

# I. INTRODUCCION

---

---

*Es indudable que uno de los patrimonios más valiosos con los que cuenta un país es la infraestructura de su red vial. Esta deberá estar debidamente planeada, construida y conservada.*

*El desarrollo de una ciudad depende en gran medida, de una buena infraestructura vial, capaz de soportar las necesidades de movimiento de tránsito vehicular que se demandarán en un futuro.*

*Todo esto puede lograrse a través de una adecuada planeación, principalmente en la zona urbana. La planeación sin las herramientas adecuadas, conducirá a problemas graves y a soluciones improvisadas y quizá muy costosas.*

*En el área urbana, el flujo vehicular discontinuo es característica de las avenidas a la gran frecuencia con que se cruzan en un nivel con otras avenidas o calles. Por lo tanto, los estudios o investigaciones sobre capacidad y nivel de servicio se hacen generalmente determinando la capacidad de estos lugares críticos, que suelen ser las intersecciones controladas por semáforos. Cabe mencionar que la mayor parte de los problemas viales como son: accidentes, congestionamientos, contaminación y pérdidas de horas - hombre, se generan en estos sitios.*

*En general, la capacidad de una infraestructura se define como la máxima razón de flujo vehicular horario, en la cual los vehículos pueden pasar por un punto, una sección uniforme o un carril de un camino, durante un periodo de tiempo dado, en las condiciones prevalecientes del camino, del tránsito y del control.*

*El cálculo de la capacidad es de carácter estocástico, lo cual lo asocia a una cierta probabilidad, por lo que este puede ser mayor o menor en un instante dado. La capacidad se define para condiciones prevalecientes, que son factores que al variar lo modifican.*

*Los procedimientos de análisis para la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas, son uno de los más complejos, dentro de la corriente de tránsito. Puesto que en las intersecciones semaforizadas debe considerarse una amplia variedad de condiciones prevalecientes, incluyendo la cantidad y la distribución de los movimientos del tránsito, su composición, las características geométricas y los detalles de semaforización de la intersección.*

*Actualmente, para los análisis de la capacidad y del nivel de servicio para intersecciones semaforizadas, se ha utilizado en México el "Highway Capacity Manual", el cual fue diseñado para condiciones que imperan en los Estados Unidos de Norteamérica esto puede provocar que se cometan errores al aplicarlo en México. Por lo cual, urge investigar los valores que representen las condiciones reales en que operan las intersecciones semaforizadas en el Area Metropolitana de Monterrey.*

*Esta Investigación pretende determinar “El factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados, en la corriente de tránsito”, en el área Metropolitana de Monterrey, ya que este factor interviene en el ajuste del valor de flujo de saturación para condiciones prevalecientes que no son ideales, siendo este valor el más importante en el calculo de la capacidad y el nivel de servicio; por lo tanto, los resultados obtenidos de estos análisis nos representarán con mucha exactitud las condiciones reales en que operan nuestras intersecciones semaforizadas.*

## II. OBJETIVOS

---

---

*Determinar el factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito en intersecciones semaforizadas; para utilizarlo en el cálculo de la capacidad y de los niveles de servicio.*

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- *Determinar los efectos que causa la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito, en intersecciones semaforizadas en México.*
- *Plantear los valores de ajuste que mejor se adapten a las condiciones reales; para diferentes tipos de intersecciones semaforizadas en el área metropolitana de Monterrey.*
- *Proponer un modelo matemático que induzca valores de ajuste fieles a la realidad.*
- *Definir el comportamiento en la capacidad de las intersecciones semaforizadas en función del porcentaje de vehículos pesados presentes en las mismas.*
- *Proporcionar a las autoridades de distintos niveles la toma de decisión, en la construcción de la infraestructura vial.*
- *Dar valores que se consideren acertados para la creación de normas propias para las condiciones generalizadas en las carreteras de la República Mexicana.*

### III. HIPOTESIS

---

---

*Los valores que se especifican en el manual de capacidad vial de los Estados Unidos de América; que se utilizan en el cálculo de la capacidad y del nivel de servicio, en intersecciones semaforizadas, por la presencia de vehículos pesados, son diferentes a los que se presentan en intersecciones de la zona metropolitana de Monterrey.*

*Si se comprueba la hipótesis de que el factor por presencia de vehículos pesados en intersecciones semaforizadas es diferente al que establece el Manual de Capacidad Vial de los Estados Unidos de América, se podrá deducir que seguir utilizando las normas de ese Manual, traerá como consecuencia el cometer errores en la planificación, el diseño y la construcción de la infraestructura Vial en México.*

## IV. DEFINICION DE CONCEPTOS DE CAPACIDAD VIAL

---

---

### *IV.1 Tipos de vías*

*Las técnicas de análisis abarcarán una amplia gama de estructuras, comprendiendo tanto las calles y carreteras como las instalaciones para el transporte colectivo y peatonal.*

*Las vías pueden clasificarse, generalmente, en dos categorías:*

⊕ **CIRCULACIÓN CONTINUA:** *Las estructuras para circulación continua no tienen elementos fijos externos al flujo de tránsito, que causen interrupciones tales como las que causa un semáforo.*

*Las condiciones de la corriente del tránsito son el resultado de las interacciones entre los vehículos y la corriente del tránsito y entre los vehículos y las características geométricas, además del entorno del camino.*

⇒ **CIRCULACIÓN DISCONTINUA:** Esta tiene elementos fijos que producen interrupciones periódicas, independientemente del tránsito que exista en la corriente de tránsito como pueden ser: los semáforos, las señales de alto y otros tipos de control. ↙

Tanto la circulación continua, como la discontinua, son términos que describen el tipo de vía en estudio y no la calidad de la corriente del tránsito, en un tiempo determinado.

### **ELEMENTOS**

*Circulación continua:*

- *Autopista:*
  - a) *Segmento básico*
  - b) *Zonas de entrecruzamiento*
  - c) *Ramal e intersección*
- *Carreteras de carriles múltiples.*
- *Carretera de dos carriles.*

*Circulación discontinua:*

- *Intersecciones semaforizadas.*
- *Intersecciones controladas con señales de alto.*
- *Intersecciones con señales de ceda el paso.*
- *Arterias.*

*El análisis de estos tipos de vías varía considerablemente. Las primeras no tienen interrupciones de tiempo, en el uso del espacio del camino. En cambio, en las segundas, se debe considerar el impacto de las interrupciones. Por ejemplo, un semáforo limita la porción de tiempo, de ese tiempo que está disponible para varios movimientos, en una intersección. La capacidad no sólo está determinada por el espacio físico, sino también por el tiempo en uso de que se disponga para los movimientos en la corriente del tránsito.*

#### *IV.2 Conceptos de capacidad y Nivel de servicio*

##### *Capacidad:*

*Está definida como el valor de flujo máximo horario en el cual, de manera razonable, puede esperarse que las personas y los vehículos pasen por un punto o una rama uniforme de un carril o de un camino, durante un periodo de tiempo dado, en las condiciones prevalecientes del tránsito, del camino y de los controles.*

*El periodo de tiempo usado para la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, el cual es considerado como el periodo más corto, ahí donde existiese un flujo estable.*



*Esta definición de capacidad asume que existen buenas condiciones de clima y de pavimento.*

*Condiciones del camino:*

*Se refiere a las características geométricas de una calle o de un camino, e incluye: el tipo de vía y el desarrollo de un entorno, el número de carriles y acotamientos, los espacios libres laterales, la velocidad de diseño y los alineamientos verticales y horizontales.*

*Condiciones del tránsito:*

*Se refiere a las características de la corriente del tránsito que usa las vías. Son definidas por la distribución de los tipos de vehículos en la corriente del tránsito, la cantidad y distribución del tránsito en los carriles disponibles de la vía y la distribución direccional del tránsito.*

*Condiciones de control:*

*Se refiere a los tipos y diseños específicos de dispositivos para el control y los reglamentos del tránsito presentes en la vía. La localización, el tipo y sincronía de los semáforos son condiciones de control críticas que afectan a la capacidad. Otros controles importantes incluyen a las señales de alto y ceda el paso, las restricciones de usos de carriles, restricciones de vueltas y medidas similares.*

## Niveles de servicio:

*Se define como un medida cualitativa que describe las condiciones operacionales dentro de la corriente del tránsito y su percepción por el conductor y el pasajero. Una definición de nivel de servicio generalmente describe estas condiciones en términos tales como velocidad y tiempo de recorrido, libertad de maniobra, interrupciones del tránsito, comodidad y seguridad.*

*Se han definido 6 niveles de servicio para cada tipo de vía; a las que se han asignado las letras de la A a la F. Es el nivel de servicio " A " el que represente las mejores condiciones de operación y el nivel de servicio " F " el de las peores condiciones.*

### *1. Definiciones de los niveles de servicio para la circulación continua:*

#### *➤ Nivel de Servicio "A":*

*Representa al flujo libre. Los usuarios no se ven afectados por ningún interruptor en la corriente del tránsito, el conductor posee una altísima libertad tanto para seleccionar su velocidad como maniobrar dentro del tránsito. La comodidad es excelente, la seguridad es responsabilidad directa del conductor*

#### *➤ Nivel de Servicio "B":*

*Está en el rango de un flujo estable pero la presencia de pocos usuarios en la corriente del tránsito empieza a ser notoria, la libertad de velocidad*

*permanece relativamente inafectada, aunque existe una ligera disminución en la libertad de maniobra, el nivel de comodidad es algo inferior porque la presencia de otros vehículos comienza a influir en el comportamiento del individuo o nivel.*

➤ *Nivel de Servicio "C":*

*Está en el rango de flujo estable; pero marca el inicio del rango de flujo en el cual la operación de los usuarios en forma individual empieza ser afectada significativamente por la interacción con los otros usuarios en la corriente del tránsito; la velocidad y posibilidad de maniobra están mas estrechamente controladas por los altos volúmenes de tránsito obligando al usuario a una vigilancia importante, el nivel general de comodidad desciende notablemente.*

➤ *Nivel de Servicio "D":*

*Representa alta densidad, pero flujo estable; la velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, experimentando el conductor una comodidad baja, pequeños incrementos de volumen ocasionan problemas de funcionamiento.*

➤ *Nivel de Servicio "E":*

*Representa condiciones de operación a ó cerca del nivel de la capacidad, la velocidad de todos los vehículos se ve reducida con valor bajo pero bastante uniforme. La libertad de maniobrar extremadamente difícil se consigue forzando a otro vehículo, los niveles de comodidad son enormemente bajos elevándose*

*la frustración de los conductores, la circulación en este nivel, es normalmente inestable debido a que pequeños aumentos de volumen o ligeras perturbaciones producen colapsos.*

➤ *Nivel de Servicio "F":*

*Se usa para definir un flujo forzado, o en colapso (los embotellamientos), esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un perfil transversal del camino excede la cantidad que puede pasar por el; en estos lugares se forman colas. La circulación se caracteriza por las continuas paradas y arranques, los vehículos pueden avanzar durante algunos centenares de metros a razonables velocidades y luego es obligado a pararse esto continuamente.*

2. *Valor de flujo de servicio:*

*Es el valor máximo horario en el cual, en forma razonable, puede esperarse que las personas y los vehículos pasen por un punto o un tramo uniforme de una carril o de un camino durante un periodo de tiempo dado, en las condiciones prevalecientes del camino, del tránsito y los controles; mientras se mantenga un nivel de servicio establecido.*

*Debido a que los valores del flujo de servicio son los máximos para cada nivel de servicio, ellos definen los límites de flujo entre los distintos niveles de servicio.*

### 3. Medidas de eficiencia:

Para cada tipo de vía, los niveles de servicio se definen basándose en uno o más parámetros que pueden describir mejor la calidad de la operación del tipo de vía de que se trate. Estos parámetros seleccionados son llamados "Medidas de Eficiencia" y representan las medidas disponibles que mejor describen la calidad de la operación de las vías.

Tabla No. 1

#### DISTINTAS VIAS Y SU EFICIENCIA

TIPO DE VIA	MEDIDA DE EFICIENCIA
Tramos básicos de autopistas	Densidad (vl mill carr).
Zonas de entrecruzamiento	Velocidad promedio de viaje (mill h).
Enlaces	Valores de flujo (vl h)
Carretera de carriles múltiples	Densidad (vl mill carr).
Carretera de dos carriles	Porcentaje de demora (%) Velocidad promedio de viaje (mill h)
Intersecciones semaforizadas	Demora (seg veh).
Intersecciones no semaforizadas	Capacidad de reserva (vl h).
Arterias	Velocidad promedio de viajes (mill h).
Transporte Público	Factor de carga (per asiento)
Peatones	Espacio (pies <sup>2</sup> /pea)

### **IV.3 Principio básico sobre el flujo del tránsito**

*El estado operativo de cualquier corriente de tránsito está definido por tres medidas principales:*

- *La Velocidad*
- *El Volumen y o Valor de flujo*
- *La Densidad*

➤ *La Velocidad:*

*Está definida como la relación de movimientos expresada como distancia por unidad de tiempo. La medida más utilizada es la velocidad promedio de recorrido (velocidad global). Se usa esta medida debido a que se obtiene fácilmente por medio de observaciones de vehículos en la corriente del tránsito (Método del Vehículo Flotante).*

*Hay que hacer notar que los tiempos obtenidos, incluyen las demoras debidas a las interrupciones o a los embotellamientos del tránsito. No hay que confundir esta medida con la velocidad promedio de marcha (velocidad de marcha) que está definida como la distancia dividida entre el tiempo promedio de marcha para cruzar esa distancia. Esta incluye solamente el tiempo en que el vehículo está en movimiento.*

*En el flujo continuo, cuando se opera en condiciones libres, la velocidad global y la velocidad de marcha son iguales.*

➤ *El Volumen y o Valor de flujo:*

*Son dos medidas que cuantifican la cantidad del tránsito que pasa por un punto, un carril o un camino, durante un intervalo de tiempo dado.*

*Volumen: Es el número total de vehículos que pasan por un punto dado, o una sección de un carril o un camino, durante un periodo de tiempo dado. Los volúmenes pueden ser expresados en periodos anuales, diarios, horarios y subhorarios.*

*Valor de Flujo: Es el valor horario equivalente a aquéllos en los que los vehículos pasan por un punto dado, una sección de un carril o un camino, durante un intervalo de tiempo dado, menor que una hora; generalmente es de 15 min.*

*La diferencia entre el volumen y el valor de flujo es muy importante. El volumen es el número actual de vehículos observados o asignados que pasan por un punto durante un intervalo de tiempo. El valor de flujo representa el número de vehículos que pasan por un punto durante un intervalo de tiempo menor que la hora, pero expresada como un valor horario equivalente.*

*El valor de flujo se obtiene tomando el número de vehículos observados en un periodo menor que la hora, dividiéndolo entre el tiempo (en fracción de horas), en el cual fueron observados.*

*El valor de flujo de máxima demanda se obtiene mediante la utilización del factor horario de máxima demanda el cual está definido como el cociente que resulta de dividir el volumen horario total entre el valor de flujo máximo de 15 minutos, dentro de la hora.*

*Matemáticamente su expresión es:*

$$FHP = V_{hm} / (4 * V_{15}) \quad (1)$$

*Donde:*

*PHF = Factor horario de máxima demanda*

*V<sub>hm</sub> = Volumen horario (horario de máxima demanda).*

*V<sub>15</sub> = Volumen de los 15 minutos en la hora de máxima demanda.*

*En la mayoría de los análisis serán usados los valores de flujo en el periodo de máxima demanda.*



*Cuando se conoce el factor horario de máxima de manda, éste se puede utilizar para convertir el valor del volumen de máxima demanda a otro valor de flujo de máxima demanda como sigue:*

$$V = V_{hm} / FHP \quad (2)$$

*Donde :*

*V = Valor de flujo para el periodo de 15 minutos máximo.*

*FHP – Factor horado de máxima demanda.*

*V<sub>hm</sub> – Volumen de la hora de máxima demanda.*

#### *➤ La Densidad*

*Está definida como el número de vehículos que están en una determinada longitud de un carril o de un camino y se expresa en vehículos por milla.*

*Medir la densidad en el campo es difícil, pues se necesita un punto elevado desde el cual se pueda fotografiar, videogravar y observar longitudes significativas del camino; sin embargo, de la velocidad global y del valor de flujo, que son más fáciles de calcular, puede obtenerse la densidad así:*

$$V = S * D \quad (3)$$

*Donde:*

*V = Valor de flujo (veh h)*

*S = Velocidad global (mill hr. o Km hr)*

*D = Densidad (veh milla o km . hr)*

*La densidad es un parámetro crítico que describe las operaciones del tránsito, describe la proximidad entre los vehículos y refleja la libertad de los conductores dentro de la corriente del tránsito.*

#### ***IV.4 Características de la circulación discontinua***

*La circulación discontinua es mucho más compleja que la circulación continua, ya que está sujeta a puntos de operación determinada, tales como: los semáforos, señales de alto y señales de ceda el paso.*

*1. El concepto de " Tiempo en luz verde", en las intersecciones semaforizadas.*

*El recurso más importante que se usa para la interrupción de la circulación es el semáforo. En ellos, la circulación en cada movimiento o grupo de movimientos es periódicamente detenida.*

*Sólo el tiempo durante el cual el semáforo está en luz verde es el disponible par el movimiento. Así, el movimiento en un grupo de carriles dado, es solamente posible para una opción del tiempo total.*

## *2. Valor de flujo de saturación y los tiempos perdidos en las intersecciones semaforizadas*

*En este punto debe considerar la dinámica (de inicio y continuación) de la "cola" de vehículos cuando se tiene el tiempo de verde. En la figura 1., se ilustra una "cola" de vehículos detenidos en un semáforo. Cuando el semáforo cambia a luz verde, los vehículos empiezan a moverse, los espacios en tiempo entre vehículos pueden ser observados cuando crucen la línea de la orilla de la banqueta de la intersección.*

*Primer vehículo: Experimenta un tiempo desde que ve el conductor el verde reacciona al cambio quitando el pie del freno y acelera al pasar por la intersección.*

*Segundo vehículo: El tiempo de acción - reacción, puede ocupar parte del tiempo en que el primero empieza a moverse y podrá moverse más rápido por tener una mayor longitud de aceleración, por lo tanto, el "N" vehículos hasta que se logra un movimiento uniforme de ellos hasta el último vehículo de la fila.*

*El espacio en tiempo para estos últimos será relativamente constante.*

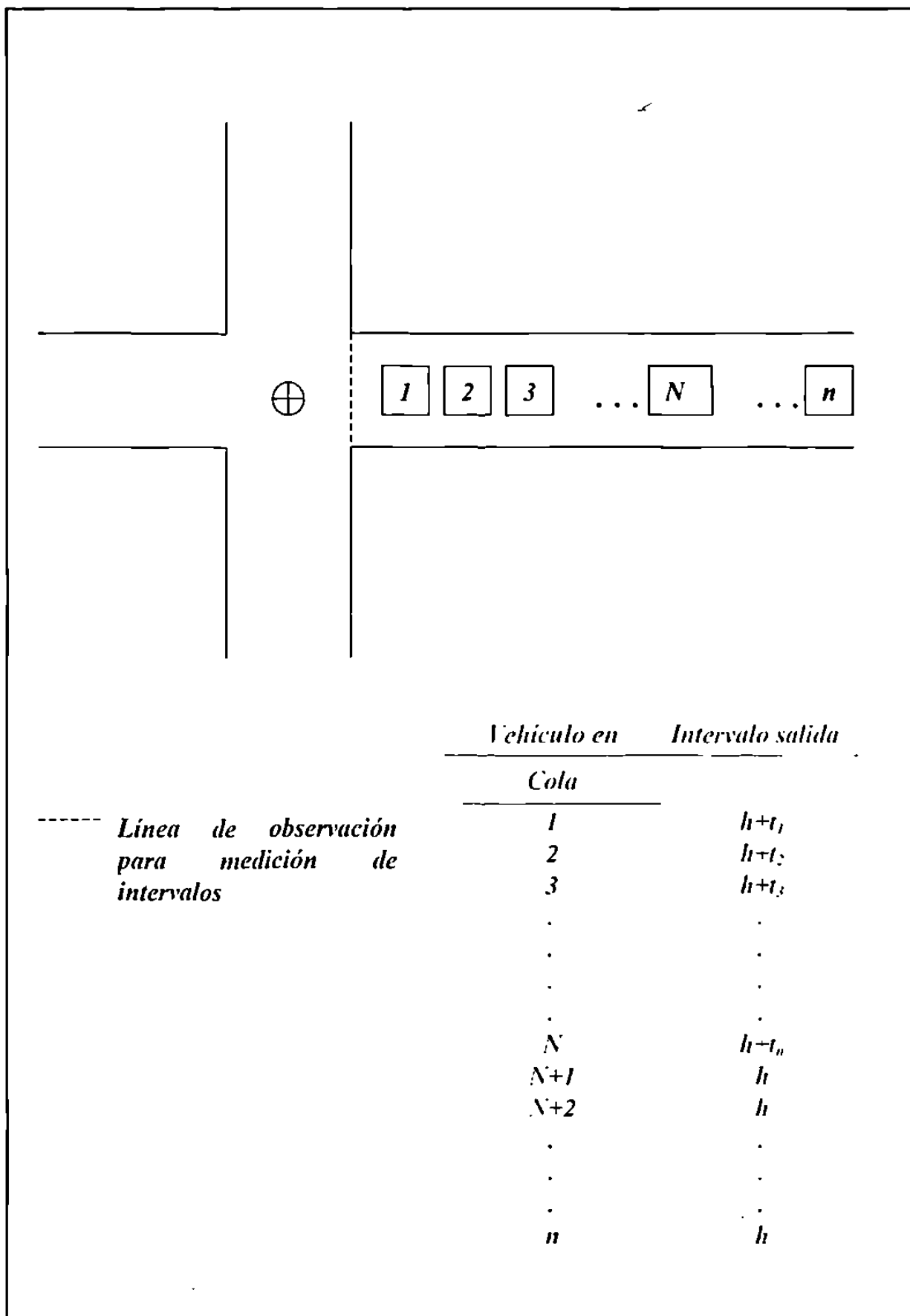
*En la figura 1., este espacio en tiempo es denominado como "h" y se alcanza después de "N" vehículos.*

*El valor de "h" está definido como el espacio promedio constante entre los vehículos y ocurre después del "N", vehículo en la cola y continúa hasta el último vehículo de la fila que "despeja" la intersección.*

*El espacio en tiempo de saturación es la cantidad de tiempo consumido por un vehículo en una "cola", con movimiento estable, cuando pasa a través de una intersección semaforizada en luz verde.*

*Los incrementos que experimentan los primeros vehículos se les llama "Tiempos perdidos de inicio". Estos incrementos se repiten en cada luz verde.*

*Cada vez que una corriente de vehículos se detiene, se experimenta otro tipo de tiempo perdido, ya que se requiere, por seguridad, un tiempo para despejar la intersección antes de que otra corriente de vehículos intente usar la intersección. A este intervalo se le llama "Tiempo Perdido de Despeje". En la práctica este tiempo periodo se toma en cuenta en los ciclos mediante el tiempo de luz ámbar y todo el de luz roja. Los conductores generalmente nos detienen durante el intervalo completo.*



*Figura 1.- Condiciones en la interrupción del Tránsito.*

*El "Valor de flujo de saturación" es el valor del flujo por carril en el cual los vehículos pueden pasar a través de una intersección semaforizada en una "cola" en movimiento estable (h). Entonces, el valor del flujo de saturación representa el número de vehículos por hora, por carril, que pueden pasar a través de una intersección si el tiempo de luz verde estuviera disponible durante toda la hora y el flujo de los vehículos nunca fuese interrumpido.*

*La relación entre el valor del flujo de saturación y los tiempos perdidos es crítica. Para un carril o movimiento dado, los vehículos usan la intersección en el valor de flujo de saturación por un período de tiempo igual al tiempo de luz verde disponible más el intervalo de cambio, menos los tiempos perdidos de inicio y despeje. por esto, el total de tiempo perdido por hora está relacionado con el ciclo del semáforo.*

*La cantidad de tiempo perdido impacta la capacidad, la lógica sugiere que la capacidad de la intersección se incrementa con el incrementos del ciclo, más sin embargo, la demora también llega a ser excesiva.*

### *3. La circulación en las intersecciones con señales de "Alto" y "Ceda el paso".*

*Un conductor, ante las señales de "Alto" y "Ceda el paso", enfrenta una tarea de discernimiento. Debe de seleccionar un espacio entre los vehículos en la circulación de la calle considerada principal, para ejecutar el movimiento deseado.*

*La capacidad, en este tipo de intersecciones depende de dos factores:*

- a) De la distribución de los espacios entre los vehículos, en la corriente del tránsito de la calle considerada principal.*
- b) De la distribución de los espacios, aceptable para los conductores de la calle considerada secundaria.*

*El inciso a) depende de:*

- \* El volumen total de la calle.*
- \* La distribución direccional de la calle.*
- \* El número de carriles en la calle principal.*
- \* La pendiente del terreno.*
- \* El tipo de vehículos que esté agrupado.*

*El inciso b) depende de:*

- \* El tipo de maniobra (vuelta izquierda, derecha y de frente) que tiene que realizar el vehículo de la calle secundaria.*
- \* El número de carriles de la calle considerada secundaria.*
- \* La velocidad de tránsito en la calle considerada principal.*
- \* La distancia de visibilidad.*
- \* El tiempo que ha estado esperando el vehículo en la calle secundaria.*
- \* Las características del conductor (edad, tiempo de reacción, vista, etc.)*

#### *4. La Demora*

*Una medida de capacidad crítica en las vías de circulación discontinua es la Demora. La "Demora" es un término general que puede ser interpretado para describir un buen número de cosas. La demora promedio por parada es la medida más importante de eficiencia para las intersecciones semaforizadas; es la demora total que experimentan todos los vehiculos en un acceso o en un grupo de carriles, en un período de tiempo dado, dividido entre el volumen total que entra a la intersección durante el mismo período de tiempo, expresado en segundos por vehiculo.*

*La demora que se presenta al viajar a velocidad más bajas que las deseadas es difícil de establecer, debido a que se requiere fijar velocidad razonablemente deseada para cada segmento de la vialidad.*

#### *IV.5 Factores que afectan la capacidad*

##### *Condiciones ideales:*

*Una condición ideal es una condición en la cual, cualquier mejora posterior no logrará ningún aumento en la capacidad.*



*Ejemplos de condiciones ideales en:*

*a) Circulación continua:*

- 1. Carriles de 2 pies de ancho*
- 2. Zonas de 6 pies libres entre las obstrucciones y los objetos laterales más cercanos, a la orilla de los carriles principales y en la faja separadora central.*
- 3. Velocidad de diseño de 70 mph para autopistas y carreteras de carriles múltiples y 60 mph para carreteras de dos carriles.*
- 4. 100% de vehículos ligeros en la corriente del tránsito.*

*b) Acceso en las intersecciones semaforizadas:*

- 1. Carriles de 12 pies de ancho*
- 2. Terreno en un solo nivel*
- 3. Prohibido estacionarse en las aceras en los accesos de la intersección de vehículos en la corriente del tránsito, incluyendo la prohibición de paradas de autobuses urbanos dentro de la intersección.*
- 4. 100% de vehículos ligeros en la corriente del tránsito incluyendo la prohibición de paradas de autobuses urbanos dentro de la intersección.*
- 5. Todos los vehículos que viajan en la intersección van directos (de frente).*
- 6. Intersecciones localizadas fuera de la zona comercial (centro de la ciudad).*
- 7. Semáforo siempre en luz verde.*

*En la mayoría de la análisis de capacidad, las condiciones prevalecientes no son la ideales y los cálculos para obtener la capacidad, los valores del flujo de servicio o el nivel de servicio, deben incluir los ajustes que reflejen estas condiciones. Las condiciones prevalecientes son generalmente categorizadas como las condiciones del camino, del tránsito y de los controles.*

### *Condiciones del camino:*

*Incluyen todos los parámetros geométricos que describen el camino:*

➤ *Tipo de vía y su desarrollo en la zona:*

- Esta puede ser de flujo continuo o de flujo discontinuo.*
- Puede o no tener faja separadora central.*
- Influencia del lugar en que se encuentra.*

➤ *Ancho de carril:*

*Los carriles angostos hacen que los vehículos circulen más cerca unos de otros por los costados, lo cual se compensa disminuyendo la velocidad y observando mayor distancia, en el sentido longitudinal.*

➤ *Ancho de acotamiento y obstáculos laterales:*

*Muchos vehículos "huyen", de los lados del camino o de los objetos en la faja separadora central, haciendo que viajen más cercanos en el sentido lateral teniendo la conducta misma mencionada en el punto anterior. En las vías de dos carriles, donde existen acotamientos, éstos se usan para permitir pasar a los vehículos lentos; si los acotamientos son angostos, se afecta a la capacidad.*

➤ *Velocidad de diseño:*

*Las restricciones de velocidad afectan la capacidad, debido a que los conductores se ven obligados a viajar en velocidades reducidas y a ser más cautelosos cuando los alineamientos vertical y horizontal, representa peligro.*

➤ *Alineamiento vertical y horizontal:*

*El alineamiento vertical y horizontal de un camino son producto de la velocidad para la que fueron diseñados, según la topografía del lugar donde se han construido. En términos generales se tienen tres tipos de terrenos:*

- 1. Terreno en un nivel: Es una combinación de ambos alineamientos que permiten a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que los vehículos ligeros. Incluyen pendientes pequeñas del 1 al 2%.*

2. Terreno en lomerío: *Es una combinación de ambos alineamientos que causa que los vehículos pesados disminuyan substancialmente la velocidad respecto a los vehículos ligeros pero no causa que éstos lleguen a la velocidad sostenida.*

3. Terreno montañoso: *Es una combinación de ambos alineamientos que causa que los vehículos pesados operen a velocidades sostenidas, en distancias significativas o en intervalos frecuentes.*

*El vehículo pesado está definido como todo aquel vehículo que usa más de 4 llantas tocando la superficie de rodamiento.*

Velocidad sostenida: *Es la máxima velocidad que puede mantener los vehículos pesados en una pendiente ascendente para un por ciento dado, en un tramo prolongado.*

*Estas definiciones están dadas en forma general y depende de la mezcla particular de vehículos pesados, en la corriente del tránsito.*

*La capacidad y los niveles de servicio se ven afectados por los vehículos pesados, cuando:*

- a) El porcentaje de vehículos pesados en el volumen total es significativo.*
- b) Las oportunidades de rebase en las carreteras de dos carriles son escasas.*

*c) existen pendientes aisladas en longitudes significativas.*

*d) Existen pendientes en las intersecciones, principalmente en los accesos.*

### **Condiciones del Tránsito:**

#### **1. Tipo de vehículos:**

*Los vehículos pesados descritos anteriormente afectan en dos formas significativas a la capacidad:*

- \* Son más largos que los vehículos ligeros y, por lo tanto, ocupan más espacios que los vehículos ligeros.*
- \* Tienen una habilidad de operación más lenta que los vehículos ligeros, particularmente en la aceleración, la deceleración y la habilidad para mantener uniforme la velocidad en las pendientes ascendentes.*

*Los vehículos pesados están clasificados en tres principales categorías:*

#### **a) Camiones:**

*Involucrados principalmente en el transporte de bienes, cuya relación peso potencia es de 200 lb hp.*

*b) Vehículos recreacionales:*

*Operados por particulares, dedicados al transporte de equipo para recreación, cuya relación peso potencia varía de 30 al 60 lb hp.*

*c) Autobuses:*

*Dedicados al transporte de personas. Existen dos tipos básicos: los foráneos que no paran continuamente para el ascenso/descenso del pasaje y los urbanos que sí lo hacen; cuya relación peso - potencia varía de 70 a 100 lb hp.*

## **2. Uso de carriles y la distribución direccional.**

*a) Distribución direccional:*

*Tiene su mayor impacto sobre las carreteras de dos carriles. Lo óptimo es que sea 50 - 50 la capacidad declina cuando se desequilibra esta proporción.*

*b) Distribución de carriles:*

*Los carriles laterales normalmente se usan menos que los carriles internos.*

**Condiciones de control:**

**1. La más crítica es la del semáforo, la cual depende de:**

- \* *El tipo de control que se utilice.*
  - \* *El tipo de fases.*
  - \* *La distribución del tiempo de luz verde.*
  - \* *La duración del ciclo.*
2. *Las señales de "Alto" y "Ceda el paso", las cuales asignan la preferencia a la calle considerada principal.*
  3. *Las señales de "Alto", en los cuatro accesos, donde es el comportamiento muy variable.*
  4. *Las restricciones del estacionamiento en las calles.*
  5. *Las restricciones para conceder vueltas.*
  6. *El control en el uso de los carriles reversibles.*

*Uno de los usos más importantes de este estudio de capacidad es la evaluación de los planes alternativos de mejoramiento basada en cambios como: construcción, ampliación y mejoras en puntos específicos, anchos de carriles, anchos de acotamientos, número de carriles, alineamiento vertical y horizontal, además de otros factores geométricos y de operación.*

## **IV.6 Clasificación funcional de los vehículos**

*Los vehículos se clasifican en:*

➤ *Vehículos ligeros o livianos.*

*Son vehículos de pasajeros y o carga, de dos ejes y cuatro ruedas. Son ejemplo de ellos los automóviles, las camionetas y las unidades ligeras de pasajeros o carga*

➤ *Vehículos pesados.*

*Son vehículos de pasajeros y o carga, de dos o más ejes y seis o más ruedas. En esta clasificación se incluyen los camiones y los autobuses.*

➤ *Vehículos especiales.*

*Son aquellos que eventualmente transitan y o cruzan la vía, como por ejemplo: camiones y remolques especiales para el transporte de troncos, minerales, maquinaria pesada u otros productos voluminosos; bicicleta y motocicleta; vehículos deportivos; vehículos recreacionales; vehículos de tracción animal; y todos los demás vehículos no clasificados anteriormente. La tabla 2 muestra la clasificación general de los vehículos.*



#### *IV.7 Características de los vehículos pesados*

*Las normas que rigen el diseño de calles y carreteras, se basan en gran parte en las dimensiones (figura 2) y características de operación de los vehículos que por ellas circulan.*

*Para efecto de diseño, se consideran en general dos clases de vehículos livianos y pesados. Las principales características para su clasificación están referidas al radio mínimo de giro y a aquellas que determinan las ampliaciones o sobre anchos necesarios en las curvas horizontales, tales como: distancia entre ejes extremos, ancho total de la huella, ancho total del vehículo y vuelos delantero y trasero.*

*Por lo general el vehículo pesado de proyecto se utiliza en terminales de pasajeros y de carga, donde se espera una alta circulación de autobuses y camiones, efectuando maniobras de ascenso y descenso de pasajeros, y carga y descarga de mercancías.*

*Pueden también ser utilizados en autopista y vías rápidas, dependiendo si son significantes en los movimientos de vuelta.*

*Las características de operación tales como radios de giro, aceleración y frenado tienen una gran influencia en el diseño geométrico vial.*

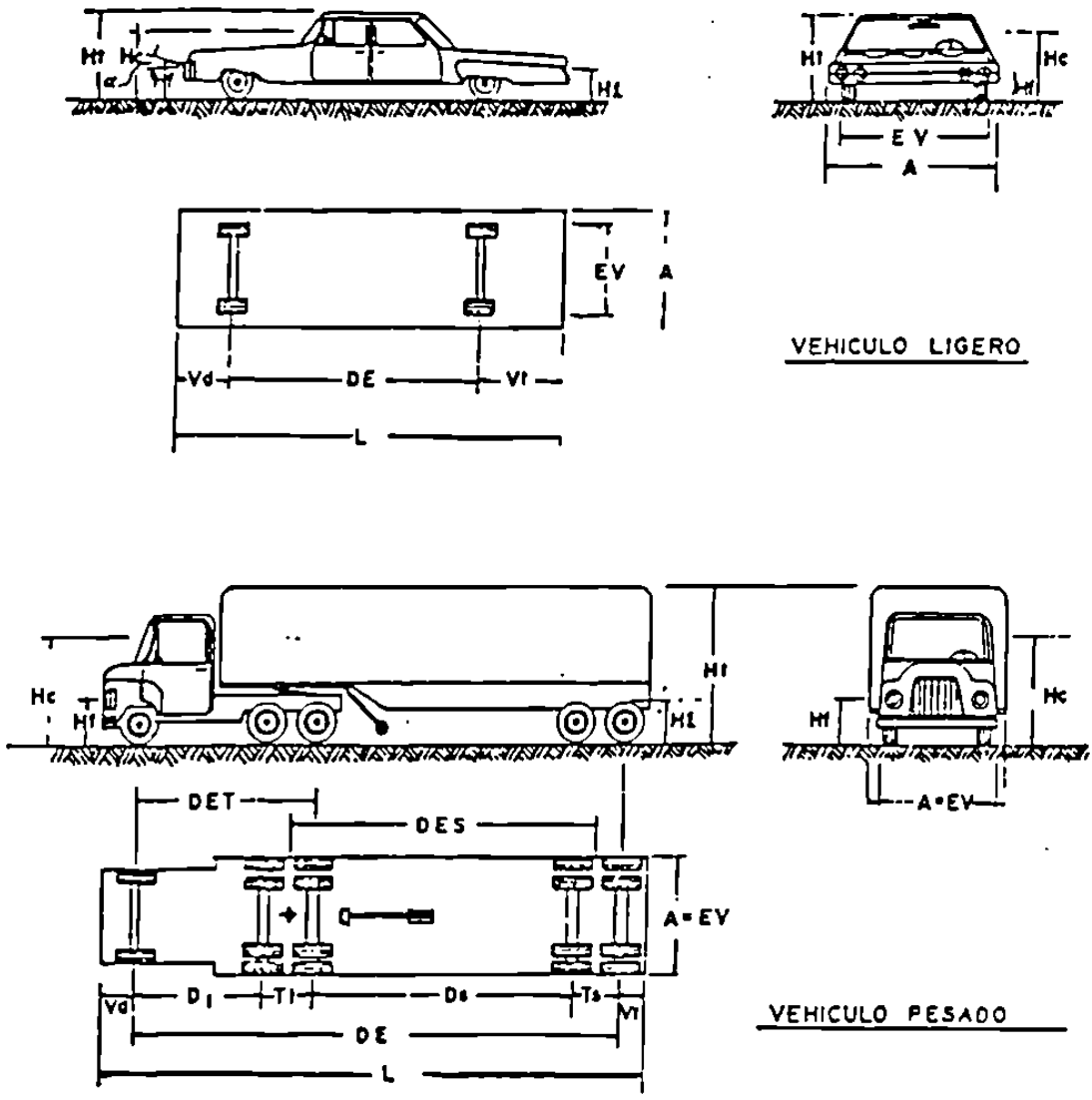


Figura 2. Dimensiones de los vehículos ligeros y pesados

## V. ANALISIS DE CAPACIDAD EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

---

---

### *V.1 Antecedentes*

*Este capítulo contiene los procedimientos de análisis para la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas. Estas son uno de los lugares más complejos en la corriente de tránsito.*

*El análisis de las intersecciones semaforizadas debe considerar una amplia variedad de condiciones prevaecientes, incluyendo la cantidad y la distribución de los movimientos del tránsito, su composición, las características geométricas y los detalles de la semaforización de la intersección. La metodología de este capítulo se centra en la determinación del nivel de servicio para condiciones prevaecientes conocidas o en proyecto, pero presenta alternativas de cálculo para la determinación de otras variables usando un nivel de servicio asumido o deseado.*

*La capacidad de una carretera está relacionada principalmente con las características geométricas de la vía, así como a la composición del tránsito en ella. En las intersecciones semaforizadas, se introduce un elemento un elemento adicional al*

*concepto de capacidad: la asignación del tiempo. Un semáforo esencialmente distribuye tiempo entre movimientos circulatorios conflictivos que pretenden utilizar el mismo espacio físico. La forma en la cual el tiempo se asigna tiene un impacto significativo en la operación de la intersección y en la capacidad de la misma y de sus accesos.*

*La metodología aquí presentada se aplica a la capacidad y al nivel de servicio de los accesos a la intersección, y al nivel de la intersección como un todo. La capacidad se evalúa en términos de la relación entre la intensidad de la demanda y la capacidad ( $v/c$ ), mientras que el nivel de servicio se evalúa en base a la demora media de parada por vehículo ( $seg/v$ ). La capacidad de la intersección como un todo no se aborda aquí por que el diseño y la semaforización de las intersecciones se centran en la adaptación de los movimientos importantes y accesos que componen la intersección. Por lo tanto la capacidad es solamente significativa cuando se aplica a estos movimientos y accesos importantes.*

### **V.1.1 Semáforos**

*Los semáforos modernos asignan el tiempo en una gran variedad de formas. Desde los más sencillos (un semáforo de dos fases de tiempo fijo) hasta los más complejos (de multifase, actuados por el tránsito). Esta sección describe la terminología básica de los*

*semáforos y describe brevemente los varios tipos de operación y su impacto en la capacidad.*

*Los siguientes términos son comúnmente usados para describir las operaciones de los semáforos.*

- *Ciclo: Una secuencia completa de indicaciones del semáforo.*
- *Duración de ciclo: El tiempo total del semáforo para completar un ciclo, expresado en segundos, se representa con el símbolo C.*
- *Fase: Parte del ciclo asignado a cualquier combinación de movimientos del tránsito que reciben derecho de vía simultáneamente durante uno o más intervalos*
- *Intervalo: Un periodo de tiempo durante el cual todas las indicaciones del semáforo se mantienen constantes.*
- *Cambio de Intervalo: Los intervalos "ambar" más "todo luz roja", que ocurren entre las fases para proveer un despeje en la intersección antes de que los movimientos conflictivos se alcancen, establecido en segundos, dado por el símbolo Y.*
- *Tiempo de luz en verde: Tiempo, dentro de una fase dada, durante la cual la indicación "verde" está a la vista; expresado con el símbolo G, (para la fase i) y en segundos.*
- *Tiempo perdido: El tiempo durante el cual la intersección no está efectivamente utilizada por ningún movimiento, estos tiempos ocurren durante el intervalo de*

*cambio (cuando la intersección se despeja) y al principio de cada fase cuando los primeros vehículos de la cola experimentan las demoras de inicio.*

- *Tiempo de luz verde efectivo*: *El tiempo durante una fase dada disponible en forma efectiva para los movimientos permitidos, generalmente se toma como el tiempo de verde más el cambio de intervalo menos el tiempo perdido para la fase asignada, estableciendo en segundos, dado por el símbolo  $g_i$  (para la fase  $i$ ).*
- *Proporción de luz en verde*: *Es la relación del tiempo de verde efectivo en la duración del ciclo, dado por el símbolo  $g/C$  (para la fase  $i$ ).*
- *Luz roja efectiva*: *El tiempo durante el cual un movimiento dado o un grupo de movimientos no se le permite su circulación, establecido en segundos., siendo la duración del ciclo menos el tiempo de verde efectivo para una fase específica, dado por el símbolo  $r_i$ .*

*Los semáforos pueden operar en tres modalidades básicas, dependiendo del tipo de equipo de control empleado, siendo estas:*

#### *1. Semáforos de tiempos fijos.*

*En esta operación, la duración del ciclo, las fases, tiempos de luz verde y los cambios de intervalo son preestablecidos, permitiendo definir varios programas que pueden accionarse automáticamente a tiempos fijos durante el día.*

## *2. Semáforos semiaccionados por el tránsito.*

*En la operación semiaccionados la calle principal asignada en cuestión tiene una indicación "verde" durante todo el tiempo hasta que los detectores de la calle secundaria determinen que un vehículo o vehículos, hayan llegado a uno o ambos accesos secundarios. El semáforo muestra entonces una fase "verde" para la secundaria, después de un intervalo de cambio apropiado, que se mantiene hasta que todos los vehículos hayan pasado o hasta que el verde de la calle secundaria alcance un tiempo preestablecido de verde máximo. En esta operación la duración del ciclo y los tiempos de luz en verde pueden variar de ciclo a ciclo en respuesta a la demanda.*

## *3. Operación totalmente actuada.*

*En esta, todas las fases del semáforo son controladas por detectores. En general en este tipo de control se especifican los tiempos de luz verde máximo y mínimos para cada fase. Las duraciones de los ciclos y los tiempos de luz verde varían considerablemente, en respuesta a la demanda.*

*Muchos sistemas de semáforos están hoy en día controlados por computadoras. En estos casos, las intersecciones generalmente operan bajo controles de tiempo fijo, permitiendo que el plan de fases y la coordinación de semáforos sean controlados por computadoras.*

*Las fases del semáforo pueden proporcionar movimientos de vuelta permitidos o protegidos. Un movimiento permitido de vuelta es el que se realiza a pesar de tener flujos de vehículos en el sentido opuesto y cruce de peatones.*

*El movimiento protegido es aquel movimiento que se realiza sin los flujos anteriores, tales como las vueltas izquierdas o las vueltas derechas cuando el movimiento de peatones se prohíbe.*

*Así, una vuelta permitida consume más verde del proporcionado a un verde protegido, debido a la fricción de tener que seleccionar en el flujo opuesto. Tanto la vuelta protegidas como la permitida pueden ser más eficientes en una situación dada, dependiendo de los volúmenes opuestos, de la geometría de la intersección y otros factores.*

*La capacidad en una intersección depende grandemente de la semaforización presente. Dado el intervalo potencial de control del semáforo, la capacidad es más variable que para otro tipo de vías en donde ésta depende principalmente de la geometría del camino.*



### ***V.1.2 Capacidad y Nivel de Servicio***

*Para las intersecciones semaforizadas, ambos conceptos son analizados por separado y no tienen una relación sencilla entre sí.*

*La relación  $v/c$  es el valor de flujo actual en el acceso o en el grupo de carriles asignado durante los 15 minutos máximos dividido entre la capacidad del acceso o del grupo de carriles asignado.*

*El nivel de servicio está basado en la demora promedio de parada por vehículo para varios movimientos dentro de la intersección. Mientras la relación  $v/c$  afecta la demora, existen otros parámetros que la afectan más fuertemente, tales como la calidad de la sincronía, la duración de las fases de luz verde, la duración del ciclo y otros. Así, para una relación  $v/c$  dada, puede resultar una gran cantidad de valores para la demora. Por esta razón tanto la capacidad como el nivel de servicio deben de analizarse cuidadosamente.*

### ***V.1.3 Capacidad de las intersecciones semaforizadas.***

*La capacidad está definida para cada acceso; entonces, la capacidad del acceso de la intersección es el valor de flujo máximo (del acceso en estudio) que puede pasar a través de una intersección en las condiciones prevalecientes del tránsito, del camino y de las condiciones de la semaforización, establecidas en vehículos por hora.*

*Las condiciones del tránsito incluyen: los volúmenes en cada acceso, la distribución de los vehículos por movimiento (izquierda, derecha y directo), la distribución por tipo de vehículo dentro de cada movimiento, la ubicación y la utilización de las paradas de autobuses de la zona de la intersección, los flujos de peatones y las maniobras de estacionamiento en la zona.*

*Las condiciones del camino consideran: la geometría básica de la intersección que incluye el número y ancho de carriles, pendientes, y la utilización de los carriles (incluyendo los carriles de estacionamiento).*

*Las condiciones de la semaforización incluye una definición completa de las fases del semáforo, su duración, su tipo de control y la evaluación de la sincronía en cada acceso.*

*Se puede evaluar y determinar la capacidad de carriles o grupos de carriles designados dentro de un acceso con este capítulo, aislando los carriles que sirven al o los movimientos en particular, llamándolos grupos de carriles.*

*La capacidad en las intersecciones semaforizadas está basada en el concepto de flujos de saturación y en valores de flujo de saturación, siendo este último definido como un valor de flujo máximo que puede pasar por un acceso de una intersección o un grupo de carriles dado bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y del camino, suponiendo que el acceso o el grupo de carriles tuvo el 100% del tiempo real disponible como tiempo de luz verde efectivo. El valor de flujo para un acceso o grupo de carriles dado*

está definido como la relación entre el valor de flujo actual  $v_i$  y el valor de flujo de saturación, llamándole con el símbolo  $(v s)_i$ , para cada acceso o grupo de carriles  $i$ .

Entonces, la capacidad es:

$$c_i = s_i * (g C)_i \quad (4)$$

Donde:

$c_i$  = Capacidad del flujo de carriles o acceso dado en  $v/h$ .

$s_i$  = Valor de flujo de saturación para el grupo de carriles o acceso en  $v/hr$ .

$(g C)_i$  = Relación de verde para el grupo de carriles o acceso  $i$ .

La relación entre el valor de flujo y la capacidad  $(v/c)_i$ , se establece con el símbolo  $X_i$  (grado de saturación) en el análisis de la intersección para enfatizar la estrecha relación de la capacidad y las condiciones de semaforización para un grupo de carriles dado o acceso  $i$ :

$$X_i = (v c)_i = V_i [S_i * (g C)_i] \quad (5)$$

$$X_i = v_i C \quad s g_i = (v c)_i \quad (g C)_i \quad (6)$$

Donde:

$X_i$  = Relación  $v/c$  para el grupo de carriles o acceso  $i$ .

$v_i$  = Intensidad de circulación real para el grupo de carriles o acceso  $i$ , en  $v/hv$ .

$s_i$  = Intensidad de saturación para el grupo de carriles o acceso  $i$  en  $v/hv$ .

$g_i$  = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles  $i$  o acceso  $i$ , en segundos.

Los valores de  $X$  varían de 1.00 cuando el valor de flujo es igual a la capacidad y 0.00 el valor de flujo es cero.

La capacidad de la intersección completa no es un concepto importante y no está específicamente definido. Raramente todos los movimientos en la intersección se saturan al mismo tiempo en el día. Entonces, la preocupación crítica es que los movimientos individuales que se efectúan en la intersección sean eficientes.

Otro concepto de capacidad en el análisis de las intersecciones semaforizadas es la relación  $v/c$  crítica,  $X_c$ . Esta es una relación que considera sólo los grupos de carriles o accesos que tienen el mayor valor de flujo  $I/c$  para una fase dada.

La relación  $v/c$  crítica para una intersección se define como:

$$X_c = \sum (v/s)_{ci} * [C / (C - L)] \quad (7)$$

Donde:

$X_c$  = Relación  $v/c$  crítica para la intersección.

$\sum (v/s)_{ci}$  = La sumatoria de los valores de flujo para todos los grupos de carriles o accesos  $i$ .

$C$  = Duración del ciclo, en seg.

$L$  = Total del tiempo perdido en el ciclo, calculado como la suma de tiempo perdido de inicio y de cambio de intervalo menos la porción del cambio de intervalo usado por los vehículos para cada fase crítica.

*Esta ecuación es útil para evaluar la intersección en forma general en relación a la geometría y a la duración del ciclo; útil también para estimar los tiempos de las fases cuando no se conocen, proporcionando la relación  $v/c$  para los movimientos críticos, suponiendo que el tiempo de luz verde ha sido el apropiado o distribuido proporcionalmente. Por lo tanto, es posible obtener una relación  $v/c$  menor que 1.00 teniendo movimientos individuales sobresaturados dentro del ciclo del semáforo.*

*Una relación  $v/c$  menor que 1.00 indica que todos los movimientos en la intersección pueden ser acomodados dentro del ciclo y la secuencia de sus fases, distribuyendo adecuadamente los tiempos de verde.*

#### ***Niveles de Servicio para las intersecciones semaforizadas.***

*Estos están definidos en términos de la demora siendo ésta una medida que refleja la molestia y frustración del conductor, el consumo de combustible y la pérdida de tiempo en el viaje. Estos niveles de servicio se han establecido en términos de la demora promedio de parada por vehículo. La demora es una medida compleja y depende de un número de variables que incluyen la calidad de la sincronía, la duración del ciclo, la relación de verde y la relación  $v/c$  para un grupo de carriles o accesos en estudio.*

<b>Tabla 3</b>		
<b>Descripción de los niveles de servicio</b>		
<b>N.S.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS NIVELES DE SERVICIO</b>	<b>DEMORA (seg)</b>
<i>A</i>	<i>Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos, los vehículos no hacen alto.</i>	<i>&lt; 5.00</i>
<i>B</i>	<i>Ocurre con una sincronía y ciclos cortos, los vehículos empiezan a detenerse.</i>	<i>5.1 a 15.0</i>
<i>C</i>	<i>Ocurre con una sincronía regular y/o ciclos largos, los ciclos en forma individual empiezan a fallar.</i>	<i>15.1 a 25.0</i>
<i>D</i>	<i>Empieza a notarse la influencia de congestionamientos, ocasionados por un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos se detienen.</i>	<i>25.1 a 40.0</i>
<i>E</i>	<i>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.</i>	<i>40.0 a 60.0</i>
<i>F</i>	<i>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.</i>	<i>&gt; 60.0</i>

#### **V.1.4 Relación de la capacidad y los niveles de servicio.**

*Es posible tener demoras en el intervalo del nivel de servicio F (inaceptable) cuando la relación v/c es menor de 1.00, quizá con valores tan bajos como 0.75 - 0.85. En estas*

*relaciones pueden ocurrir grandes demoras cuando existan algunas de las condiciones siguientes:*

- *La duración del ciclo es grande.*
- *El grupo de carriles o acceso en cuestión se van en desventaja (teniendo un tiempo de rojo largo) por los tiempos de semáforo.*
- *La sincronía de semáforos para los movimientos estudiados es pobre.*

*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 es favorable para el movimiento en estudio.*

*Entonces, el nivel de servicio  $F$  no implica automáticamente que la intersección, el acceso o el grupo de carriles está sobrecargado, ni que el nivel de servicio entre  $A$  y  $E$  implica que existe una capacidad disponible sin ser utilizada.*

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

### **V.1.5 Análisis Operacional**

*En este capítulo se presentan dos niveles de análisis:*

*El análisis operacional.- Requiere de una detallada información sobre las condiciones prevalecientes del tránsito, del camino y de la semaforización, obteniendo un análisis completo de la capacidad y del nivel de servicio, pudiendo además, evaluar diseños geométricos alternativos y o planes de semáforos.*

*El análisis de planificación.- Sólo analiza la capacidad debido a que la información detallada necesaria para estimar la demora no está disponible. El procedimiento ofrece amplios resultados que permiten determinar si la intersección puede o no sobreesaturarse.*

*El análisis operacional podrá utilizarse en la mayoría de los análisis para las intersecciones existentes o situaciones futuras en la cual el tránsito, la geometría y los parámetros de control sean bien establecidos, pudiendo definir:*

- 1. El nivel de servicio, conociendo los detalles del flujo de la intersección, semaforización y la geometría.*
- 2. Los valores de flujo de servicio permitidos para un nivel de servicio seleccionado, conociendo los detalles de semaforización y geometría.*



3. *El tiempo para las fases, conociendo el nivel de servicio deseado y los detalles del flujo y la geometría.*
4. *La geometría básica (número o distribución de carriles), conociendo el nivel de servicio deseado y los detalles de flujo y semaforización.*

## **V.2 Método**

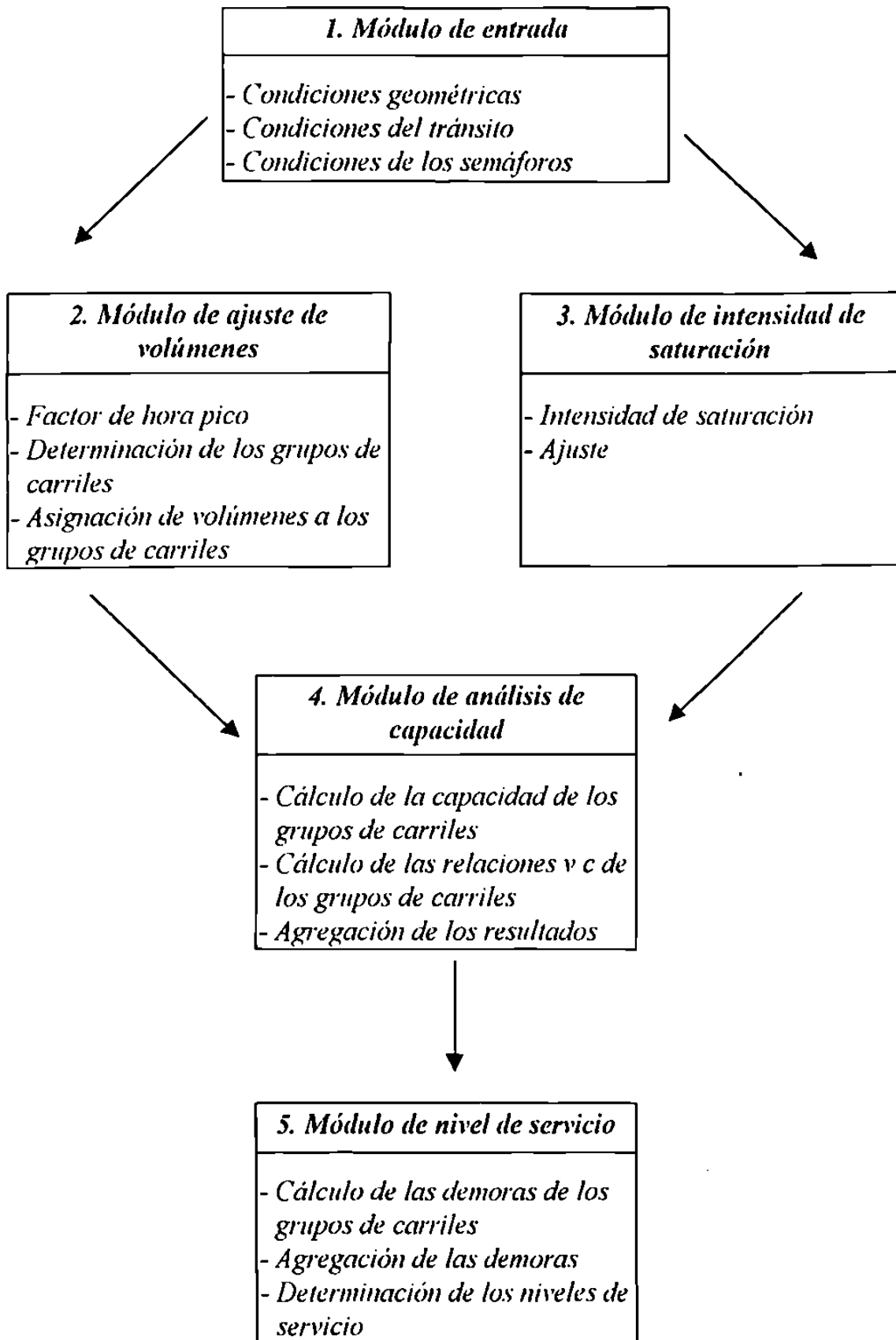
*El objetivo de este análisis es obtener la capacidad y el nivel de servicio para cada acceso o grupo de carriles, así como el nivel de servicio para toda la intersección. Requiere de información detallada, relativa a las condiciones geométricas del tránsito y la semaforización de la intersección.*

### **V.2.1 Análisis de operación**

*El objetivo de este análisis es obtener la capacidad y el nivel de servicio para cada acceso o grupo de carriles, así como el nivel de servicio para toda la intersección. Requiere de información detallada relativa a las condiciones geométricas, del tránsito y la semaforización de la intersección.*

1. Módulo de entrada: Comprende básicamente la definición de toda la información necesaria para los cálculos posteriores, esto es, la geometría de la intersección, los volúmenes de tránsito y sus condiciones y la semaforización.
2. Módulo de ajuste de volúmenes: En este módulo los volúmenes de demanda son convertidos a valores de flujo para los 15 minutos máximos y considera los efectos de la distribución de carriles y la definición de los grupos de carriles.
3. Módulo del valor de flujo de saturación: En este se calcula el valor de flujo de saturación para cada grupo de carriles. Consiste en ajustar el valor de flujo de saturación "ideal" para reflejar la variedad de condiciones prevaecientes.
4. Módulo de análisis de capacidad: En este módulo de los volúmenes y los valores de flujo de saturación se relacionan para calcular la capacidad y las relaciones  $v/c$  para cada grupo de carriles y la relación  $v/c$  crítica para la intersección.
5. Módulo del nivel de servicio: se estima la demora para cada grupo de carriles, accesos y toda la intersección para determinar el nivel de servicio.

La figura 5 establece en forma diagramática la secuencia del análisis operacional de las intersecciones semaforizadas.



*Figura 3.*

*Procedimiento para el análisis de operación.*

## ***Módulo de entrada***

*La tabla No. 4 establece un resumen de la información necesaria para llevar a cabo el análisis operacional.*

- 1. Condiciones geométricas: Generalmente se presentan en forma diagramática y deben incluir toda la información relevante incluyen las pendientes de los accesos, el número y ancho de los carriles y las características del estacionamiento. Debe considerarse también la existencia de carriles exclusivos de vuelta derecha o izquierda, junto con los carriles de almacenamiento de tales carriles. si no se tienen los datos específicos de la geometría pueden suponerse para el análisis, considerando la experiencia local.*
- 2. Condiciones del tránsito: se deben especificar los volúmenes de tránsito para cada movimiento en cada acceso de la intersección. La distribución por tipo de vehículo se cuantifica como el porcentaje de vehículos pesados en cada movimiento considerado como tal, a todo aquel vehículo con más de cuatro llantas tocando el pavimento. Debe identificarse el número de autobuses que tienen ascenso y descenso de pasaje (antes y después de la intersección), los que no hacen parada se consideran como vehículos pesados. Se identificará los flujos de peatones que interfieren con los movimientos de vuelta izquierda y derecha; así, para el acceso rumbo al norte (RN), le corresponde el cruce este; al acceso rumbo al sur (RS), le corresponde el cruce oeste, etc.*

*Una de las características del tránsito más críticas es la designación del tipo de llegadas. Esta es una categorización general que intenta cuantificar la calidad de la sincronía en el acceso. Para ello se definen 6 tipos de llegadas.*

**Tipo 1.** *En esta condición, el grupo denso de vehículos, el 80% del volumen en el grupo de carriles llegan a la intersección al inicio de la fase roja. Esta es la peor condición de llegada.*

**Tipo 2.** *En esta condición, el grupo de vehículos de densidad moderada llegan a la intersección en la mitad de la fase de luz roja, conteniendo de 40 al 80% del volumen en el grupo de carriles. Este tipo de llegada representa una sincronía desfavorable.*

**Tipo 3.** *Esta condición representa las llegadas totalmente aleatorias. Esto ocurre cuando las llegadas son ampliamente dispersas en las fases de luz en rojo y en verde, y o donde el acceso no tiene ninguna coordinación con otros semáforos o ya sea porque la intersección esté muy aislada o porque los semáforos cercanos operan con distintos ciclos. Esta es una condición promedio.*

**Tipo 4.** *Esta condición se define cuando el grupo de vehículos de densidad moderada llega durante la mitad de la fase verde, contienen un 40 al 80% del volumen en el grupo de carriles. Este tipo de llegada representa una sincronía favorable.*

Tipo 5. Esta condición se define cuando el grupo denso de vehículos llega en el inicio de la fase de luz verde, el grupo de vehículos contiene el 80% del volumen en el grupo de carriles, este tipo de llegada representará una sincronía altamente favorable.

Tipo 6. Este tipo de llegada se clasifica como una sincronía excepcional, las rutas tienen características cercas a la sincronía ideal. Esto representa un grupo de vehículos muy denso en sincronía ideal. Esto representa un grupo de vehículos muy denso en sincronía, con una longitud corta entre intersecciones y un número insignificante de vehículos que entran a las calles.

El mejor tipo de llegada utilizado es el observado en campo, por lo tanto debe determinarse lo más preciso posible ya que éste tiene un impacto muy significativo para estimar la demora y el nivel de servicio. Aunque no hay parámetros definitivos para calificar en forma precisa el tipo de llegada, la siguiente relación puede ser útil:

$$R_p = P * (C / g * 100) \quad (8)$$

Donde:

$R_p$  = Relación de grupos de vehículos

$P$  = Porcentaje de todos los vehículos en el movimiento de llegada durante la fase verde, obtenido en campo.

$C$  = Ciclo en segundos.

$g$  = Tiempo de luz en verde.

La tabla 5 proporciona rangos aproximados de  $R_p$  relacionados en el tipo de llegada.

Otra condición del tránsito es la actividad de los carriles de estacionamiento adyacentes a los grupos de carriles. Esta se mide considerando el número de maniobras por hora (ya sea para entrar o salir del estacionamiento) dentro de los 76 mts. de la intersección,  $N_m$ .

3. Condiciones de semaforización: Estas incluyen un diagrama de fases que ilustren el plan de fases, la duración del ciclo, tiempo de luz verdes, y los cambios de intervalo. Debe identificarse las fases actuadas, incluyendo la existencia de fases actuadas por peatones mediante botones. Si no existe estas últimas, debe identificarse el tiempo de verde mínimo que se calcula mediante:

$$G_p = 7.0 - W - 4.0 - Y \quad (9)$$

Donde:

$G_p$  = Tiempo mínimo de verde en segundos.

$W$  = Distancia entre la orilla del cordón al centro del carril más lejano de la calle a cruzar o hasta la isleta de refugio para peatones más cercana en pies.

$Y$  = Cambio de intervalo (ámbar + todo luz roja) en segundos.

Si las fases de semáforo son actuadas, la duración del ciclo y los tiempo de verde varían de ciclo a ciclo según la demanda. Para establecer los valores para el análisis, la operación del semáforo debe observarse en campo, utilizando valores promedio de los tiempos de verde y los ciclos.

Valores propuestos. Algunas veces no se tienen disponibles los datos de campo necesarios indicados en la tabla 4. La tabla 6. presenta valores propuestos para su uso cuando no se tienen datos de campo, teniendo cuidado de utilizar dichos valores ya que los resultados serán aproximados y no necesariamente reflejarán la realidad.

**Tabla 4.**

**Datos necesarios para analizar cada grupo de carriles**

<b>TIPO DE CONDICIÓN</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>SIMBOLO</b>
Condiciones Geométricas	Tipo de área Número de carriles Anchura de carril, m Inclinación o pendiente Existencia de carriles exclusivos de MI o MD Longitud de carril de almacenamiento, carriles MI o MD Condición de estacionamiento	CBD u otro N w p R o L La S o N
Condiciones Del Tránsito	Volúmenes de movimiento, V' h factor de hora punta Porcentaje de vehículos pesados Intensidad peatonal en conflicto Número de autobuses locales parando en intersección Actividad de estacionamientos, maniobras h Tipo de llegada	I' FHP %HV' PTS N <sub>B</sub> N <sub>m</sub> 1-6
Condiciones de semaforización	Duración del ciclo, seg. Tiempo de luz en verde, en seg. Control predeterminado o accionado Pulsadores para peatones Tiempo de luz verde peatonal mínimo Plan de fases	C g P o A S o N G <sub>p</sub>



## *Módulo de ajuste de volúmenes*

*En este módulo se realizan tres pasos analíticos importantes a los volúmenes: (1) los volúmenes de los movimientos se ajusta a valores de flujo para los 15 minutos máximos, (2) se establecen los grupos de carriles y (3) los flujos de los grupos de carriles se ajustan para considerar la utilización desequilibrada de los carriles.*

- 1. Ajuste de los volúmenes de los movimientos para reflejar los valores de flujo de máxima demanda. Se realiza mediante:*

$$V = V_{hm} \cdot FHP \quad (2)$$

*Donde:*

*V = Valor de flujo durante los 15 minutos máximos*

*V<sub>hm</sub> = Volumen horario en v hr.*

*FHP = Factor horario de máxima demanda.*

*Debido a que no todos los movimientos son máximos a la misma hora, hay que seleccionar los periodos críticos para su análisis.*

- 2. Determinación de los grupos de carriles. Estos se definen como uno o más carriles en el acceso que sirven a uno o más movimientos vehiculares. Dividir la intersección en grupos de carriles es generalmente obvio, ya que considera tanto a*

*la geometría de la intersección y la distribución de los movimientos del tránsito.*

*Pueden aplicarse la siguiente guía para determinarlos:*

- *Debe considerarse como grupo de carriles al carril o carriles exclusivos de vuelta izquierda o vuelta derecha.*
- *El resto de los carriles deben considerarse como un solo grupo de carriles.*
- *Donde en un acceso con más de un carril incluya uno que pueda ser usado tanto por los vehículos directo como los de vuelta izquierda, es necesario determinar si existe un equilibrio en su uso o el número de vueltas izquierdas es tanta que funciona como carril exclusivo de vuelta izquierda. Para esto se determina el flujo equivalente aproximado mediante:*

$$V_{LE} = V_L * [1800 - (1400 - V_O)] \quad (10)$$

*Donde:*

$V_{LE}$  = *Valor de flujo equivalente aproximado de vuelta izquierda en v hr.*

$V_L$  = *Valor de flujo de vuelta izquierda actual en v hr.*

$V_O$  = *Valor de flujo opuesto, descontando las vueltas izquierdas de un carril exclusivo o los accesos de un solo carril; el máximo valor de  $V_O$  es 1399, este valor se utiliza para todos los  $V_O \geq 1399$ ;  $V_O = 0$  para una fase protegida.*

*Nótese que cuando  $V_O$  es igual o mayor a 1400 v h,  $V_{LE}$  no tiene sentido. En tales casos el movimiento de vuelta izquierda contra el valor de flujo opuesto no es posible,*

*concluyendo que debe considerarse una fase protegida de vuelta izquierda en el ciclo de semáforo.*

*Además, si el valor de flujo equivalente del carril más a la izquierda excede el valor de flujo promedio en los carriles restantes, se supone que el carril actúa como carril exclusivo de vuelta izquierda, estableciéndose un grupo de carriles; si el valor de flujo equivalente del carril de vuelta izquierda es menor que el valor de flujo promedio en los carriles restantes, se supone que los vehículos directos compartirán la vuelta izquierda para establecer el equilibrio, considerando el acceso completo como un grupo de carriles, entonces:*

$$V_{LE} \geq (V_a - VL) (N-1) \quad (11)$$

*Donde:*

$V_a$  = Valor de flujo total en el acceso en vph

$N$  = Número total de carriles

*Se supone que el carril de vuelta izquierda actúa como carril exclusivo, analizándolo por separado. Por lo tanto:*

$$V_{LE} \geq (V_a - VL) (N-1)$$

*Se supone que el carril de vuelta izquierda es compartido por los volúmenes directos, analizando el acceso completo.*

*La figura No. 4 muestra algunos de los grupos de carriles más comunes.*

*La operación de un carril compartido de vuelta izquierda permitida es muy compleja. Los vehículos de vuelta izquierda ejecutan su movimiento a través de los espacios del flujo opuestos. El primer espacio no va a aparecer hasta que la cola de los vehículos en sentido opuesto despeje la intersección. Si uno de vuelta izquierda llega durante el intervalo en el cual la cola de éste bloquea el carril, tanto para los que dan vuelta, como para los que van directo, hasta que el espacio aparezca; entonces, los vehículos de vuelta izquierda podrán moverse entre los espacios del flujo opuesto, hasta que la fase de luz verde termine, lo cual va permitir que cuando mucho 2 vehículos podrán dar vuelta izquierda en el cambio de intervalo. Esto va a influenciar la distribución de los carriles ya que los vehículos van a tender a utilizar los otros carriles para evitar la turbulencia y las demoras.*

3. *Ajuste por distribución de carriles. Después de que los volúmenes han sido ajustados a valores de flujo y los grupos de carriles están definidos, los valores de flujo en cada grupo de carriles se ajustan para reflejar la utilización de carriles que por los común no es igual. Cuando existe más de un carril en el acceso, el flujo no se divide equitativamente. Así se tiene:*

$$v = v_g * U \quad (12)$$

Donde:

$v$  = Valor de flujo de demanda ajustado para un grupo de carriles, en  $v h$

$v_g$  = Valor de flujo de demanda sin ajustar para un grupo de carriles, en  $v h$  ←

$U$  = Factor de utilización de carriles

El factor de utilización de carriles de la Tabla 6 sólo se utiliza cuando se desea analizar el peor de los dos o más carriles en el grupo de carriles. Si se desea la condición promedio, el factor será 1.00. También el factor puede tener este valor cuando la relación  $v/c$  para el grupo de carriles se acerca a 1.0, ya que los carriles tienden a utilizarse más equitativamente en esta situación.

### **Módulo de flujo de saturación**

En este módulo se calcula el valor de flujo de saturación para cada grupo de carriles. Este flujo horario asume que la fase de luz verde siempre está disponible para cada acceso, o sea que la relación  $g C$  fuera 1.00. El cálculo se inicia con la selección de un valor de flujo "ideal" que generalmente es 2050  $v/h$  carr el cual se ajusta a una variedad de condiciones prevalecientes que nos son ideales. Así:

$$s = s_0 * N * f_w * f_{hv} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{RT} * f_{LT} \quad (13)$$

$s$  = Valor de flujo de saturación para el grupo de carriles en estudio, expresada como el total de todos los carriles en el grupo de carriles bajo las condiciones prevalecientes en  $vl\ h$ .

$s_0$  = Valor de flujo de saturación ideal, generalmente 2050  $vl\ hr\ carr$ .

$N$  = Número de carriles en el grupo de carriles.

$f_w$  = Factor de ajuste por ancho de carriles; los carriles de 12 pies son los estándar, dado en la Tabla No. 8

$f_{hv}$  = Factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente del tránsito, dado la Tabla No. 9.

$f_g$  = Factor de ajuste por pendiente o inclinación del acceso, dado en la Tabla No. 10.

$f_p$  = Factor de ajuste por la existencia de un carril de estacionamiento adyacente al grupo de carriles y a la actividad de estacionamiento en ese carril, dado en la Tabla No. 11.

$f_{bh}$  = Factor de ajuste por el efecto de bloqueo por paradas de los autobuses urbanos dentro de la zona de la intersección, dado en la Tabla No. 12.

$f_a$  = Factor de ajuste por el tipo de área, dado en la Tabla No. 13.

$f_{RT}$  = Factor de ajuste por vueltas derechas en el grupo de carriles, dado en la Tabla No. 14.

$f_{LT}$  = Factor de ajuste por vueltas izquierdas en el grupo de carriles, dado en la Tabla No. 15, o calculando como se describirá en las siguientes secciones.

*Si no se tienen los factores descritos anteriormente, el valor propuesto de  $s$  será de 1600 vl hr carr. Multiplicado por  $N$ , reconociendo que el análisis será aproximado a grandes rasgos.*

- 1. Factores de ajuste. Cada factor agrega el impacto de las condiciones prevalecientes que son diferentes de las ideales. Cada Tabla de la No. 8 a la No. 15 contempla una amplia variedad de condiciones, fuera de las ideales que marcan el impacto en la operación de la intersección.*
- 2. Procedimiento especial para el ajuste de la vuelta izquierda para la fase permitida.*

*El factor de ajuste de vuelta izquierda refleja los tres flujos componentes durante la fase de luz verde:*

- El flujo directo en un carril compartido al inicio del verde hasta que llega el vehículo de vuelta izquierda, bloqueando el carril mientras espera su turno.*
- El flujo del carril compartido o de vuelta izquierda durante el periodo no saturado del flujo opuesto.*
- Las vueltas izquierdas realizadas al final de la fase de luz verde por los vehículos que están esperando en la intersección para encontrar un espacio apropiado del flujo opuesto.*

*Debido a que el cálculo es complejo, se han diseñado unas hojas de trabajo especiales para la vuelta izquierda permitida. La figura No. 10 muestra la hoja de trabajo para el caso en que el acceso opuesto sea de varios carriles, la figura No. 11 muestra la hoja de trabajo para el caso en que el acceso opuesto sea de un solo carril.*

*Para la figura No. 10, las primeras 10 filas de la hoja de trabajo son para resumir los datos de entrada para estimar el factor de vuelta izquierda, utilizando sólo los accesos que incluyen las vueltas permitidas.*

- *Duración de ciclo C. Cuando los tiempos de semáforo se desconocen, se toma un valor de 90 segundos para propósitos del cálculo del factor.*
- *Tiempo de verde asignado, G.*
- *Verde efectivo g. Es el verde efectivo para el grupo de carriles bajo estudio; cuando no se conoce, se estima para los flujos promedio por carril en los movimientos críticos en la intersección, mediante:*

$$g_i = G_i + Y_i - t_L \quad (14)$$

*Donde:*

*$g_i$  = Verde efectivo aproximado en la fase i en segundos.*

*$t_L$  = Tiempo perdido total en las fases en segundos.*

*$Y_i$  = Ambar para el grupo de carriles.*



- Verde efectivo del flujo opuesto,  $g_o$
- Número de carriles en el flujo opuesto,  $N_o$
- Flujo ajustado de vuelta izquierda,  $V_{LI}$ .
- Proporción de vueltas izquierda,  $P_{LI}$ .
- Flujo ajustado opuesto,  $V_o$
- Tiempo perdido por fase  $t_L$ .
- Calcular las vueltas izquierdas por ciclo.

$$LTC = V_{LI} * C \cdot 3600 \quad (15)$$

- Calcular el flujo opuesto por carril por ciclo.

$$V_{OIC} = V_o * C \cdot (3600 * N_o) \quad (16)$$

- Determinar la relación del flujo opuesto,  $R_{po}$  (tabla 5).
- Calcular  $g_f$ , es la porción de luz verde para un carril compartido durante el cual los vehículos de frente se mueven hasta la llegada del primer vehículo que realiza la vuelta izquierda. Para carriles de vuelta exclusiva este valor es cero.

$$g_f = G * \exp(-0.882 * LTC^{0.71}) - t_L \quad (17)$$

- Calcular la relación de la fila sentido opuesto,  $qr_o$

$$qr_o = 1 - R_{po} (g_o C) \quad (18)$$

- Calcular  $g_q$ , es una proporción de la fase verde que esta bloqueada por el despeje de la fila de vehículos en el sentido opuesto.

$$g_q = \frac{V_{OIC} * qr_o}{0.5 - [V_{OIC}(1 - qr_o) / g_o]} - t_L \quad g_q < g \quad (19)$$

- Calcular  $g_u$ , es la porción de la fase de verde no bloqueada por el despeje de la fila de vehículos en el sentido opuesto.

$$g_u = g - g_q \quad \text{si } g_q \geq g_f \quad (20)$$

$$g_u = g - g_f \quad \text{si } g_q \leq g_f \quad (21)$$

- Calcular el factor de saturación de vuelta izquierda,  $f_s$ .

$$f_s = (875 - 0.625 * V_o) / 100, \quad f_s \geq 0 \quad (22)$$

- Calcular la proporción de vueltas izquierdas en el carril compartido,  $P_L$ .

Cuando se considere un carril exclusivo de vuelta izquierda este valor es 1.0.

$$P_L = P_{LT} [1 - \{(N-1) * g / (f_s * g_u + 4.5)\}] \quad (23)$$

- Determinar el equivalente de vehículos de frente,  $E_{LI}$ . Utilizando la tabla 16.

- Calcular  $f_{mm}$ .

$$f_{mm} = 2(1-P_L) g \quad (24)$$

- Calcular  $f_m$ , este factor se aplica únicamente al carril desde el cual se realizan las vueltas izquierdas.

$$f_m = [g_c / g] - [g_u / g] [1 + P_L(E_{LI} - 1)] \quad (25)$$

- Calcular  $f_{LT}$ , factor de vuelta izquierda para el grupo de carriles en estudio.

$$f_{LT} = [f_m + 0.91(n-1)] / N \quad (26)$$

Para la figura 11 los datos que se requieren son:

- Duración de ciclo  $C$ .
- Tiempo de verde asignado,  $G$ .
- Luz verde efectiva  $g$ .

- Luz verde efectiva del flujo opuesto,  $g_o$ .
- Número de carriles en el grupo,  $N$ .
- Flujo ajustado de vuelta izquierda,  $V_{LT}$ .
- Proporción de vuelta izquierdas,  $P_{LT}$ .
- Proporción de vuelta izquierdas en el flujo opuesto,  $P_{LTO}$ .
- Flujo ajustado opuesto,  $V_o$ .
- Tiempo perdido por fase  $t_L$ .
- Calcular las vueltas izquierdas por ciclo,  $LTC$ , ecuación 15.
- Calcular el flujo opuesto por carril por ciclo,  $V_{OIC}$ , ecuación 16.
- Determinar la relación del flujo opuesto,  $R_{po}$  (tabla 5)
- Calcular  $g_f$  para este caso:

$$g_f = G \exp(-0.860 * LTC^{0.629}) - t_L \quad (27)$$

- Calcular  $qr_o$ , ecuación 18.
- Calcular  $g_q$  para este caso:

$$g_q = 4.943 V_{OIC}^{0.762} qr_o^{1.061} - 1 \quad (28)$$

- Calcular  $g_u$ , ecuaciones 20 y 21.
- Calcular  $n$ :

$$n = (g_q - g_f) / 2, \quad n \geq 0 \quad (29)$$

- Calcular  $P_{THO}$  proporción de vehículos de frente en el sentido opuesto.

$$P_{THO} = 1 - P_{LTO} \quad (30)$$

- Determinar  $E_{L1}$ , tabla 17.
- Calcular  $E_{L2}$ :

$$E_{L2} = (1 - P_{THO}^n) P_{LTO} \quad (31)$$

➤ Calcular  $f_{min}$ , ecuación 24

➤ Calcular  $f_{LT}$ :

$$f_{LT} = (g_f / g) + [(g_q - g_p) / g] [1 / \{1 + P_{LT}(E_{L2} - 1)\}] + [g_u / g] [1 + P_{LT} + (E_{L1} - 1)] \quad (32)$$

### **Módulo de análisis de capacidad**

*En este módulo, los resultados calculados de los módulos previos son la base para calcular las variables de la capacidad, que son:*

- 1. La relación de flujo para cada grupo de carriles.*
- 2. La capacidad para cada grupo de carriles.*
- 3. la relación v/c para cada grupo de carriles.*
- 4. La relación v/c crítica para toda la intersección.*

*La capacidad para grupo de carriles se calcula de la ecuación 4. La relación v/c para cada grupo de carriles se calcula directamente, al dividir los flujos ajustados por las capacidades calculadas anteriormente con la ecuación 5 ó 6.*

*El parámetro de capacidad final es la relación v/c crítica  $X_c$  para la intersección mediante la ecuación 7.*

*La relación indica la proporción de la capacidad disponible que será usada por los vehículos en los grupos de carriles críticos.*

*Si la relación excede a 1.00 o más, los grupos de carriles estarán sobresaturados. Esto es una indicación de que el diseño, la duración del ciclo, el plan de fases, y/o los tiempos del semáforo son inadecuados para la demanda existente o proyectada.*

*Una relación menor que 1.00 indica que el diseño, la duración del ciclo, y el plan de fases es adecuado para manejar todos los flujos críticos sin que la demanda exceda a la capacidad, asumiendo que los tiempos de verde están asignados en forma proporcional.*

*Si alguna fase no está debidamente proporcionada, la demanda de algún movimiento excederá la capacidad aún cuando la relación v/c sea menor que 1.00.*

*Cuando no hay fases que se traslapan en el diseño, la determinación de los grupos de carriles críticos es directa. Cuando se traslapan, se complica la situación, ya que varios grupos de carriles pueden moverse en varias fases del semáforo.*

*La siguiente guía puede utilizarse para determinar los grupos de carriles críticos.*

*1. Cuando las fases no se traslapan:*

- Habrá un grupo de carriles para cada fase.*
- El grupo de carriles con la relación v/s más alto de los que se mueven en una fase de semáforo es el crítico.*

➤ *Cuando los tiempos de semáforo se estimen o se propongan, los grupos de carriles críticos se utilizan para determinar dichos tiempos.*

2. *Cuando las fases se traslapan:*

➤ *Basado en el plan de fases, deben identificarse las combinaciones de los grupos de carriles que pueden consumir la mayor cantidad de capacidad disponible. Estos son los mismos grupos de carriles que controlarán los tiempos del semáforo si se estiman.*

➤ *Al revisar el plan de fases para combinar los grupos de carriles críticos no puede haber ninguna fase o parte de la fase que tenga más de un grupo de carriles críticos.*

➤ *Si se estiman los tiempos de semáforo, los grupos de carriles críticos son utilizados para determinar dichos tiempos.*

### ***Módulo del Nivel de Servicio***

*En este módulo se estima la demora promedio de parada por vehículo para cada grupo de carriles y un promedio para los accesos de toda la intersección.*

1. *La demora suponiendo llegadas aleatorias. La demora para cada grupo de carriles se encuentra mediante:*

$$d = d_1DF + d_2 \quad (33)$$

Con estos valores:

$$d_1 = 0.38C \frac{[1-(g/C)]^2}{[1-(g/C)(X)]} \quad (\text{Min. } X, 1.0) \quad (34)$$

$$d_2 = 173X^2 [(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (mX/c)}] \quad (35)$$

Donde:

$d$  = Demora promedio por paradas por vehiculo para el grupo de carriles en seg/veh.

$d_1$  = Demora uniforme.

$d_2$  = Demora incremental

$C$  = Duración del ciclo en seg.

$DF$  = Factor de ajuste por sincronia y tipo de control (tabla 16)

$X$  = Relación v/c para cada grupo de carriles.

$c$  = Capacidad para el grupo de carriles.

$g$  = Tiempo efectivo de luz verde para cada grupo de carriles, en segundos.

$m$  = calibración de la demora por periodo, representan los efectos del tipo de llegada.

El primer término de la ecuación ( $d_1$ ) cuantifica la demora uniforme, la demora que ocurre si la demanda de llegada en el grupo de carriles en estudio está uniformemente distribuida en el tiempo. El segundo término de la ecuación ( $d_2$ ) cuantifica el incremento de la demora de las llegadas aleatorias sobre las llegadas del ciclo. Esta ecuación permite resultados para los valores de  $X$  entre 0.00 y 1.00. Cuando ocurre una sobresaturación por grandes periodos (mayores de 15 minutos), es difícil estimar la demora exacta. La ecuación debe utilizarse con precaución a valores de  $X$  hasta 1, o hasta FHP'1.

2. *Factor de ajuste por sincronía (tabla 16). La ecuación 34 estima la demora, suponiendo llegadas aleatorias. En la mayoría de los casos, las llegadas no son aleatorias, están en grupos densos de vehículos, como resultados de la sincronía de los semáforos y otros factores. Como parte de los datos de entrada, se han definido 6 tipos de llegada, que deben especificarse para cada grupo de carriles. Este factor se multiplica por la demora obtenida anteriormente.*

*Si la sincronía es favorable al grupo de carriles en estudio, la demora será considerablemente menor que la aleatoria. Si es desfavorable, la demora será mayor.*

3. *Estimación de la demora en conjunto. Para lograrla, se calculan los promedios ponderados de las demoras de los grupos de carriles y los flujos ajustados en tales grupos. Así, la demora para un acceso se calcula mediante:*

$$d_A = \sum d_i v_i / \sum v_i \quad (36)$$

*Donde:*

$d_A$  = *Demora del acceso A, en seg/veh.*

$d_i$  = *demora del flujo de carriles i (en el acceso A) en seg/veh.*

$v_i$  = *Flujo ajustado para el grupo de carriles en v/h.*

*La demora promedio para la intersección será:*

$$d_i = \sum d_A V_A / \sum V_A \quad (37)$$



*Donde:*

$d_i$  = *Demora promedio por vehiculo para la intersección en seg/veh.*

$V_i$  = *Flujo ajustado para la intersección en v/h.*

4. *Una vez que se haya obtenido la demora promedio por vehiculo para cada grupo de carriles y para cada acceso y para la intersección, se consulta la Tabla 3, para determinar los niveles de servicio.*

### ***Interpretación de los Resultados***

*Si la relación v/c es mayor que 1.00, esto indica que existen fallas actuales o potenciales que hay que corregir. Si esta relación es menor que 1.00, pero con algunos grupos de carriles con relación v/c mayores que 1.00, el tiempo de luz verde no está proporcionado adecuadamente, buscando mejorar los tiempos de las fases existentes.*

*Si la relación v/c es mayor que 1.00, indica que la semaforización y el diseño geométrico tienen una capacidad inadecuada para los flujos existentes o proyectados.*

*Las mejoras a considerar incluyen:*

1. *Un posible aumento en el ciclo de semáforo.*
2. *Un posible cambio al plan de fases del semáforo.*

*Las relaciones v/c cerca de 1.00 representan situaciones con una muy poca capacidad disponible para absorber los incrementos de la demanda.*

*Cuando la sincronía es razonable y existen demoras inaceptables, debe examinarse la posibilidad de cambios al diseño geométrico y de semáforo, para aumentar la capacidad.*

*En algunos casos, la demora será mayor; aún cuando las relaciones v/c son bajas. En estas situaciones está presente una sincronía muy pobre y/o un ciclo inapropiado muy grande.*

*El análisis debe considerar los resultados, tanto del análisis de capacidad, como de los niveles de servicio, para obtener una comprensión completa de las operaciones existentes o proyectadas de la intersección.*

### ***V.3. Procedimientos de Aplicación***

*En esta sección se presentan las hojas de trabajo para el cálculo del análisis operacional.*

### ***V.3.1 Análisis de operación***

*Se ha dividido en 5 módulos:*

- *Módulo de datos de entrada.*
- *Módulo de ajuste de volúmenes.*
- *Módulo del valor de flujo de saturación.*
- *Módulo de análisis de capacidad.*
- *Módulo del nivel de servicio.*

#### ***⇒ Módulo de datos de entrada***

*Básicamente, consiste en recopilar las características geométricas, de tránsito y de semaforización. Cuando se estudie un caso existente, se tendrá la mayoría de los datos obtenidos de campo; cuando se consideren condiciones futuras, los datos del tránsito serán pronosticados, mientras que el diseño geométrico y el de semaforización estarán basados en condiciones existentes o propuestas. La figura 7 muestra la hoja de trabajo para el módulo de los datos de entrada.*

#### ***Paso 1. Registro de los volúmenes de tránsito.***

*Se colocarán en el sentido y la dirección indicada (sea vuelta derecha, izquierda o directo) sumándolos y colocando el valor total en el cuadro correspondiente para cada acceso.*

*Paso 2. Registro de la geometría.*

*Se anotará la información sobre el número y el ancho de los carriles, los movimientos del tránsito que utiliza cada carril (indicados con flechas), la existencia y localización de estacionamientos en la vía, la existencia y longitud de carril de almacenamiento, la existencia de isletas, y la existencia y localización de paradas de autobuses.*

*Cuando no se conocen las condiciones geométricas, debe proponerse un diseño basado en las condiciones locales.*

*Paso 3. Registro de las condiciones geométricas y del tránsito.*

*1a. Columna: Porcentaje de pendiente, siendo positivas las pendientes ascendentes y negativas las descendentes.*

*2a. Columna: Porcentaje de vehículos pesados (con más de cuatro llantas tocando el pavimento). Normalmente se usa un promedio para cada acceso; si varían por movimiento en forma significativa pueden considerarse por separado.*

*3a. y 4a. Columna: Describen las características de estacionamiento para cada acceso, la tercera indica la presencia del estacionamiento y la cuarta indica el número de vehículos estacionados por hora dentro de los 75 mts. de la intersección.*

*5a. Columna: Se anota el número de paradas de los autobuses, por hora, que ocurran dentro de los 75 metros de la intersección.*

*6a. Columna: Se anota el factor horario de máxima demanda, para cada acceso.*

*7a. Columna: Se anota el número de peatones por hora que utilizan los cruces conflictivos con las vueltas derechas. Al acceso RN, le corresponde el cruce oeste, etc.*

8a. y 9a. Columna: Describen los controles para el peatón en la intersección. La octava indica la presencia y calcula el tiempo mínimo de luz verde para los peatones que cruzan la calle mediante la ecuación 9.

10a. y 11a. Columna: Se utilizan para establecer el tipo de llegada, la cual identifica las características de sincronía y de los grupos de vehículos (pagina 50).

Cuando se obtiene en campo, se utiliza la ecuación 8 y la tabla 5. La tabla 6 contiene valores preestablecidos, usados sólo si no hay otra manera de obtenerlos.

*Paso 4. Registro del diseño del semáforo.*

*Se establecen las fases y subfases del semáforo, usando un cuadro para cada una.*

*1° Para cada fase, se muestran los movimientos permitidos con flechas. Las vueltas permitidas se muestran con líneas discontinuas; las protegidas con líneas continuas; los flujos peatonales conflictivos se indicarán con líneas discontinuas.*

*2° Para cada fase se indica el tiempo de luz verde y el tiempo de luz ámbar más todo luz roja.*

*3° Cada fase debe identificarse, ya sea como tiempo fijo (P) o actuado (A).*

*Cuando se desconoce el diseño del semáforo, se deben decidir dos conceptos básicos: el tipo de control y las fases a utilizar para poder determinar los grupos de carriles para el análisis. Estos conceptos deben basarse en la experiencia local.*

## ☞ *Módulo de ajuste de volúmenes.*

*Este módulo trata básicamente de:*

- 1. Ajustar los volúmenes horarios por movimiento, a valores de flujo para los 15 min. máximos.*
- 2. Establecer los grupos de carriles para el análisis.*
- 3. Ajustar los flujos de demanda, para reflejar la distribución de carriles.*

*La figura 8 muestra los cálculos para el ajuste de volúmenes.*

*Paso 1. Registro de volúmenes horarios.*

*Estos se toman directamente del diagrama del módulo anterior.*

*Paso 2. Conversión de los volúmenes horarios a valores de flujo de máxima demanda.*

*En la 4a. columna se anota el factor horario de máxima demanda. Los volúmenes horarios son divididos entre el FHP ( $v = V/FHP$  ecuación 2) para calcular los valores de flujo de máxima demanda, anotándolos en la 5a. columna.*

*Paso 3. Definición de los grupos de carriles para el análisis.*

*En el método se establecen los criterios para su definición. Las vueltas izquierdas exclusivas siempre se consideran como grupos de carriles separados. Los grupos de carriles se muestran en la 6a. columna mediante flechas que ilustren los movimientos*

*incluidos en el grupo. Los movimientos permitidos de vuelta se muestran con líneas discontinuas y los protegidos se muestran con líneas continuas.*

*Paso 4. Registro del valor de flujo para los grupos de carriles.*

*Una vez que se establecen los grupos, deben de sumarse los valores de flujo incluidos en los movimientos, anotándolos en la 7a. columna.*

*Paso 5. Registro del número de carriles.*

*En la 8a. columna se registra el número de carriles utilizado por cada grupo de carriles.*

*Paso 6. Registro el factor de utilización de carriles.*

*En la 9a. columna se establece el factor de utilización para cada grupo, tomando de la Tabla 7.*

*Paso 7. Cálculo del valor de flujo ajustado para el grupo de carril.*

*Esto se logra mediante:  $v = v_g * U$ . El resultado se anota en la 10a. columna.*

*Paso 8. Registro del porcentaje de vueltas derechas e izquierdas en el grupo de carriles.*

*En la 11a. columna se anotan los valores calculados mediante:*

$$P_{LT} = V_{LT} / v_g$$

$$P_{RT} = V_{RT} / v_g \quad (38)$$

*Donde:*

$P_{LT}$  y  $P_{RT}$  = Porcentajes de vuelta izquierda y derecha de los vehículos que usan el grupo de carriles, expresado en decimales.

$V_{LT}$  y  $V_{RT}$  = Valores de flujo de vuelta izquierda y derecha anotados en la 5ta. columna.

$V_g$  = Valor de flujo total del grupo de carriles anotado en la 7ma. columna.

### ⚡ *Módulo del valor de flujo de saturación.*

*En éste, se obtiene el valor de flujo de saturación total que puede acomodarse por grupo de carriles, en las condiciones prevaletientes. La figura 9 muestra la hoja de trabajo para este módulo.*

*Paso 1. Descripción de los grupos de carriles.*

*En la 2a. columna se anotarán los carriles y los movimientos en cada grupo de carriles, obtenidos en el módulo anterior (6a. columna).*

*Paso 2. Registro del valor de flujo de saturación ideal.*

*En la 3a. columna se anotará el valor, que es para todos los casos igual a 2050 vl/hr/carr., a menos que los datos locales indiquen otro valor.*



*Paso 3. Registro de los factores de ajuste.*

*El valor de flujo de saturación ideal se multiplica por el número de carriles en el grupo de carriles y por 8 factores de ajuste, que son:*

*4a. Columna. Número de carriles.*

*5a. Columna. Factor de ancho de carriles  $f_w$  obtenido de la Tabla 8.*

*6a. Columna. Factor de vehículos pesados  $f_{nvi}$  obtenido de la Tabla 9.*

*7a. Columna. Factor de pendiente  $f_{gi}$  obtenido de la Tabla 10.*

*8a. Columna. Factor de estacionamiento  $f_{pt}$  obtenido de la Tabla 11.*

*9a. Columna. Factor por bloqueo por paradas de autobuses  $f_{bbi}$  obtenido de la Tabla 12.*

*10a. Columna. Factor por tipo de área  $f_a$  obtenido de la Tabla 13.*

*11a. Columna. Factor de vuelta derecha  $f_{RT}$  obtenido de la Tabla 14.*

*12a. Columna. Factor de vuelta izquierda  $f_{LT}$ , obtenido de la Tabla 15 o calculado usando el procedimiento descrito en la metodología, utilizando la hoja de trabajo de la Figura 10 o Figura 11.*

*Paso 4. Procedimiento para obtener los factores de ajuste para la vuelta izquierda permitida.*

*Debido a que el cálculo es complejo, se han diseñado hojas de trabajo como las mostradas en la figura 10 y 11. Consúltese el método para mayor detalle (página 59).*

*Una vez obtenidos los factores de vueltas izquierdas, éstos se colocan en la columna 12 de la hoja, para el ajuste de flujo de saturación.*

*Paso 5. Cálculo de los valores de flujo de saturación ajustado.*

*Este valor se encuentra multiplicando el valor de flujo de saturación ideal por el número de carriles en el grupo y por cada uno de los 8 factores de ajuste. Cuando la información sea suficiente, puede considerarse el valor aproximado de flujo de saturación ajustado mediante:  $1600 * N$  en v/hr.*

#### *✦ Módulo de análisis de capacidad.*

*En este módulo, la información y los cálculos obtenidos anteriormente se combinan para calcular la capacidad para cada acceso y para calcular las relaciones v/c para cada grupo de carriles y para toda la intersección. Para su obtención se utiliza la figura 12.*

*Paso 1. Descripción de los grupos de carriles.*

*La 2a. columna se utiliza para anotar los grupos de carriles, obtenidos en el 2° módulo. Sin embargo, en esta hoja de trabajo, los grupos de carriles de vuelta izquierda exclusiva donde existe fase de vuelta izquierda protegida y permitida son divididos, (como se indica en pasos subsecuentes) utilizando líneas separadas para mostrar la*

*porción de la fase protegida y la porción de la fase permitida. Inicialmente, se asume que el volumen de vuelta izquierda ocurre durante la porción de fase protegida.*

*Paso 2. Registro de los valores de flujo ajustados para cada grupo de carriles.*

*En este se obtiene del 2° módulo, tomando la misma consideración del punto anterior para la vuelta izquierda si fuera el caso, anotando el valor en la 3ª columna.*

*Paso 3. Registro de los valores de flujo de saturación para cada grupo de carriles.*

*Este se obtiene del tercer módulo, anotando el valor en la cuarta columna. Donde se han separado los grupos de carriles de vueltas izquierdas protegidas y permitidas se registra el valor de flujo de saturación para la porción de fase protegida, no existiendo el valor de flujo de saturación para la porción de la fase permitida.*

*Paso 4. Cálculo de la relación de flujos para cada grupo de carriles.*

*Este se obtiene dividiendo  $v/s$ , anotándolo en la quinta columna.*

*Paso 5. Identificación de los grupos de carriles críticos.*

*Partiendo de la definición del grupo de carriles críticos (grupo de carriles con la mayor relación de flujos de cada fase o fases), cuando existan fases traslapadas, tienen que*

*examinarse todas las combinaciones de los grupos de carriles críticos, para obtener la suma mayor de la relación de flujos críticos, marcando en la última columna todos estos grupos anotando el resultado de la suma en el espacio apropiado, que está en la parte inferior de la hoja de trabajo.*

*Paso 6. Registro de la relación de luz verde para cada grupo de carriles.*

*La relación g/C para cada grupo de carriles se obtiene dividiendo el tiempo efectivo de luz verde entre la duración del ciclo, registrados en el primer módulo, anotando el resultado en la sexta columna.*

*Paso 7. Cálculo de la capacidad para cada grupo de carriles.*

*Este valor se obtiene multiplicando el valor de flujo de saturación por la relación g/C, anotando el valor en la séptima columna.*

*Paso 8. Cálculo de las relaciones v/c para cada grupo de carriles.*

*Estas relaciones se obtienen dividiendo el valor de flujo ajustado entre la capacidad, anotando el resultado en la octava columna.*

*Paso 9. Cálculo de la relación v/c crítica (X).*

*Esta relación se obtiene mediante la ecuación presenta en la parte inferior de la hoja de trabajo.*

*Paso 10. Consideración de los grupos de carriles con la vuelta izquierda protegida y permitida al mismo tiempo.*

*En este módulo, los grupos de carriles con fase protegida más permitida se separan, suponiendo que todo el flujo pasa en la fase protegida. Esta suposición puede resultar en una relación v/c crítica o en una fase protegida con una relación v/c demasiado alta. En vez de considerar en este punto cambios importantes en el diseño geométrico o en el semáforo, es aconsejable asignar una porción del movimiento de vuelta izquierda a la porción permitida de la fase. el valor de flujo permitida es la capacidad de la fase permitida, calculada como el valor mayor de:*

$$C_{LT} = (1400 - V_O)(g/C)_{PLT} \quad (39)$$

ó  $C_{LT} = 2$  vehiculos por ciclo de semáforo.

*Donde:*

$C_{LT}$  = Capacidad de la fase de vuelta izquierda permitida en v/h.

$V_O$  = Valor de flujo directo y de vuelta izquierda en v/h.

$(g/C)_{PLT}$  = Relación de verde efectivo para una fase de vuelta izquierda permitida, en seg.

*El analista puede asignar hasta este valor de flujo a la fase permitida, dando una cantidad similar a la fase protegida. En este punto hay que recalcular todos los valores usando el valor de flujo nuevo. El flujo y las relaciones v/c para la fase se alteran y quizá, la relación v/c crítica de la intersección.*

### ***Resumen de la interpretación de resultados de la capacidad.***

- 1. Una relación v/c crítica mayor de 1.00 indica que el semáforo y el diseño geométrico no puede acomodar la combinación de los flujos críticos de la intersección. la demanda actual o proyectada en estos movimientos excede la capacidad de la intersección. Esta condición puede mejorarse mediante la combinación de un incremento al ciclo, cambios en el plan de fases y/o cambios básicos a la geometría.*
- 2. Cuando la relación v/c crítica es aceptable, pero las relaciones v/c para los grupos de carriles varían ampliamente, deben revisarse los tiempos de luz verde, ya que existe una distribución desproporcionada de la luz verde disponible.*
- 3. Si las vueltas izquierdas permitidas resultan en reducciones extremas en el valor de flujo de saturación para los grupos de carriles afectados, debe considerarse una fase protegida.*

4. *Si la suma de valores de flujo críticos para los grupos de carriles exceden 0.90 a 0.95 es difícil que la geometría existente y el diseño de las fases del semáforo puedan absorber la demanda. Deben considerarse cambios en cualquiera de las dos u otras posibilidades.*
  
5. *Cuando las relaciones v/c son inaceptables, aún cuando las fases de semáforo incluyen fases protegidas para los movimientos de vuelta significativos, es probable que se necesiten cambios en la geometría para mejorar la situación.*

⇒ *Módulo de nivel de servicio.*

*Este módulo combina los resultados de los módulos de ajuste de volúmenes, el valor de flujo de saturación y el análisis de capacidad para encontrar la demora promedio, por paradas, por vehículo; para cada grupo de carriles. la hoja de trabajo se muestra en la figura 13.*

*La demora se calcula con las ecuaciones 33, 34 y 35.*

*Paso 1. Descripción de los grupos de carriles.*

*Serán los mismos del segundo módulo, anotándolos en la primera columna. Las vueltas izquierdas protegidas y permitidas no necesitan separarse en este módulo.*

*Paso 2. Obtención de la primera demora  $d_1$  (demora uniforme).*

*Esta depende de la relación  $v/c$ ,  $X$ , la relación  $(g/c)$  y la duración del ciclo  $C$ , anotándolos de la siguiente forma:*

*2a. columna, la relación  $v/c$  para cada grupo de carriles, tomando del 4° módulo.*

*3a. columna, la relación  $(g/c)$  para cada grupo de carriles, tomado del 4° módulo.*

*4a. columna, se calcula la  $d_1$ , ecuación 34.*

*5a. columna, se coloca el factor  $DF$  de la tabla 16.*

*Paso 3. Obtención de la segunda demora  $d_2$  (demora adicional).*

*Esta depende de la relación  $v/c$ ,  $X$ , y de la capacidad  $c$  y el factor  $m$ , para cada carril, anotándolos de la siguiente forma:*

*6a. columna, la capacidad para cada grupo de carriles, tomado del 4to. módulo.*

*7a. columna, se coloca el factor  $m$ , tabla 16.*

*8a. columna, el resultado del cálculo de la segunda demora ( $d_2$ ) de acuerdo con la ecuación 35.*

*Paso 4. Obtención de la demora y el nivel de servicio para cada grupo de carriles.*



*El procedimiento para encontrarlos es el siguiente:*

- *Calcular la demora promedio por cada grupo de carriles mediante:  $demora = (d_1 * Df + d_2)$ , anotando el resultado en la novena columna.*
- *Encontrar el nivel de servicio para cada grupo de carriles en la tabla 3, anotando el resultado en la décima columna.*

*Paso 5. Encontrar la demora y el nivel de servicio para cada acceso.*

*La demora promedio por vehículo se encuentra para cada acceso sumando el producto del valor de flujo y la demora para cada grupo de carriles del acceso, dividiéndolo entre el valor de flujo total del acceso, anotando el resultado en la undécima columna, ecuación 36. En nivel de servicio se determina de la tabla 3, anotando el resultado en la duodécima columna.*

*Paso 6. Encontrar la demora y el nivel de servicio de la intersección.*

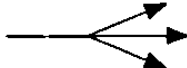
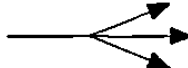
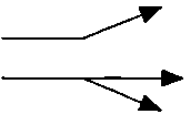
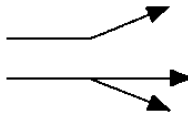
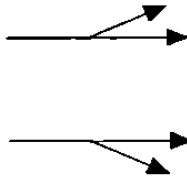
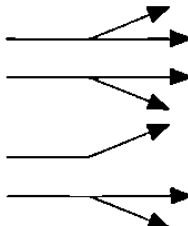
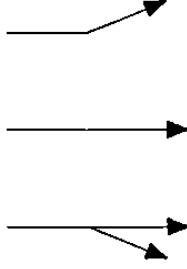
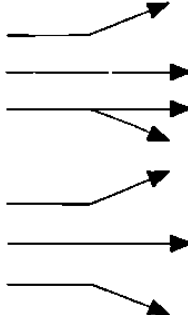
*Estos datos se encuentran sumando, el producto del valor de flujo y la demora del acceso, de todos los accesos, dividiendo esta suma entre el valor de flujo total de la intersección ecuación 37, anotando los resultados en la parte inferior de la hoja. El nivel de servicio de la intersección se obtiene de la tabla 3, anotando el resultado en la parte inferior de la hoja.*

## ***La interpretación de resultados.***

*Los valores del nivel de servicio y la demora se analizan mejor en conjunto con los resultados del módulo de análisis de capacidad. Algunas de las situaciones que pueden ocurrir se describen a continuación.*

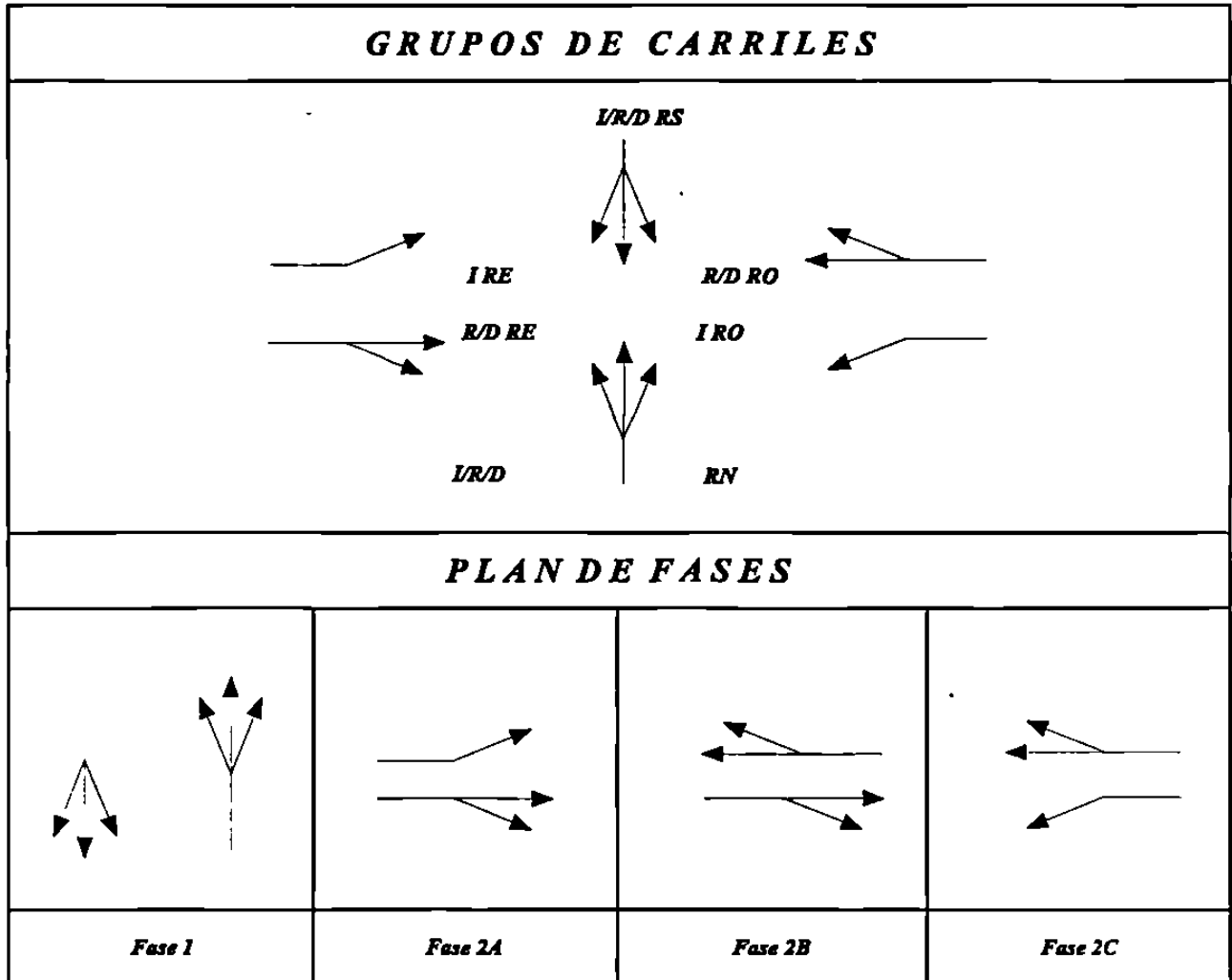
- 1. El nivel de servicio es un indicador general de la aceptabilidad de la demora de los conductores. Nótese que esto es de alguna manera subjetiva: lo que es "aceptable" en el centro de la ciudad, no necesariamente es "aceptable" en un entorno menos denso.*
  
- 2. Cuando los niveles de demora de la intersección son aceptables, pero no lo son para ciertos grupos de carriles, debe examinarse el plan de fases y/o el tiempo de verde para proveer un manejo más eficiente de los movimientos más ventajosos.*
  
- 3. Cuando los niveles de demora son inaceptables, pero las relaciones v/c son relativamente bajas (módulo de análisis de capacidad), la duración del ciclo puede ser demasiado grande para las condiciones prevalecientes y/o el plan de fases puede ser ineficiente. Nótese que cuando los semáforos son parte de un sistema coordinado, la duración del ciclo en las intersecciones individuales se determina de acuerdo a las consideraciones del sistema y cualquier alteración en lugares aislados no es práctico.*

4. *Cuando los niveles de demora y las relaciones v/c son aceptables, la situación es la más crítica. la demora es alta, y la demanda cercana o sobre la capacidad. En tales situaciones, la demora puede incrementarse rápidamente con ligeros cambios de la demanda. Debe considerarse un buen número de mejoras al diseño geométrico y del semáforo para, a su vez, mejorar dichos casos.*

No DE CARRILES	MOVIMIENTOS POR CARRILES	GRUPOS DE CARRILES POSIBLES
1	<b>MI + MR + MD</b> 	① 
2	<b>MI EXC</b> <b>MR + MD</b> 	② 
2	<b>MI + MR</b> <b>MR + MD</b> 	① ② 
3	<b>MI EXC</b> <b>MR</b> <b>MR + MD</b> 	② ③ 

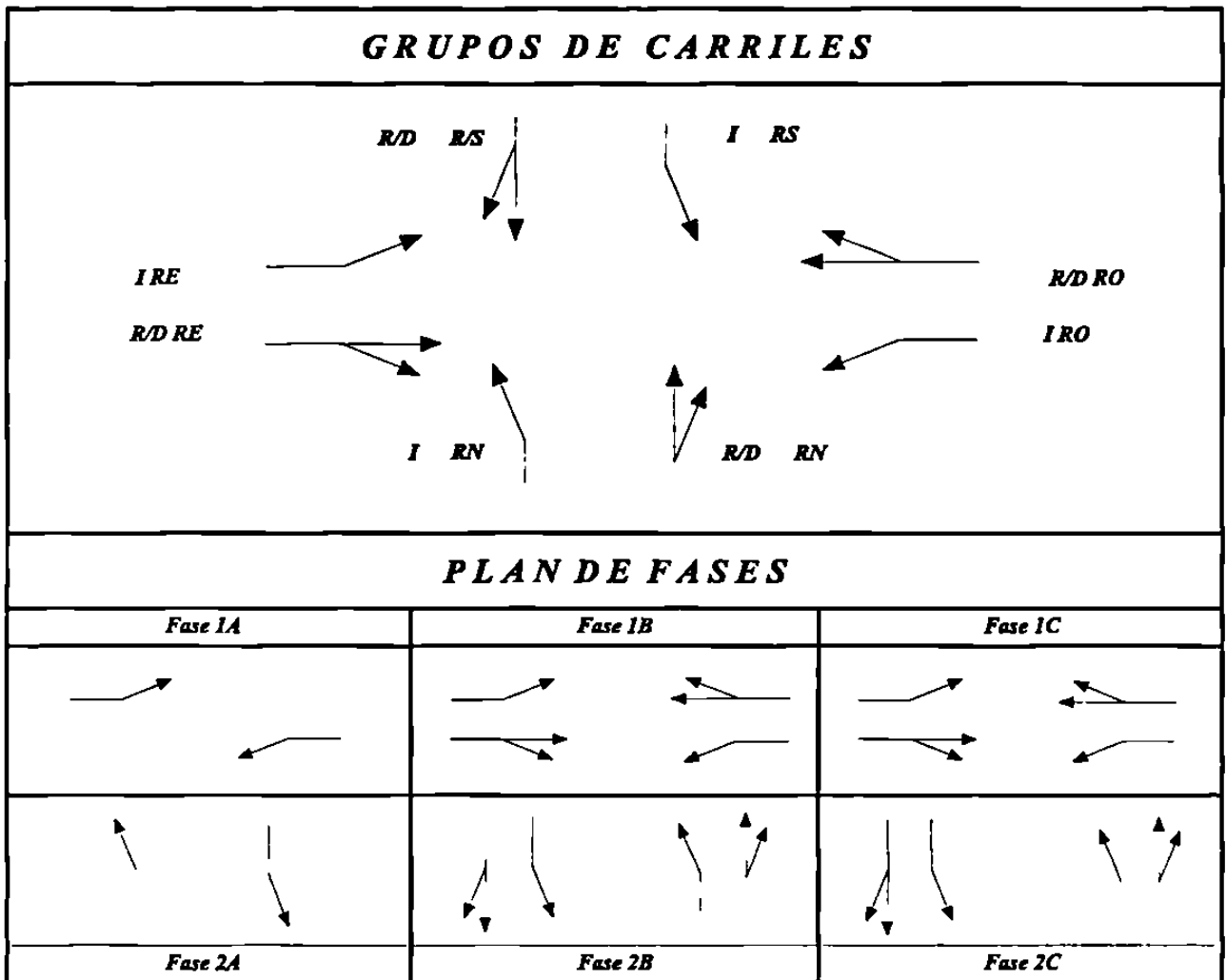
**MI** Movimiento a la Izquierda  
**MR** Movimiento de Frente  
**MD** Movimiento a la Derecha

Figura 4. Grupos de carriles típicos.



- I** Izquierda
- R** De Frente
- D** Derecha
- RS** Rumbo al sur
- RN** Rumbo al norte
- RE** Rumbo al este
- RO** Rumbo al oeste

**Figura 5.** Ejemplo ilustrado de la determinación de grupos de carriles críticos para fases de luz verde adelantadas y retrasadas



- I Izquierda*
- R De Frente*
- D Derecha*
- RS Rumbo al sur*
- RN Rumbo al norte*
- RE Rumbo al este*
- RO Rumbo al oeste*

*Figura 6. Ejemplo ilustrado de la determinación de grupos de carriles críticos en un semáforo multifase complejo*

# MODULO DE ENTRADA

Intersección: _____		Fecha: _____	
Analista: _____		Periodo Analizado: _____	Tipo de Area: <input type="checkbox"/> CBD <input type="checkbox"/> OTRO
Proyecto No. _____		Ciudad / Estado: _____	

**GEOMETRÍA y VOLUMEN**

▲  
NORTE

Identificar en el Diagrama

1. Volúmenes
2. Ancho de Carril
3. Movimiento en el Carril
4. Localización de Estacionamiento
5. Longitud de Carriles de Almacenamiento
6. Isleta física o pintada
6. Parada de Autobús

**CONDICIONES GEOMETRICAS Y DE LA CIRCULACIÓN**

ACCESO	PENDIENTE (%)	%HV	Carril de Estacionamiento Adyacente		Autobus (NB)	FHP	Conflicto Peatonal (peat/hr.)	Semáforo Para Peatones		Tipo de Arribo
			S o N	Nm				S o N	Tiempo Min.	
RE										
RO										
RN										
RS										

Pendiente: + ascendente - descendente HV: Veh. Con más de 4 ruedas Nm: Maniobras de Estacion/hr.	Na = Parada de Autobuses/hr FHP = Factor de Hora Pico. Conflicto Peatonal = peat/hr.	Min. Tiempo: Minimo Verde Para Cruce Peatonal. Tipo de arribo: Tipo 1-5
--	--	--

**FASES**

D I A G R A M A								
Tiempo	V= A+R	V= A+R	V= A+R	V= A+R	V= A+R	V= A+R	V= A+R	V= A+R
Fijo o Actuado								
Fijo								

Vuelta Protegida <span style="float: right;">↑</span>	Vuelta Permitida <span style="float: right;">↑</span>	Peatones _____	Duración del Ciclo _____ seg
---	---	----------------	------------------------------

Figura 7. Modulo de Entrada

<b>MODULO DE AJUSTE DE VOLUMENES</b>										
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<i>Acceso</i>	<i>Movimiento</i>	<i>Volumen Movimiento (whr)</i>	<i>Factor de Hora Pico FHP</i>	<i>Intensidad Máxima (whr) 3/4</i>	<i>Grupo de Carriles</i>	<i>Intensidad en Carriles de Grupo wg (whr)</i>	<i>Número de Carriles N</i>	<i>Utilización de Carril Factor U Tabla 6</i>	<i>Intensidad Ajustada V (whr) 7x9</i>	<i>Prop. de LT o RT P<sub>LT</sub> o P<sub>RT</sub></i>
<b>RE</b>	<b>LT</b> <i>Izquierda</i>									
	<b>TH</b> <i>De frente</i>									
	<b>RT</b> <i>Derecha</i>									
<b>RO</b>	<b>LT</b> <i>Izquierda</i>									
	<b>TH</b> <i>De frente</i>									
	<b>RT</b> <i>Derecha</i>									
<b>RN</b>	<b>LT</b> <i>Izquierda</i>									
	<b>TH</b> <i>De frente</i>									
	<b>RT</b> <i>Derecha</i>									
<b>RS</b>	<b>LT</b> <i>Izquierda</i>									
	<b>TH</b> <i>De frente</i>									
	<b>RT</b> <i>Derecha</i>									

*Figura 8. Módulo de Ajuste de Volúmenes*



**MODULO DEL VALOR DE FLUJO DE SATURACION**

Grupo de Carriles		3 Intensidad de Saturación Ideal (v/h/r/c)	Factores de Ajuste										13 Intensidad Saturación Ajustada S (v/h/r)
1 Acceso	2 Movimiento de los grupos de carriles		4 No. De Carriles N	5 Ancho de Carril $f_w$	6 Vehículos Pesados $f_{pv}$	7 Pendiente $f_p$	8 Estacionam. $f_r$	9 Bloqueo de Autobuses $f_{ab}$	10 Tipo de Area $f_a$	11 Giro Der. $f_{sd}$	12 Giro Izq. $f_{si}$		
			Tabla 8	Tabla 9	Tabla 10	Tabla 11	Tabla 12	Tabla 13	Tabla 14	Tabla 15			
RE	LT Izquierda												
	TH De frente												
	RT Derecha												
RO	LT Izquierda												
	TH De frente												
	RT Derecha												
RN	LT Izquierda												
	TH De frente												
	RT Derecha												
RS	LT Izquierda												
	TH De frente												
	RT Derecha												

Figura 9. Módulo del Valor de flujo de Saturación

**HOJA DE TRABAJO PARA VUELTA IZQUIERDA PERMITIDA**

\*\*\* En el caso en el que el acceso opuesto sea de varios carriles \*\*\*

ACCESO	RE	RO	RN	RS
Longitud del ciclo, C				
Tiempo de luz verde, G				
Tiempo efectivo de verde, g				
Luz verde efectiva del flujo opuesto, g <sub>o</sub>				
Número de carriles en el grupo, N				
Número de carriles en el Flujo Opuesto, N <sub>o</sub>				
Flujo ajustado de vuelta Izquierda, V <sub>LT</sub>				
Proporción de vuelta izquierda en el grupo de carriles, P <sub>LT</sub>				
Flujo ajustado opuesto, V <sub>o</sub>				
Tiempo perdido por fase, t <sub>L</sub>				
Vueltas a la izquierda por ciclo: LTC = V <sub>LT</sub> C/3600				
Flujo opuesto por carril, por ciclo: V <sub>oic</sub> = V <sub>o</sub> C/(3600 N <sub>o</sub> )				
Relación de flujo opuesto R <sub>po</sub> (Tabla 5)				
Relación g <sub>f</sub> ** = G exp (-0.882 LTC <sup>0.717</sup> ) - t <sub>L</sub> , g <sub>f</sub> ≤ g				
Relación de la fila sentido opuesto: q <sub>ro</sub> = 1 - R <sub>po</sub> (g <sub>o</sub> /C)				
Relación g <sub>q</sub> usando la ecuación 19, ≤ g				
Calcular g <sub>u</sub> : g <sub>u</sub> = g - g <sub>q</sub> si g <sub>q</sub> > g <sub>f</sub> g <sub>u</sub> = g - g <sub>f</sub> si g <sub>q</sub> ≤ g <sub>f</sub>				
Calcular : f <sub>s</sub> = (875 - 0.625 V <sub>o</sub> )/1000, f <sub>s</sub> ≥ 0				
Calcular P <sub>L</sub> = P <sub>LT</sub> [1 + {(N-1)g/(f <sub>sg</sub> + 4.5)}]				
Relación E <sub>LI</sub> (Tabla 17)				
Calcular f <sub>min</sub> = 2(1 + P <sub>L</sub> )/g				
Calcular f <sub>m</sub> : f <sub>m</sub> = [g <sub>f</sub> /g] + [g <sub>u</sub> /g] [1/(1 + P <sub>L</sub> (E <sub>LI</sub> - 1))] min = fmin; max = 1.00				
Calcular f <sub>LT</sub> = [f <sub>m</sub> + 0.91 (N-1)]/N*				

\* Para vuelta izquierda permitida, si existe un carril exclusivo de vuelta izquierda, entonces, f<sub>LT</sub> = f<sub>m</sub>

Figura 10. Hoja de trabajo para vuelta izquierda permitida, donde el acceso opuesto sea de varios carriles

**HOJA DE TRABAJO PARA VUELTA IZQUIERDA PERMITIDA**

\*\*\* En el caso en el que el acceso opuesto sea de un solo carril \*\*\*

ACCESO	RE	RO	RN	RS
Longitud del ciclo, C				
Tiempo de verde, G				
Tiempo efectivo de verde, g				
Verde efectivo del flujo opuesto, g <sub>o</sub>				
Número de carriles en el grupo, N				
Número de carriles en el Flujo Opuesto, N <sub>o</sub>				
Flujo ajustado de vuelta Izquierda, V <sub>LT</sub>				
Proporción de vuelta izquierda en el grupo de carriles, P <sub>LT</sub>				
Proporción de vuelta izquierda en el flujo opuesto, P <sub>LT<sub>o</sub></sub>				
Flujo ajustado opuesto, V <sub>o</sub>				
Tiempo perdido por fase, t <sub>L</sub>				
Vueltas a la izquierda por ciclo: LTC = V <sub>LT</sub> C/3600				
Flujo opuesto por carril, por ciclo: V <sub>o/c</sub> = V <sub>o</sub> C/(3600)				
Relación de flujo opuesto R <sub>po</sub> (Tabla 5)				
Relación g <sub>f</sub> ** = G exp (-0.860 LTC <sup>0.629</sup> ) - t <sub>L</sub> , g <sub>f</sub> < g				
Relación de la fila sentido opuesto: q <sub>ro</sub> = 1 - R <sub>po</sub> (g <sub>o</sub> /C)				
Calcular g <sub>q</sub> = 4.943Volc <sup>0.762</sup> q <sub>ro</sub> <sup>1.861</sup> - t <sub>L</sub> g <sub>q</sub> < g				
Calcular g <sub>u</sub> : g <sub>u</sub> = g - g <sub>q</sub> si g <sub>q</sub> ≥ g <sub>f</sub> g <sub>u</sub> = g - g <sub>f</sub> si g <sub>q</sub> < g <sub>f</sub>				
Calcular : n = (g <sub>q</sub> - g <sub>f</sub> )/2, n ≥ 0				
Calcular P <sub>TH<sub>o</sub></sub> = 1 - P <sub>LT<sub>o</sub></sub>				
Calcular E <sub>L1</sub> (Tabla 17)				
Calcular E <sub>L2</sub> = (1 - P <sub>TH<sub>o</sub></sub> <sup>n</sup> )/P <sub>LT<sub>o</sub></sub>				
Calcular f <sub>min</sub> = 2(1 + P <sub>LT</sub> )/g				
Calcular f <sub>LT</sub> ** = f <sub>m</sub> [g <sub>f</sub> /g] + [(g <sub>q</sub> - g <sub>f</sub> )/g] [1/(1 + P <sub>LT</sub> (E <sub>L2</sub> - 1))] + [g <sub>u</sub> /g] [1/(1 + P <sub>LT</sub> (E <sub>L1</sub> - 1))] min = f <sub>min</sub> ; max = 1.00				

Figura 11. Hoja de trabajo para vuelta izquierda permitida, donde el acceso opuesto sea de un carril

**MODULO DE ANALISIS DE CAPACIDAD**

1 Acceso	2 Movimiento de Grupos de Carriles	3 Volumen Ajustado V (v/hr)	4 Intensidad Saturación Ajustada S (v/hr)	5 Relación de Intensidad w/s	6 Relación Tiempo de luz verde g/C	7 Capacidad Grupo de Carriles C (v/hr)	8 Relación V/C 3/7 X	9 Grupo de Carriles Crítico (*)
RE								
RO								
RN								
RS								
Duración del Ciclo C _____ segundos						Σ(w/s) = _____		
Tiempo Perdido por Ciclo L _____ segundos						$x = \frac{\sum (w/s) C}{C - L} = \underline{\hspace{2cm}}$		

Figura 12. Módulo de Análisis de Capacidad

MODULO DE NIVEL DE SERVICIO												
Grupo de Carriles		Primera Demora				Segunda Demora			Demora y NS Grupo de Carriles		Demora Total y NS	
Acceso	Movimiento de Grupo de Carriles	Relación $w/c$  X	4 Relación de luz verde $g/C$	5 Demora uniforme $d_1$ seg./veh.	6 Ajuste factor DF Tabla 16	7 Capacidad de Grupos de Carriles C (veh/r)	8 $d_2$ , cal. periodo m. Tabla 16	9 Demora Incremental $d_2$ seg./veh	10 Demora, d seg./veh. (5)(6) + (9)	11 N.S. Grupo De Carriles Tabla 3	12 Dem. Acc. (seg./veh.)	13 N.S. Acc. Total Tabla 3
RE												
RO												
RN												
RS												
Demora en la Intersección _____ seg./veh.							NS de la Intersección _____ (Tabla 3)					

Figura 13. Módulo de Nivel de Servicio

Tabla 5. Relación entre el tipo de llegada y el flujo vehicular al llegar a la intersección

$R_p$			
Tipo de llegada	Rango del Flujo vehicular ( $R_p$ ).	Valor Asignado ( $R_p$ )	Cualidades de Sincronía.
1	$\leq 0.50$	0.333	Nula
2	$> 0.50$ y $\leq 0.85$	0.667	Poco favorable
3	$> 0.85$ y $\leq 1.15$	1.000	Llegada aleatorias
4	$> 1.15$ y $\leq 1.50$	1.333	Favorable
5	$> 1.50$ y $\leq 2.00$	1.667	Altamente favorable
6	$> 2.00$	2.000	Excepcional

Tabla 6. Valores recomendados a utilizar en un análisis de operación.

Características	Valor recomendado
<b>TRANSITO</b>	
Conflicto con peatones	No: 0 peat./hr Medio: 50 peat./hr. Moderado: 200 peat./hr. Alto: 400 peat./hr.
Porcentaje de Vehículo Pesados	2%
Pendiente (porcentaje)	0
Número de paradas de Autobús	0/hr
Existe estacionamiento.	No
Maniobras de Estacionamiento	20/hr.
Tipo de Llegada	
Grupo de carriles para el movimiento de Frente	3 si es aislada 4 si es sincronizada.
Grupo de carriles que no son de Movimiento de frente	3
Factor de hora pico	0.90
Factor de utilización	Ver tabla 7

Tabla 6. Continuación

<i>Características</i>	<i>Valor recomendado</i>
<i>Tipo de Control</i>	
<i>Tipo de semáforo</i>	<i>Fijo</i>
<i>Longitud del ciclo</i>	<i>60 - 120 seg.</i>
<i>Tiempo perdido</i>	<i>3.0 seg. /fase</i>
<i>Ambar + todo rojo</i>	<i>4.0 seg. /fase</i>
<i>Tipo de Area</i>	<i>No CBD</i>
<i>Ancho de carril</i>	<i>12 pies</i>
<i>Número de paradas de Autobús</i>	<i>0/hr.</i>

Tabla 7. Factor por utilización de carril  $F_U$

<i>Grupo de Carriles</i>	<i>No. De carriles en el grupo</i>	<i>Porcentaje del Tránsito que utiliza el carril</i>	<i>Factor de utilización de carril</i>
<i>De frente y Compartido</i>	<i>1</i>	<i>100.0</i>	<i>1.00</i>
	<i>2</i>	<i>52.5</i>	<i>1.05</i>
	<i>3</i>	<i>36.7</i>	<i>1.10</i>
<i>Exclusivo de Vuelta izquierda</i>	<i>1</i>	<i>100.0</i>	<i>1.00</i>
	<i>2</i>	<i>51.5</i>	<i>1.03</i>
<i>Exclusivo de Vuelta derecha</i>	<i>1</i>	<i>100.0</i>	<i>1.00</i>
	<i>2</i>	<i>56.5</i>	<i>1.13</i>

Tabla 8. Factor de ajuste por Ancho de carril,  $f_w$ .

<i>Promedio de ancho de Carril, w (mts.)</i>	<i>Factor por ancho de carril, <math>f_w</math></i>
2.44	0.867
2.74	0.900
3.05	0.933
3.35	0.967
3.65	1.000
3.96	1.033
4.26	1.067
4.57	1.100
4.88	1.133

Tabla 9. Factor de ajuste por vehículo pesado,  $f_{HV}$ .

<i>Porcentaje de Vehículos Pesados, % HV.</i>	<i>Factor por vehículos Pesados, <math>f_{HV}</math>.</i>
0	1.000
2	0.980
4	0.962
6	0.943
8	0.926
10	0.909
15	0.870
20	0.833
25	0.800
30	0.769
35	0.741
40	0.714
45	0.690
50	0.667
75	0.571
100	0.500



Tabla 10. Factor de ajuste por inclinación de la rasante,  $f_g$ .

<i>Inclinación, %</i>		
<i>Tipo</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Factor por Pendiente, <math>f_g</math></i>
<i>Descendente</i>	-6	1.030
	-4	1.020
	-2	1.010
<i>A nivel</i>	0	1.000
<i>Ascendente</i>	+2	0.990
	+4	0.980
	+6	0.970
	+8	0.960
	+10 o más	0.950

Tabla 11. Factor de ajuste por estacionamiento,  $f_p$ .

<i>Nº de carriles en el grupo</i>	<i>Sin Estacionamiento</i>	<i>Nº de Maniobras de estacionamiento por Hora, Nm</i>				
		<i>0</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>
<i>1</i>	<i>1.00</i>	<i>0.90</i>	<i>0.85</i>	<i>0.80</i>	<i>0.75</i>	<i>0.70</i>
<i>2</i>	<i>1.00</i>	<i>0.95</i>	<i>0.92</i>	<i>0.89</i>	<i>0.87</i>	<i>0.85</i>
<i>3</i>	<i>1.00</i>	<i>0.97</i>	<i>0.95</i>	<i>0.93</i>	<i>0.91</i>	<i>0.89</i>

Tabla 12. Factor de ajuste por bloqueo en paradas de autobuses,  $f_{bb}$ .

Nº de carriles en el grupo	Número de autobuses que paran por hora, $N_B$				
	0	10	20	30	40
1	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83
2	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92
3	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94

Tabla 13. Factor de ajuste por tipo de área,  $f_a$ .

Tipo de Zona	Factor $f_a$
Centro urbano	0.90
Otras zonas	1.00

Tabla 14. Factor de ajuste por vuelta derecha,  $f_{RT}$ .

Caso	$P_{RTA}$	Peatones	Proporción de vueltas a la derecha, PRT.					
			Caso 4, 5, 6					Casos 1, 2, 3
			0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
2 y 5	0	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
		50 bajo	1.00	0.965	0.930	0.896	0.861	0.826
		100	1.00	0.960	0.921	0.881	0.842	0.802
		200 medio	1.00	0.951	0.902	0.853	0.804	0.755
		400 alto	1.00	0.932	0.864	0.769	0.728	0.660
		800	1.00	0.894	0.788	0.681	0.575	0.469
		1200	1.00	0.856	0.711	0.567	0.423	0.279
		$\geq 1700$	1.00	0.808	0.616	0.424	0.232	0.050
	0.20	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
		50 bajo	1.00	0.966	0.932	0.899	0.865	0.831
		100	1.00	0.962	0.925	0.887	0.85	0.812
		200 medio	1.00	0.955	0.91	0.864	0.819	0.774
		400 alto	1.00	0.940	0.879	0.819	0.758	0.689
		800	1.00	0.909	0.818	0.758	0.636	0.545
		1200	1.00	0.879	0.757	0.636	0.514	0.393
		$\geq 1700$	1.00	0.840	0.681	0.521	0.362	0.202
	0.40	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
		50 bajo	1.00	0.967	0.934	0.901	0.869	0.836
		100	1.00	0.964	0.929	0.893	0.857	0.821
		200 medio	1.00	0.959	0.917	0.876	0.834	0.793
		400 alto	1.00	0.947	0.894	0.841	0.789	0.736
		800	1.00	0.924	0.849	0.773	0.697	0.621
		1200	1.00	0.901	0.803	0.704	0.606	0.507
		$\geq 1700$	1.00	0.873	0.746	0.619	0.491	0.364
	0.60	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
		50 bajo	1.00	0.968	0.936	0.904	0.872	0.840
		100	1.00	0.966	0.932	0.899	0.865	0.831
		200 medio	1.00	0.962	0.925	0.887	0.850	0.821
400 alto		1.00	0.955	0.910	0.864	0.819	0.774	
800		1.00	0.94	0.879	0.819	0.758	0.698	
1200		1.00	0.924	0.849	0.773	0.697	0.621	
$\geq 1700$		1.00	0.905	0.810	0.716	0.621	0.526	
0.80	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850	
	50 bajo	1.00	0.969	0.938	0.907	0.876	0.845	
	100	1.00	0.968	0.936	0.904	0.872	0.84	
	200 medio	1.00	0.966	0.932	0.899	0.865	0.831	
	400 alto	1.00	0.962	0.925	0.887	0.850	0.812	
	800	1.00	0.955	0.91	0.864	0.819	0.774	
	1200	1.00	0.947	0.894	0.841	0.789	0.736	
	$\geq 1700$	1.00	0.938	0.875	0.813	0.750	0.688	
1 y 4	1.0	0	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
7		0	1.00	0.875	0.846	0.819	0.792	0.765
		50 bajo	1.00	0.868	0.836	0.805	0.773	0.741
		100	1.00	0.863	0.827	0.79	0.754	0.717
		200 medio	1.00	0.854	0.808	0.762	0.716	0.670
		400 alto	1.00	0.835	0.770	0.705	0.640	0.575
		800	1.00	0.797	0.694	0.590	0.487	0.384
		1200	1.00	0.759	0.617	0.476	0.337	0.194
		$\geq 1700$	1.00	0.711	0.522	0.333	0.144	0.050

Información complementaria Tabla 14

$P_{RTA}$  = Proporción de vuelta derecha en fase protegida

Caso 1.- Carril exclusivo con fase protegida.

Caso 2.- Carril exclusivo con fase permitida.

Caso 3.- Carril exclusivo con fase permitida y protegida.

Caso 4.- Carril compartido con fase protegida.

Caso 5.- Carril compartido con fase permitida.

Caso 6.- Carril compartido con fase permitida y protegida.

Caso 7.- Un solo carril de acceso (de frente y derecha)..

Tabla 15. Factor de ajuste por giros a la izquierda  $f_{LT}$

Caso	TIPO DE GRUPOS DE CARRILES	FACTOR DE GIRO A LA IZQUIERDA; $f_{LT}$					
1	Carril exclusivo MI Fase protegida	0.95					
2	Carril exclusivo MI Fase permitida	Procedimiento especial; ver hoja de trabajo, figura 10 o figura 11.					
3	Carril exclusivo MI Fase protegida y permitida	Aplique caso 1 para fase protegida Aplique caso 2 para fase permitida					
4	Carril compartido MI Fase protegida	$f_{LT} = 1.00/(1.0 + 0.05 P_{MI})$					
	Carril PMI Factor	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95
5	Carril compartido MI Fase permitida	Procedimiento especial; ver hoja de trabajo, figura 10 o figura 11.					
6	Carril compartido MI Fase protegida y permitida	$f_{LT} = (1.400 - V_o) / [(1.400) + (235 + 0.435 V_o) P_{MI}]$ ; $V_o < 1.220$ v/hr $f_{LT} = 1 / [1 + 4.52 \sum P_{MI}]$ ; $V_o > 1.220$ v/hr					
	Volumen sentido Opuesto, $V_o$	Prop. de giros a la izquierda $P_{MI}$					
		0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.86
	200	1.00	0.95	0.90	0.86	0.82	0.78
	400	1.00	0.92	0.85	0.80	0.75	0.70
	600	1.00	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61
	800	1.00	0.83	0.71	0.62	0.55	0.49
	1000	1.00	0.74	0.58	0.48	0.41	0.36
	1200	1.00	0.55	0.38	0.29	0.24	0.20
	>1220	1.00	0.52	0.36	0.27	0.22	0.18

MI Movimiento a la izquierda.

P Proporción.

**Tabla 16. Demora uniforme (d1), factor de ajuste (DF)**

<b>Factor de ajuste por tipo de control (CF)</b>		
<b>Tipo de control</b>	<b>Intersecciones no semaforizadas</b>	<b>Intersecciones sincronizadas</b>
<i>Fijo (ningun grupo de carriles actuado).</i>	1.00	<i>PF utilizar área inferior</i>
<i>Semiactuado.</i>		
<i>Algún acceso actuado</i>	0.85	<i>PF utilizar área inferior</i>
<i>Ningún acceso actuado</i>	0.85	<i>inferior</i>
<i>Todos los accesos actuados</i>	0.85	<i>Trátese como</i>

**Factor de ajuste por sincronía (PF)**

$$PF = (1-P)f_p/(1-G/C) \text{ (ver nota)}$$

<b>Relación de verde (g/C)</b>	<b>Tipo de llegada</b>					
	1	2	3	4	5	6
0.2	1.167	1.007	1.000	1.000	0.833	0.750
0.3	1.286	1.063	1.000	0.986	0.714	0.571
0.4	1.445	1.136	1.000	0.895	0.555	0.333
0.5	1.667	1.240	1.000	0.767	0.333	0.000
0.6	2.001	1.365	1.000	0.576	0.000	0.000
0.7	2.556	1.653	1.000	0.256	0.000	0.000
<i>Asignado, fP</i>	1.000	0.93	1.00	1.15	1.000	1.000
<i>Asignado, RP</i>	0.333	0.667	1.00	1.333	1.667	2.000
<i>Calibración por demora instrumental, m</i>	8	12	16	12	8	4

*Nota:*

1.- La tabulación esta basada en los valores asignados a  $f_p$  y  $R_p$

2.-  $P = R_p \cdot g \cdot C$  (Cuando no excede a 1.0)

3.- PF no excede a 1.0 para el tipo de llegadas de la 1 a la 6.

**Tabla 17. Equivalencia de vehículos de frente, EL1, para vueltas izquierdas.**

No. de fases del semáforo	Tipo de Carril de Vuelta Izquierda	n. De Carriles en el sentido opuesto	Flujo Opuesto, V <sub>o</sub>						
			0	200	400	600	800	1000	≥ 1200
2	Compartido	1	1.05	2	3.3	6.5	16.0*	16.0*	16.0*
		2	1.05	1.9	2.6	3.6	6.0	16.0*	16.0*
		> 3	1.05	1.8	2.5	3.4	4.5	6.0	16.0*
	Exclusivo	1	1.05	1.7	2.6	4.7	10.4*	10.4*	10.4*
		2	1.05	1.6	2.2	2.9	4.1	6.2	10.4*
		> 3	1.05	1.6	2.1	2.8	3.6	4.8	10.4*
Más de 2	Compartido	1	1.05	2.2	4.5	11.0*	11.0*	11.0*	11.0*
		2	1.05	2.00	3.1	4.7	11.0*	11.0*	11.0*
		> 3	1.05	2.00	2.9	4.2	6.0	11.0*	11.0*
	Exclusivo	1	1.05	1.8	3.3	8.2*	8.2*	8.2*	8.2*
		2	1.05	1.7	2.4	3.6	5.9	8.2*	8.2*
		> 3	1.05	1.7	2.4	3.3	4.6	6.8	8.2*

\* Indica que la capacidad para las vueltas no está disponible, solo se producen, si llegan a escurrirse o a colarse

## **V.4 Ejemplo de cálculo**

### **V.4.1 Ejemplo 1**

*Análisis de operación de una intersección semaforizada con tiempos fijos y cuatro fases.*

#### **Descripción:**

*La figura 14, que es el módulo de entrada muestra la intersección del Blvd. Díaz Ordaz con la Av. Corregidora, en la Cd. de San Pedro Garza Garcia N. L., siendo una intersección de grandes dimensiones, con un sistema de semáforos de 3 fases de tiempo fijo con un ciclo de 150 segundos.*

*El objetivo es analizar la capacidad y el nivel de servicio de esta intersección para la hora de máxima demanda, y con esto proponer o recomendar algún tipo de mejora en la intersección.*

*Los datos necesarios para este análisis, son:*

- *Volúmenes de tránsito en la hora de máxima demanda (figura 15).*
- *Inventario geométrico (figura 16).*
- *Inventario de semáforos (figura 17).*

**Solución:**

a) *Módulo de Entrada.*

*El formulario del Módulo de Entrada de este ejemplo aparece en la figura 14. En el croquis de la parte superior se describen todos los volúmenes relevantes y las condiciones geométricas de la intersección.*

*En la parte central del módulo aparecen otras características importantes como: las pendientes, el porcentajes de vehículos pesados (HV), estacionamientos, paradas de autobuses ( $N_B$ ), factor de hora pico (FHP). Como no existen semáforos peatonales los tiempos mínimos de verde pueden calcularse con la Ecuación.*

$$G_p = 7.0 + w / 4.0 - Y \quad (9)$$

$$G_p (\text{Blvd Díaz Ordaz}) = 7.0 + \frac{73}{4.0} - 3 = 22 \text{seg.}$$

$$G_p (\text{Av. Corregidora}) = 7.0 + \frac{63}{4.0} - 3 = 20 \text{seg.}$$

*Los tipos de llegada para todos los accesos son del tipo 3 (aleatorio).*

*El ciclo del semáforo se muestra en la parte inferior de la figura 14. con un plan de 3 fases, con 82 segundos para los sentidos hacia el este y oeste (Blvd. Díaz Ordaz), 30*



*segundos para el sentido hacia el norte (Av. Corregidora), 29 segundos para el acceso del sentido hacia el sur. Resultando un ciclo de 150 segundos.*

*b) Módulo de Ajuste de Volúmenes.*

*La figura 18 muestra el formulario de Módulo de ajuste de Volúmenes. Se describen los volúmenes de cada movimiento, obtenidos del módulo de entrada, en la columna 3, cada uno de ellos se divide entre el FHP de 0.94, para obtener la intensidad máxima (columna 5).*

*Los grupos de carriles se pueden establecer por observación como en este caso o utilizando las ecuaciones 10 y 11, estos se muestran en la columna 6. En la columna 7 se colocan las intensidades en carriles de grupo.*

*De la tabla, se selecciona el factor de utilización de carril (U), en la columna 10 se calcula la intensidad ajustada (multiplicar columna 9 por 7), y en la columna 11 se calcula la proporción de vueltas a la izquierda o derecha según sea el caso.*

*c) Módulo de Intensidad de Saturación.*

*La figura 18, muestra el formulario para el módulo del flujo de saturación.*

- *En la columna 2 de este módulo se repiten las descripciones de los grupos de carriles. Se asume como intensidad de saturación ideal el valor de 2050 veh/hr/carril.*
- *La columna 4, indica el número de carriles, las demás columnas son:*
- *Columna 5. Factor por ancho de carril ( $f_w$ ) este se obtiene de la tabla 7*
- *Columna 6. Factor por vehículos pesados ( $f_{HV}$ ), se obtiene de la tabla 8, por el Blvd. Díaz Ordaz, el acceso este, es del 7.86% le corresponde un factor de  $f_{HV} = 0.93$ , el oeste tiene un 4.84%, le corresponde un  $f_{HV} = 0.95$ , la Av. Corregidora en el acceso norte presenta un 10.95%, el  $f_{HV} = 0.90$ , el acceso sur presenta el 5.29%, le corresponde un  $f_{HV} = 0.95$ .*
- *Columna 7. Factor por pendiente (inclinación de la rasante, ( $f_g$ ) se selecciona de la tabla 9, para los accesos del Blvd. Díaz Ordaz la pendiente es 1% correspondiéndole un  $f_g = 1.0$ , la Av. Corregidora presenta un 3%, correspondiente  $f_g = 0.99$ .*
- *Columna 8. Factor por estacionamiento ( $f_p$ ) se obtiene de la tabla 10, siendo 1 para todos los accesos por no haber estos.*
- *Columna 9. Factor por bloqueo de autobuses ( $f_{bb}$ ), se obtiene de la tabla 11., por el Blvd. Díaz Ordaz en el acceso este, se tienen 15 paradas de autobuses y 5 carriles, le corresponde un factor de  $f_{bb} = 0.98$ , el acceso oeste, tiene 10 paradas y 5, le corresponde un  $f_{bb} = 0.99$ , la Av. Corregidora en el acceso norte presenta 15 paradas y 2 carriles, le corresponde un  $f_{bb} = 0.98$ , el acceso sur presenta 10 paradas y 2 carriles, le corresponde un  $f_{bb} = 0.97$ .*

- *Columna 10. Factor por tipo de área ( $f_a$ ), se obtiene de la tabla 12, siendo  $f_a = 1.0$ , ya que la intersección se encuentra fuera del centro de la ciudad.*
- *Columna 11. Factor de movimiento hacia la derecha ( $f_{RT}$ ) se obtiene de la tabla 14, dependiendo el uso de los carriles y de el número de peatones para cada grupo de carril.*
- *Columna 12. Factor de movimiento hacia la izquierda ( $f_{LT}$ ) depende del uso del carril y del porcentaje de vueltas a la izquierda, tabla 15.*
- *Columna 13. Intensidad de saturación ajustada ( $S$ ) este se obtiene multiplicando todos los factores de ajuste por la intensidad de saturación ideal y por el número de carriles.*

*d) Módulo de Análisis de Capacidad.*

*La figura 20, muestra el módulo de Análisis de Capacidad. En la columna 2 se repite la descripción del grupo de carriles. En la columna 3 se describen los flujos ajustados ( $V$ ) obtenido del módulo de ajustes, en la columna 4 se describen las intensidades de saturación ( $S$ ) obtenidas del módulo del valor de flujo de saturación. Con estos valores se obtiene la relación  $V/S$  las cuales se colocaran en la columna 5.*

*Ahora se aprecia cuales son los grupos de carriles criticos, es decir los de mayor relación  $V/C$  en cada acceso. La relación de la suma de carriles criticos es 0.805, es decir.*

$$\Sigma(V/S) = 0.460 + 0.342 + 0.131 + 0.161$$

$$\Sigma(V/S) \text{ críticos} = 1.093$$

*Este valor se coloca en la sección inferior del módulo.*

*En la columna 6, se escribe la relación del tiempo de verde de cada fase con respecto a la longitud del ciclo, esto es:*

$$g/c (\text{Blvd Díaz Ordaz}) = \frac{82}{150} = 0.547$$

$$g/c (\text{Av. Corregidora}) = \frac{30}{150} = 0.200$$

$$g/c (\text{Av. Corregidora}) = \frac{29}{150} = 0.193$$

- *En la columna 7 se calcula la capacidad de los grupos de carriles (c), esto es multiplicando la columna 4 (S) por la columna 6 (g/c).*
- *En la columna 8 se calcula la relación v/c (volumen entre la capacidad de cada grupo de carriles), dividiendo la columna 3(v) entre la 7(c).*
- *En la columna 9 se marca con un asterisco el grupo de carriles crítico para cada acceso.*

*La relación crítica v/c, Xc, se calcula con la ecuación 7 mostrada en el formato*

$$Xc = \frac{\Sigma(v/s)C}{C - L}$$

$$Xc = \frac{1.093(150)}{150 - 9}$$

$$Xc = 1.163$$

e) *Módulo de Nivel de Servicio*

*La figura 21, muestra el módulo de nivel de servicio. Las descripciones de los grupos de carriles se anotarán en la columna 2. En la columna 3 se escribe la relación volumen/capacidad (X), en la columna 4 la relación de verde (g/C), en la columna 5 se calcula la demora uniforme  $d_1$  (ecuación 34).*

$$d_1 = 0.38 \frac{C(1 - g/c)^2}{[1 - (g/c)X]} \quad (34)$$

*Calculando  $d_1$  para todos los grupos de carriles:*

$$d_1(RE) = 0.38(150)(1-0.547)^2/(1-(0.547)(0.841)) = 21.67$$

$$d_1(R0) = 0.38(150)(1-0.547)^2/(1-(0.547)(0.625)) = 17.80$$

$$d_1(RN) = 0.38(150)(1-0.200)^2/(1-(0.200)(0.655)) = 41.98$$

$$d_1(RS) = 0.38(150)(1-0.193)^2/(1-(0.193)(0.833)) = 44.22$$

*En la columna 6 se coloca el factor de ajuste por DF, de la tabla 15, con tipo de control semáforo de tiempo fijo, siendo una intersección no sincronizada, le corresponde,  $DF=1.0$ .*

*En la columna 7, se escribe la capacidad del grupo de carriles (c), en la columna 8 se coloca el factor m, de la tabla 15, con el tipo de llegada 3,  $m = 16$ .*

En la columna 9, se calcula la demora  $d_2$ , con la ecuación 35.

$$d_2 = 173X^2 \left\{ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + (m(X / c))} \right\} \quad (35)$$

$$d_2(RE) = 0.93 \text{ seg/veh } (X = 0.841, c = 5393, m = 16)$$

$$d_2(RO) = 0.17 \text{ seg/veh } (X = 0.625, c = 5277, m = 16)$$

$$d_2(RN) = 1.59 \text{ seg/veh } (X = 0.655, c = 685, m = 16)$$

$$d_2(RS) = 6.27 \text{ seg/veh } (X = 0.833, c = 663, m = 16)$$

En la columna 10 se calcula la demora ( $d$ ) por grupo de carriles con la ecuación 35:

$$\text{Demora} = d_1 DF + d_2$$

$$\text{Demora (RE)} = 21.67(1) + 0.93 = 22.61$$

$$\text{Demora (RO)} = 17.80(1) + 0.17 = 17.97$$

$$\text{Demora (RN)} = 41.98(1) + 1.59 = 43.57$$

$$\text{Demora (RS)} = 44.22(1) + 6.27 = 50.49$$

La columna 11, se describen los niveles de servicio por grupo de carril, utilizando la demora total (columna 10) con la tabla 3.

En la columna 12, se calcula la demora promedio por acceso, ecuación 36:

$$\text{Dem Acc} = \frac{\sum(\text{Demora})(\text{Vol. Ajustado})}{\sum \text{Volumen Ajustado}}$$

$$Dem RE = \frac{22.61(4533)}{4533} = 22.61 \text{ seg/v}$$

$$Dem RO = \frac{17.97(3300)}{3300} = 17.97 \text{ seg/v}$$

$$Dem RN = \frac{43.57(449)}{449} = 43.57 \text{ seg/v}$$

$$Dem RS = \frac{50.49(553)}{553} = 50.49 \text{ seg/v}$$

Comparando estas demoras en la tabla 3. Se establece el Nivel de Servicio por acceso y se coloca en la columna 13.

La demora Media por vehículo en toda la intersección se calcula, como la media ponderada de los valores de cada acceso, ecuación 37.

$$\text{Demora en la Intersección por vehículo} = \frac{\sum(d_A * V_A)}{\sum V_A}$$

$$\text{Demora en la Intersección} = \frac{22.61(4533) + 17.97(3300) + 43.57(449) + 50.49(553)}{4533 + 3300 + 449 + 553}$$

$$\text{Demora en la Intersección} = 23.68 \text{ seg./veh}$$

Comparando el valor anterior con la tabla 3, le corresponde un Nivel de servicio "C" en toda la intersección.