
INTERSECCIÓN		7,5	INTERSECCIÓN	
Demora [seg/Veh]	48,4		Demora [seg/Veh]	52,02
NDS	E		NDS	D
ACCESO A		1,2 6,6	ACCESO A	
Capacidad [Veh]	650		Capacidad [Veh]	642
Demora [seg/Veh]	68,4		Demora [seg/Veh]	72,926
NDS	F		NDS	F

ACCESO B			ACCESO B	
Capacidad [Veh]	1210	19,7	Capacidad [Veh]	1448
Demora [seg/Veh]	45,2	1,9	Demora [seg/Veh]	44,322
NDS	E		NDS	F
ACCESO C			ACCESO C	
Capacidad [Veh]	1565	6,8	Capacidad [Veh]	1671
Demora [seg/Veh]	51,04	1,9	Demora [seg/Veh]	52,02
NDS	F		NDS	F
ACCESO D			ACCESO D	
Capacidad [Veh]	2158	20,8	Capacidad [Veh]	1709
Demora [seg/Veh]	53,4	3,1	Demora [seg/Veh]	51,75
NDS	F		NDS	F

Fuente, Elaboración propia

3.1.2 Intersección controlada por pare (tipo T) CII 14 con Kra 32

3.1.2.1 Aplicación

A continuación se muestran una imagen sobre la interfaz de la herramienta de apoyo con su respectiva información de entrada.

Figura 9: Datos de entrada Intersección controlada por pare (tipo T)

TTrafico

Analisis de Trafico Intersección Controlada con Pare (Tipo T)

Tipo de Intersección:

¿Existe información sobre volumen peatonal?

Número de carriles por sentido de la calle principal:

Número de carriles por sentido de la calle menor:

¿El giro 3 es individual?

¿El giro 9 es individual?

Acceso A

Volumen 2 [veh/h]	<input type="text" value="150"/>
Volumen 3 [veh/h]	<input type="text" value="148"/>
Factor de hora pico	<input type="text" value="0.89"/>
Veh. Pesados [%]	<input type="text" value="3.4"/>
Pendiente [%]	<input type="text" value="5"/>

Acceso B

Volumen 4 [veh/h]	<input type="text" value="488"/>
Volumen 5 [veh/h]	<input type="text" value="96"/>
Factor de hora pico	<input type="text" value="0.89"/>
Veh. Pesados [%]	<input type="text" value="24.2"/>
Pendiente [%]	<input type="text" value="-5"/>

Acceso C

Volumen 7 [veh/h]	<input type="text" value="215"/>
Volumen 9 [veh/h]	<input type="text" value="273"/>
Factor de hora pico	<input type="text" value="0.89"/>
Veh. Pesados [%]	<input type="text" value="16.2"/>
Pendiente [%]	<input type="text" value="3"/>

¿Existe un área de almacenamiento de vehículos?

Fuente, Elaboración propia

3.1.2.2 Resultados y Comparación

Los resultados obtenidos con la herramienta de apoyo para Intersección controlada por pare (tipo T) están en la Figura 10.

Figura 10: Resultados obtenidos por la herramienta de apoyo Intersección controlada por pare (tipo T)

Intersección Controlada con Pare (Tipo T)
Resultados

Intersección
Demora [s/veh] 68.9944

Acceso A
Capacidad del Acceso No se determina para este acceso
Demora del Acceso No se determina para este acceso
Nivel de Servicio del Acceso No se determina para este acceso

Acceso B
Capacidad del Acceso Se determina solo para el movimiento 4
Demora del Acceso Se determina solo para el movimiento 4
Nivel de Servicio del Acceso Se determina solo para el movimiento 4

Capacidad para el Movimiento 4 [veh/h] 1076
Demora para el Movimiento 4 [s/veh] 11.7701
Nivel de Servicio Movimiento 4 [s/veh] B

Acceso C
Capacidad del Acceso [veh/h] Se determina por movimiento
Demora del Acceso [s/veh] 180.668
Nivel de Servicio del Acceso F

Capacidad para el Movimiento 7 [veh/h] 42
Capacidad para el Movimiento 9 [veh/h] 793

Salir

Fuente, Elaboración propia

Después de obtenidos los resultados de la intersección controlada por pare tipo T escogida, en la herramienta desarrollada, se comparó con los arrojados por el programa Transmodeler y se obtuvo un porcentaje de diferencia de 5.4%. En la tabla 2 se encuentra la comparación entre los resultados obtenidos por la herramienta de apoyo y TransModeler.

Tabla 2 Comparación de resultados entre Transmodeler y Herramienta de Apoyo Intersección controlada por pare (tipo T)

TransModeler		Error %	Herramienta de Apoyo	
PARE (TIPO T)		6,96	PARE (TIPO T)	
Demora [seg/Veh]	64,5		Demora [seg/Veh]	68,99
ACCESO C		1,27	ACCESO C	
Demora [seg/Veh]	178,4		Demora [seg/Veh]	180,668

NDS	E		NDS	F
MOVIMIENTO 4			MOVIMIENTO 4	
Capacidad [Veh]	1085	0,83	Capacidad [Veh]	1076
Demora [seg/Veh]	12,6	6,59	Demora [seg/Veh]	11,77
NDS	B		NDS	B
MOVIMIENTO 7			MOVIMIENTO 7	
Capacidad [Veh]	50	16,00	Capacidad [Veh]	42
MOVIMIENTO 9			MOVIMIENTO 9	
Capacidad [Veh]	802	1,12	Capacidad [Veh]	793

Fuente, Elaboración propia

3.1.3 Intersección controlada por pare (tipo +) CII 61 con Kra 17e

3.1.3.1 Aplicación

A continuación se muestran una imagen sobre la interfaz de la herramienta de apoyo con su respectiva información de entrada.

Figura 11: Datos de entrada Intersección controlada por pare (tipo +)

Analisis de Tráfico
Intersección Controlada con Pare (Tipo +)

Tipo de Intersección:

¿El giro 3 es individual?

¿El giro 6 es individual?

¿El giro 9 es individual?

¿El giro 12 es individual?

Número de carriles por sentido de la calle principal:

Número de carriles por sentido de la calle menor:

¿Existe información sobre volumen peatonal?

Acceso A

Volumen 1 [veh/h]:

Volumen 2 [veh/h]:

Volumen 3 [veh/h]:

Factor de hora pico:

Veh. Pesados [%]:

Pendiente [%]:

Acceso B

Volumen 4 [veh/h]:

Volumen 5 [veh/h]:

Volumen 6 [veh/h]:

Factor de hora pico:

Veh. Pesados [%]:

Pendiente [%]:

Acceso C

¿Existe un área de almacenamiento de vehículos?

Volumen 7 [veh/h]:

Volumen 8 [veh/h]:

Volumen 9 [veh/h]:

Factor de hora pico:

Veh. Pesados [%]:

Pendiente [%]:

Acceso D

¿Existe un área de almacenamiento de vehículos?

Volumen 10 [veh/h]:

Volumen 11 [veh/h]:

Volumen 12 [veh/h]:

Factor de hora pico:

Veh. Pesados [%]:

Pendiente [%]:

Diagrama: D, 12 11 10, 16, 6, 5, 4, 13, 14, 15, 7 8 9, Carril de giro individual, STOP, A, B, C

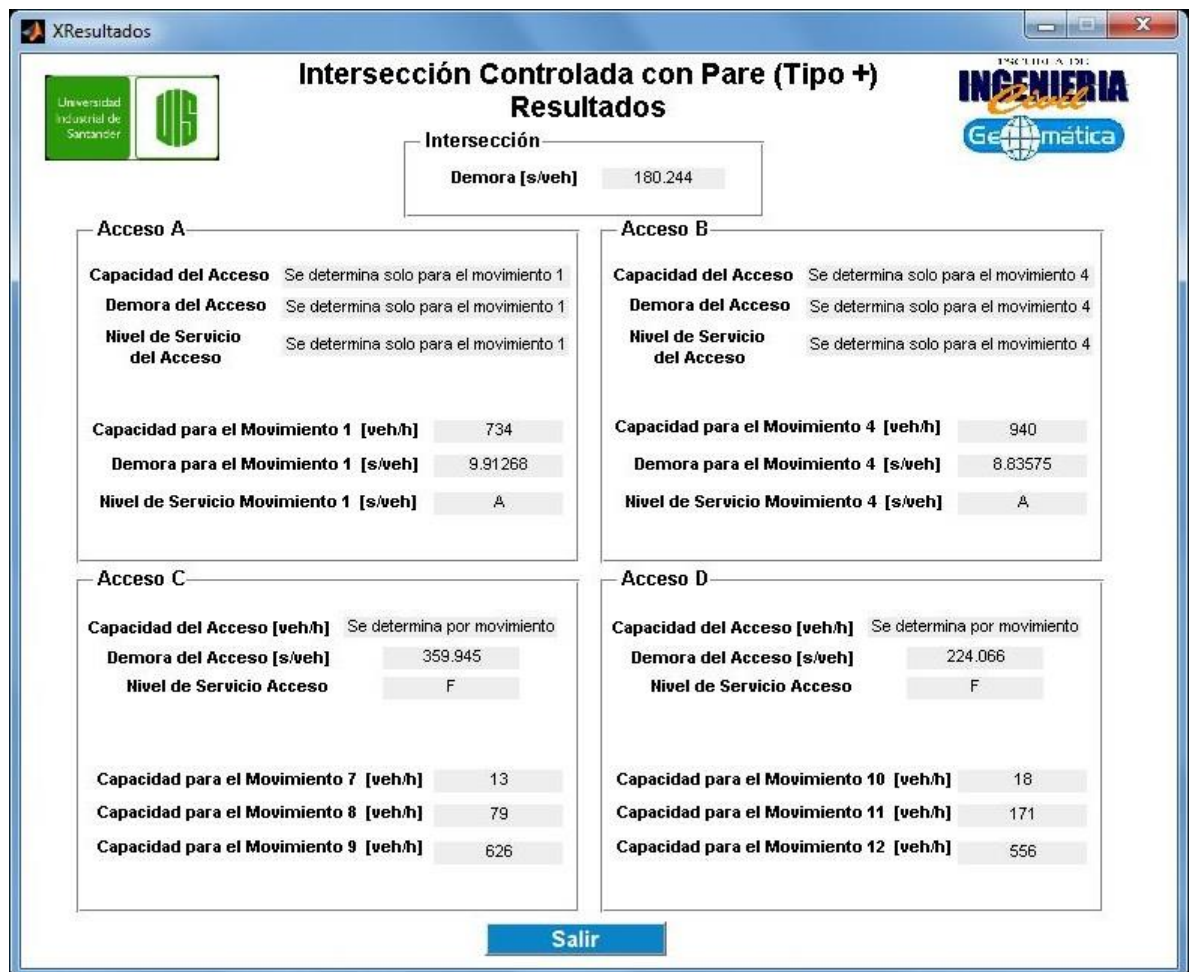
Botones: Calcular, Salir

Fuente, Elaboración propia

3.1.3.2 Resultados y Comparación

Los resultados obtenidos con la herramienta de apoyo para Intersección controlada por pare (tipo +) aparecen en la Figura 12.

Figura 12: Resultados obtenidos por la herramienta de apoyo I Intersección controlada por pare (tipo +)



Fuente, Elaboración propia

El porcentaje de diferencia obtenido para este tipo de intersección comparando la herramienta desarrollada con el programa Transmodeler es de 5.9%. En la tabla 3 se encuentra la comparación entre los resultados obtenidos por la herramienta de apoyo y TransModeler.

Tabla 3 Comparación de resultados entre TransModeler y Herramienta de Apoyo Intersección controlada por pare (tipo +)

TransModeler		Error %	Herramienta de Apoyo	
PARE (TIPO +)		0,31	PARE (TIPO +)	
Demora [seg/Veh]	180,8		Demora [seg/Veh]	180,244
MOVIMIENTO 1		6,97	MOVIMIENTO 1	
Capacidad [Veh]	789		Capacidad [Veh]	734
Demora [seg/Veh]	10,4	4,71	Demora [seg/Veh]	9,91
NDS	B		NDS	A
MOVIMIENTO 4		2,59	MOVIMIENTO 4	
Capacidad [Veh]	965		Capacidad [Veh]	940
Demora [seg/Veh]	8,42	4,87	Demora [seg/Veh]	8,83
NDS	A		NDS	A
ACCESO C		1,51	ACCESO C	
Demora [seg/Veh]	354,6		Demora [seg/Veh]	359,945
NDS	D		NDS	F
ACCESO D		1,57	ACCESO D	
Demora [seg/Veh]	220,6		Demora [seg/Veh]	224,066
NDS	D		NDS	F
MOVIMIENTO	CAPACIDAD [Veh]	18,18	MOVIMIENTO	CAPACIDAD [Veh]
7	11		7	13
8	84	5,95	8	79
9	652	3,99	9	626
10	20	10,00	10	18
11	194	11,86	11	171
12	586	5,12	12	556

Fuente, Elaboración propia

3.1.4 Glorieta

3.1.4.1 Aplicación

A continuación se muestran una imagen sobre la interfaz de la herramienta de apoyo con su respectiva información de entrada.

Figura 13: Datos de entrada Glorieta

The screenshot displays the 'GlorietasTrafico8e' software interface. On the left, there are eight panels, each representing an access (Acceso 1 through Acceso 8). Each panel contains a table of input data for vehicle volumes and a set of geometric parameters. On the right, there is a diagram titled 'Análisis de Glorietas 8 Accesos' showing a roundabout with eight numbered accesses (1-8) and various geometric labels like 'e1', 'e2', 'W', 'L', and 'r'. At the bottom right of the diagram area, there are two buttons: 'Calcular' and 'Atras'.

Vol 1-1 [veh/h]	0	Vol 1-4 [veh/h]	536	Vol 1-7 [veh/h]	93
Vol 1-2 [veh/h]	60	Vol 1-5 [veh/h]	185	Vol 1-8 [veh/h]	114
Vol 1-3 [veh/h]	0	Vol 1-6 [veh/h]	306		
Factor de hora pico	0.84	Ancho Entrecruzamiento W [m]	12		
Vehículos pesados [%]	10.1	Long. Entrecruzamiento L [m]	35.5		
Ancho de entrada e1 [m]	10.8	Radio de entrada r [m]	10		
Ancho de entrada e2 [m]	12				

Vol 2-1 [veh/h]	0	Vol 2-4 [veh/h]	257	Vol 2-7 [veh/h]	70
Vol 2-2 [veh/h]	88	Vol 2-5 [veh/h]	183	Vol 2-8 [veh/h]	166
Vol 2-3 [veh/h]	0	Vol 2-6 [veh/h]	416		
Factor de hora pico	0.84	Ancho Entrecruzamiento W [m]	12		
Vehículos pesados [%]	8.9	Long. Entrecruzamiento L [m]	35.5		
Ancho de entrada e1 [m]	7.2	Radio de entrada r [m]	10		
Ancho de entrada e2 [m]	12				

Vol 3-1 [veh/h]	0	Vol 3-4 [veh/h]	35	Vol 3-7 [veh/h]	10
Vol 3-2 [veh/h]	127	Vol 3-5 [veh/h]	15	Vol 3-8 [veh/h]	124
Vol 3-3 [veh/h]	0	Vol 3-6 [veh/h]	78		
Factor de hora pico	0.84	Ancho Entrecruzamiento W [m]	12		
Vehículos pesados [%]	8.2	Long. Entrecruzamiento L [m]	35.5		
Ancho de entrada e1 [m]	7.2	Radio de entrada r [m]	10		
Ancho de entrada e2 [m]	12				

Vol 4-1 [veh/h]	0	Vol 4-4 [veh/h]	122	Vol 4-7 [veh/h]	29
Vol 4-2 [veh/h]	299	Vol 4-5 [veh/h]	78	Vol 4-8 [veh/h]	88
Vol 4-3 [veh/h]	0	Vol 4-6 [veh/h]	10		
Factor de hora pico	0.84	Ancho Entrecruzamiento W [m]	12		
Vehículos pesados [%]	8.9	Long. Entrecruzamiento L [m]	35.5		
Ancho de entrada e1 [m]	7.2	Radio de entrada r [m]	10		
Ancho de entrada e2 [m]	12				

Vol 5-1 [veh/h]	0	Vol 5-4 [veh/h]	0	Vol 5-7 [veh/h]	0
Vol 5-2 [veh/h]	0	Vol 5-5 [veh/h]	0	Vol 5-8 [veh/h]	0
Vol 5-3 [veh/h]	0	Vol 5-6 [veh/h]	0		
Factor de hora pico	0.84	Ancho Entrecruzamiento W [m]	12		
Vehículos pesados [%]	0	Long. Entrecruzamiento L [m]	35.5		
Ancho de entrada e1 [m]	10.8	Radio de entrada r [m]	10		
Ancho de entrada e2 [m]	12				

Vol 6-1 [veh/h]	0	Vol 6-4 [veh/h]	391	Vol 6-7 [veh/h]	12
Vol 6-2 [veh/h]	148	Vol 6-5 [veh/h]	173	Vol 6-8 [veh/h]	130
Vol 6-3 [veh/h]	0	Vol 6-6 [veh/h]	316		
Factor de hora pico	0.84	Ancho Entrecruzamiento W [m]	12		
Vehículos pesados [%]	7.5	Long. Entrecruzamiento L [m]	35.5		
Ancho de entrada e1 [m]	7.2	Radio de entrada r [m]	10		
Ancho de entrada e2 [m]	12				

Vol 7-1 [veh/h]	0	Vol 7-4 [veh/h]	0	Vol 7-7 [veh/h]	0
Vol 7-2 [veh/h]	0	Vol 7-5 [veh/h]	0	Vol 7-8 [veh/h]	0
Vol 7-3 [veh/h]	0	Vol 7-6 [veh/h]	0		
Factor de hora pico	0.84	Ancho Entrecruzamiento W [m]	12		
Vehículos pesados [%]	0	Long. Entrecruzamiento L [m]	35.5		
Ancho de entrada e1 [m]	7.2	Radio de entrada r [m]	10		
Ancho de entrada e2 [m]	12				

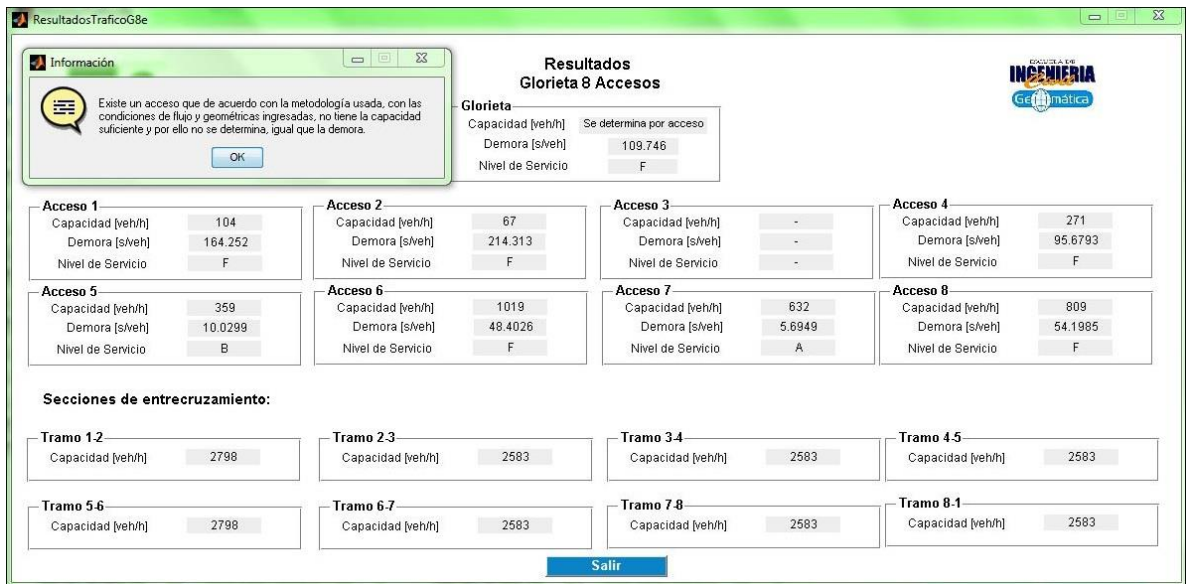
Vol 8-1 [veh/h]	0	Vol 8-4 [veh/h]	631	Vol 8-7 [veh/h]	15
Vol 8-2 [veh/h]	82	Vol 8-5 [veh/h]	96	Vol 8-8 [veh/h]	82
Vol 8-3 [veh/h]	0	Vol 8-6 [veh/h]	233		
Factor de hora pico	0.84	Ancho Entrecruzamiento W [m]	12		
Vehículos pesados [%]	19.4	Long. Entrecruzamiento L [m]	35.5		
Ancho de entrada e1 [m]	7.2	Radio de entrada r [m]	10		
Ancho de entrada e2 [m]	12				

Fuente, Elaboración propia

3.1.4.2 Resultados y Comparación

Los resultados obtenidos con la herramienta de apoyo para glorieta están en la Figura 14.

Figura 14: Resultados obtenidos por la herramienta de apoyo Glorieta



Fuente, Elaboración propia

Los métodos usados en la herramienta desarrollada para el análisis de la glorieta de 8 accesos seleccionada, son el método de Wardrop y el de TRRL de Gran Bretaña, debido a que esta tiene más de dos carriles tanto en los accesos como en el anillo de circulación; a diferencia de Transmodeler que usa la metodología de la HCM2000. Por ello, se obtuvo un porcentaje de diferencia de 6.7%.

Observando los porcentajes de diferencia obtenidos al realizar la comparación entre la herramienta de apoyo con el programa de microsimulación Transmodeler e identificando las razones de dichas diferencias, se puede validar el funcionamiento de la herramienta desarrollada. En la tabla 4 se encuentra la comparación entre los resultados obtenidos por la herramienta de apoyo y TransModeler.

Tabla 4 Comparación de resultados entre Transmodeler y Herramienta de Apoyo Glorieta

TransModeler	E %	Herramienta de Apoyo	TransModeler	E %	Herramienta de Apoyo
GLORIETA		8,19	GLORIETA		3,44
Demora [seg/Veh]	101,4		Demora [seg/Veh]	109,7	
NDS	F		NDS	F	
ACCESO 1		32,47 3,63	ACCESO 1		1,90
Capacidad [Veh]	154		Capacidad [Veh]	104	
Demora [seg/Veh]	158,5		Demora [seg/Veh]	164,252	
NDS	F		NDS	F	
ACCESO 2		21,18 4,80	ACCESO 2		3,69 7,95
Capacidad [Veh]	85		Capacidad [Veh]	67	
Demora [seg/Veh]	204,5		Demora [seg/Veh]	164,252	
NDS	F		NDS	F	
ACCESO 7		2,03	ACCESO 7		2,03
Capacidad [Veh]	611		Capacidad [Veh]	632	
Demora [seg/Veh]	5,8		Demora [seg/Veh]	5,69	
NDS	B		NDS	A	
ACCESO 8		2,03	ACCESO 8		2,03
Capacidad [Veh]	840		Capacidad [Veh]	809	
Demora [seg/Veh]	50,2		Demora [seg/Veh]	54,19	
NDS	F		NDS	F	
TRAMO 1-2		2,03	TRAMO 1-2		2,03
Capacidad [Veh]	2856		Capacidad [Veh]	2798	

NDS		F	NDS		F					
ACCESO 3			ACCESO 3			TRAMO 2-3		TRAMO 2-3		
Capacidad [Veh]	250		Capacidad [Veh]	-515		Capacidad [Veh]	2595	0,46	Capacidad [Veh]	2583
Demora [seg/Veh]	15,56		Demora [seg/Veh]	-8,4241		TRAMO 3-4		TRAMO 3-4		
NDS	E		NDS	-		Capacidad [Veh]	2597	0,54	Capacidad [Veh]	2583
ACCESO 4			ACCESO 4			TRAMO 4-5		TRAMO 4-5		
Capacidad [Veh]	275	1,45	Capacidad [Veh]	271		Capacidad [Veh]	2587	0,15	Capacidad [Veh]	2583
DEMORA	95,4	0,28	DEMORA	95,67		TRAMO 5-6		TRAMO 5-6		
NDS	F		NDS	F		Capacidad [Veh]	2821	0,82	Capacidad [Veh]	2798
ACCESO 5			ACCESO 5			TRAMO 6-7		TRAMO 6-7		
Capacidad [Veh]	365	1,64	Capacidad [Veh]	359		Capacidad [Veh]	2596	0,50	Capacidad [Veh]	2583
Demora [seg/Veh]	9,53	5,25	Demora [seg/Veh]	10,0299		TRAMO 7-8		TRAMO 7-8		
NDS	B		NDS	B		Capacidad [Veh]	2584	0,04	Capacidad [Veh]	2583
ACCESO 6			ACCESO 6			TRAMO 8-1		TRAMO 8-1		
Capacidad [Veh]	1101	7,45	Capacidad [Veh]	1019		Capacidad [Veh]	2599	0,62	Capacidad [Veh]	2583
Demora [seg/Veh]	33,5	44,48	Demora [seg/Veh]	48,4						
NDS	F		NDS	F						

Fuente, Elaboración propia

3.2. Análisis Geométrico

Al realizar este análisis para las intersecciones seleccionadas, los datos geométricos como radios de giro, ángulos de entrada y distancias de visibilidad son parecidos en las intersecciones controladas con Semáforo y con Pare debido a la similar configuración geométrica que existe al pertenecer a la malla vial en Bucaramanga que es rectangular. Al obtener los resultados de la comprobación de los parámetros geométricos se observó que la mayoría de estos no cumplen con la normativa.

La malla vial en Bucaramanga en su mayor medida fue construida mucho tiempo antes a la elaboración del manual de diseño geométrico del INVIAS 2008. A causa de esto, las intersecciones no fueron diseñadas bajo requerimientos normativos y si fuese así, no con el manual actual. Si a esto le sumamos que el rápido crecimiento de la población y el desarrollo en la ciudad en cuanto a infraestructura, impide la correcta elaboración y diseño de proyectos viales, en consecuencia se obtiene que algunos elementos en el análisis no cumplan con la exigencia normativa actual.

Además, el análisis geométrico se realizó suponiendo que el vehículo de diseño para las intersecciones en estudio era el Camión C2 y no se tiene certeza de que estas fueron diseñadas en base a este tipo de vehículo, pero debido a que este también transita por las intersecciones así sea en menor proporción, se hace necesario utilizarlo. Por esta razón, parámetros como los radios de giro no cumplen.

Como se explica en el manual del usuario de la herramienta de apoyo, el análisis geométrico de las intersecciones controladas con semáforos, las controladas por pare tipo (+) y las controladas por pare tipo (T) se hace por cada vía de manera que el programa de apoyo arroja dos resultados. A continuación se muestran los resultados obtenidos por la herramienta de apoyo para cada tipo de intersección, incluida la glorieta.

3.2.1 Intersección controlada por semáforo

Figura 15 *Análisis Geométrico Semáforo Vía Principal*

Fuente, Elaboración propia

Figura 16 *Abertura separador central Vía Principal Semáforo*

Fuente, Elaboración propia

Figura 17 *Análisis Geométrico Semáforo Vía Secundaria*

The screenshot shows the 'SemGeometric' software interface. The main window title is 'Análisis Geométrico Intersecciones controladas por Semáforo'. On the left, there are two diagrams: 'Sin canalizar' (unchannelized) and 'Canalizada' (channelized). The 'Sin canalizar' diagram shows a four-way intersection with traffic lights and turning radii labeled R1, R2, R3, and R4. The 'Canalizada' diagram shows a similar intersection with a central separator and various lane markings. On the right, there are input fields and a verification table. The input fields include: Tipo de vía (Primaria), Vehículo de Diseño (Camion C2), Tipo de Terreno (Plano), and Carriles en la Calzada (2). The 'Datos a verificar' table is as follows:

Parameter	Value	Status
Velocidad de diseño [km/h]	40	No cumple. La vel. de diseño debe estar entre 80km/h y 100km/h
Ancho Calzada [m]	7.2	Debe cumplir la velocidad de diseño
Angulo de entrada [°]	65	Cumple
Radio 1-4 [m]	4	No cumple. El radio mínimo debe ser de 12.7 m para camión c2
Radio 2-3 [m]	8	No cumple. El radio mínimo debe ser de 12.7 m para camión c2
Pendiente [%]	3	Cumple
Distancia de Visibilidad de cruce 1 [m]	80	La vel de diseño y el ancho de calzada deben cumplir.
Distancia de Visibilidad de cruce 2 [m]	80	La vel de diseño y el ancho de calzada deben cumplir.

Buttons include 'Imagerr: Distancia de Visibilidad', 'Verificar', and 'Salir'. A section titled '¿Que tipo de intersección está analizando?' has a dropdown set to 'Canalizada'. Below this are several checkboxes: '¿Existen Isletas Direccionales?' (No), '¿Existen Isletas Separadoras?' (No), '¿Existe Camil de Aceleracion?' (No), '¿Existe Camil de Desaceleracion?' (No), '¿Existe Ramal de entrada o salida?' (No), '¿Existe Carril de giro a la izquierda?' (No), and '¿Desea verificar la Abertura del Separador Central?' (Si). A 'Verificar' button is present at the bottom right of this section.

Fuente, Elaboración propia

Figura 18 *Abertura separador central Vía Secundaria Semáforo*

Separadorcentral

Análisis Geométrico Abertura de Separador Central

¿Existen bermas en la calzada de cruce?

Ancho de la calzada de cruce [m] (Pavimento):

Abertura del Separador Central Lmin [m] Cumple

Ha realizado: 2 verificaciones

Fuente, Elaboración propia

3.2.2 Intersección controlada por pare (tipo T)

Figura 19 Análisis Geométrico Pare (tipo T) Vía Principal

SemGeometrico

Análisis Geométrico Intersecciones controladas por Semaforo

Sin canalizar

Canalizada

Tipo de vía: Tipo de Terreno:

Vehículo de Diseño: Carriles en la Calzada:

Datos a verificar:

Velocidad de diseño [km/h]	<input type="text" value="40"/>	No cumple. La vel. de diseño debe estar entre 80km/h y 100km/h
Ancho Calzada [m]	<input type="text" value="10.8"/>	Debe cumplir la velocidad de diseño
Angulo de entrada [°]	<input type="text" value="65"/>	Cumple
Radio 1-4 [m]	<input type="text" value="4"/>	No cumple. El radio mínimo debe ser de 12.7 m para camión c2
Radio 2-3 [m]	<input type="text" value="8"/>	No cumple. El radio mínimo debe ser de 12.7 m para camión c2
Pendiente [%]	<input type="text" value="6"/>	No cumple. Se recomienda que la pendiente sea máx. de 4%.
Distancia de Visibilidad de cruce 1 [m]	<input type="text" value="80"/>	La vel. de diseño y el ancho de calzada deben cumplir.
Distancia de Visibilidad de cruce 2 [m]	<input type="text" value="80"/>	La vel. de diseño y el ancho de calzada deben cumplir.

Imagen: Distancia de Visibilidad Ha realizado:1 verificación

¿Que tipo de interseccion está analizando?

¿Existen Isletas Direccionales?

¿Existen Isletas Separadoras?

¿Existe Carril de Aceleración?

¿Existe Carril de Desaceleración?

¿Existe Ramal de entrada o salida?

¿Existe Carril de giro a la izquierda?

¿Desea verificar la Abertura del Separador Central?

Fuente, Elaboración propia

Figura 20 Abertura separador central Vía Principal Pare (tipo T)

Separadorcentral

Análisis Geométrico Abertura de Separador Central

¿Existen bermas en la calzada de cruce?

Ancho de la calzada de cruce [m] (Pavimento+ Bermas)

Ancho de la calzada de cruce

Abertura del Separador Central Lmin [m] No cumple. La abertura del separador debe ser por lo menos de 12 m.

Ha realizado:1 verificación

Fuente, Elaboración propia

Figura 21 Análisis Geométrico Pare (tipo T) Vía Secundaria

TGeometrico

Análisis Geométrico Intersecciones controladas por Pare (Tipo T)

Sin canalizar

Canalizada

Tipo de vía: Tipo de Terreno:

Vehículo de Diseño: Carriles en la Calzada:

Datos a verificar:

Velocidad de diseño [km/h]	<input type="text" value="40"/>	No cumple. La vel. de diseño debe estar entre 60km/h y 100km/h
Ancho Calzada [m]	<input type="text" value="7.2"/>	Debe cumplir la velocidad de diseño
Angulo de entrada [°]	<input type="text" value="65"/>	Cumple
Radio 1 [m]	<input type="text" value="4"/>	No cumple. El radio mínimo debe ser de 12.7 m para camión c2
Radio 2 [m]	<input type="text" value="2"/>	No cumple. El radio mínimo debe ser de 12.7 m para camión c2
Pendiente [%]	<input type="text" value="3"/>	Cumple
Distancia de Visibilidad de cruce 1 [m]	<input type="text" value="80"/>	La vel. de diseño y el ancho de calzada deben cumplir.
Distancia de Visibilidad de cruce 2 [m]	<input type="text" value="80"/>	La vel. de diseño y el ancho de calzada deben cumplir.

Imagen: Distancia de Visibilidad

Ha realizado: 2 verificaciones

¿Que tipo de interseccion está analizando?

Fuente, Elaboración propia

Fuente, Elaboración propia

Figura 23 Análisis Geométrico Pare (tipo +) Vía secundaria

Datos a verificar:	Status
Velocidad de diseño [km/h]	40 No cumple. La vel. de diseño debe estar entre 80km/h y 100km/h
Ancho Calzada [m]	7.2 Debe cumplir la velocidad de diseño
Angulo de entrada [°]	65 Cumple
Radio 1-4 [m]	5 No cumple. El radio mínimo debe ser de 12.7 m para camión c2
Radio 2-3 [m]	8 No cumple. El radio mínimo debe ser de 12.7 m para camión c2
Pendiente [%]	3 Cumple
Distancia de Visibilidad de cruce 1 [m]	80 La vel. de diseño y el ancho de calzada deben cumplir.
Distancia de Visibilidad de cruce 2 [m]	80 La vel. de diseño y el ancho de calzada deben cumplir.

Fuente, Elaboración propia

3.2.4 Glorieta

Figura 25 Análisis Geométrico Glorieta

GlorietasGeometrico

Analisis Geometrico Glorietas

¿Que tipo de Glorieta desea analizar? **Glorieta Multicarril**

Glorieta		
Velocidad de Diseño (km/h)	<input type="text" value="40"/>	Cumple
Volumen tipico diario (veh/día)	<input type="text" value="10150"/>	No Cumple. Deben ser como minimo 20.000 veh/día
Diámetro del Circulo Inscrito (m)	<input type="text" value="132"/>	Cumple
Diámetro de la isleta central (m)	<input type="text" value="118"/>	Cumple
Ancho de Seccion de Entrecruzamiento W (m)	<input type="text" value="12"/>	Cumple
Relacion W/L (Seccion de entrecruzamiento)	<input type="text" value="0.33333"/>	Cumple

Acceso		
¿Existe isleta direccional? No		
Radio interior de entrada (m)	<input type="text" value="10"/>	No cumple. El radio debe ser de 30 m como mínimo
Radio interior de salida (m)	<input type="text" value="10"/>	No cumple. El radio debe ser de 40 m como mínimo
Angulo de Entrada [°]	<input type="text" value="68"/>	No cumple. El angulo de entrada debe ser de 60°
Angulo de Salida [°]	<input type="text" value="69"/>	No cumple. El angulo de salida debe ser de 30°

Ha realizado: 1 verificación

Verificar **Salir**

Fuente, Elaboración propia

