

I. INTRODUCCION

El estudio de la Capacidad Vial está basado, principalmente, en los estudios que se han realizado en los Estados Unidos de Norte América y de cuyos resultados ha surgido la creación del Manual de Capacidad Vial (Highway Capacity Manual).

El objeto de estudiar la capacidad es el conocimiento de esa capacidad o del volumen de servicio de un camino, o de una intersección semaforizada. Y sirve fundamentalmente a dos propósitos:

- Para fines de proyecto de una obra nueva.

El análisis de la capacidad o del nivel de servicio influye directamente en la determinación de las características geométricas de un camino; estas características dependerán, por una parte, del volumen horario de proyecto que se considere en el análisis. Las características geométricas elegidas deberán suministrar un volumen de servicio, correspondiente al nivel de servicio establecido; por lo menos igual al volumen horario de proyecto.

- **Para la investigación de las condiciones de operación de un camino existente.**

El análisis comparativo entre el volumen de tránsito que circula por un camino existente y el volumen de servicio del mismo, de acuerdo con las características geométricas y del tránsito, permite determinar el nivel de servicio en que está operando y la fecha probable en que quedará saturado.

El conocimiento de los niveles de servicio actuales y futuros de un grupo o de una red de caminos, permite por otra parte, establecer una jerarquía de necesidades viales que sirva como índice para determinar prioridades.

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

En las Intersecciones Semaforizadas se introduce un elemento adicional al concepto de capacidad: la asignación del tiempo. Un semáforo asigna un tiempo a los movimientos del tránsito conflictivo que buscan utilizar el mismo espacio físico. La forma en la cual se asigna el tiempo tiene un impacto significativo en la operación de la intersección y en la capacidad de la misma y de sus accesos.

La capacidad se evalúa en términos de la relación del valor de flujo de demanda a la capacidad (v/c), mientras que el nivel de servicio está evaluado tomando como base la demora de parada promedio, por vehículo (seg/veh).

En el área urbana, el flujo vehicular discontinuo es característico de las avenidas, debido a la gran frecuencia con que se cruzan, en un nivel, con otras avenidas o calles. Por lo tanto, los estudios o investigaciones sobre la capacidad y el nivel de servicio se hacen generalmente ¹ determinando la capacidad de estos lugares críticos, que suelen ser las intersecciones controladas por semáforos.

Situación Actual

Aunque se atraviesa actualmente por un período de transición en el que el ingeniero tiene que utilizar el Manual de Capacidad Vial "Highway Capacity Manual" de los Estados Unidos de Norte América para determinar el análisis de capacidad y los niveles de servicio bajo las condiciones y características que imperan en ese país; en nuestros días, en la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL a través del Departamento de Estudios de Ingeniería de Tránsito, se está trabajando para determinar y establecer las divergencias entre los factores de ajuste que el manual de los Estados Unidos de América recomienda y los factores que se están presentando en las condiciones de nuestro país.

Importancia

Las características más notables de esta investigación, comparativamente con lo establecido en el Manual de Capacidad Vial "Highway Capacity Manual" de los Estados Unidos de Norte América, es el efecto que causan los movimientos de vuelta izquierda, en carril exclusivo con fase protegida, en las intersecciones semaforizadas, puesto que afectan las condiciones de operación y los niveles de servicio en la circulación de vehicular en el área urbana.

De esta manera podremos implantar nuevas estrategias que ayuden a mejorar la eficiencia operacional, las condiciones geométricas y la reducción de las demoras que afectan a los usuarios de estas infraestructuras viales.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Determinar las características del factor de ajuste por vueltas izquierdas protegidas, en carriles exclusivos, en intersecciones semaforizadas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar el tiempo efectivo de la luz en verde, para las vueltas izquierdas protegidas, en carriles exclusivos.
- Examinar el plan de fases y/o el tiempo de la luz en verde, para proveer un manejo más eficiente de los movimientos más desventajosos.
- Mejorar la duración del ciclo en las intersecciones semaforizadas.
- Reducir las Demoras de los conductores, para incrementar el Nivel de Servicio en las Intersecciones Semaforizadas.
- Facilitar, a las autoridades de distintos niveles, la toma de decisión, en la construcción o reconstrucción de las infraestructuras viales.
- Incrementar los beneficios económicos y sociales para los transeúntes, a un bajo costo.

III HIPOTESIS

Si se comprueba que el factor de ajuste de 0.95 para vueltas izquierdas protegidas en carriles exclusivos, que se utiliza actualmente en el análisis de capacidad vial (Norma establecida por el Manual de Capacidad Vial de los Estados Unidos de Norte América), es diferente de alguna manera al comportamiento de las intersecciones semaforizadas en la zona Metropolitana de Monterrey, NL. No se deberá seguir utilizando este factor, y de esa manera se mejorará el diseño y la planeación del sistema vial urbano.

Para una excelente administración de los recursos, en materia vial, es necesario establecer en las condiciones; de tránsito regionales normas propias que reflejen y resuelvan algunos problemas viales que existen en nuestro medio; para de esta manera tener la certeza y la confiabilidad de que los resultados obtenidos en los análisis de capacidad vial son válidos en nuestro medio.

IV DEFINICION DE CONCEPTOS DE CAPACIDAD VIAL

IV.1. Generalidades

Es indudable que unos de los patrimonios más valiosos con los que cuenta un país es la infraestructura de su red vial. Ésta deberá estar debidamente planeada, construida y conservada. El mayor o menor grado en el cumplimiento de este objetivo, será un indicador del nivel de desarrollo del país. Se encontrará siempre que un país de alto nivel de vida tendrá un buen sistema vial; un país atrasado, tendrá una red deficiente.

En la planeación, proyecto y operación del tránsito en calles y carreteras, la demanda de éste, bien sea presente o futura, es considerada como una cantidad conocida. Una medida de la eficiencia con la que una calle o carretera presta servicio a esta demanda, es conoce como "Capacidad". Para determinar la capacidad, se requiere no sólo un conocimiento general de las características de la corriente de tránsito, sino también un conocimiento de los volúmenes, según una variedad de condiciones físicas y de operación.

En el estudio de la capacidad de calles y caminos, el propósito que generalmente se sigue es el de determinar la calidad del servicio que presta cierto tramo o componente de una artería.

IV.2. Tipos de Caminos

Entendemos por camino, una faja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos. La denominación "camino" incluye las calles de la ciudad.

IV.2.1 Clasificación de Transitabilidad

En general, ésta corresponde a etapas de construcción y se clasifican como:

<i>Camino Pavimentado</i>	Tratamiento superficial o concreto
<i>Camino Revestido</i>	Transitable en todo tiempo
<i>Camino de tierra o en terracerías</i>	Transitable en tiempo de secas.

Dentro de un criterio amplio de planeación, la red vial tanto rural como urbana deberá estar clasificada de tal manera que se puedan fijar funciones específicas a las diferentes vías, sean éstas carreteras o calles; con el propósito de atender a las necesidades de movilidad de personas y mercancías, de una manera rápida, confortable y segura; lo mismo que accesibilidad a las distintas propiedades, de acuerdo con los usos del suelo. Para una buena movilidad es necesario disponer de vías rápidas y para la accesibilidad se necesitan las vías lentas. Naturalmente, entre estos dos extremos aparece todo el sistema de carreteras y calles.

IV.2.2 Clasificación Funcional

En términos generales; las vías, tanto rurales como urbanas, pueden clasificarse en tres grandes grupos:

- *Principales (arterias)*
- *Secundarias (colectoras)*
- *Locales*

IV.3 Definiciones

Con el propósito de unificar y simplificar la nomenclatura se sugieren, para el sistema vial urbano, las siguientes definiciones:

IV.3.1 Control Total de Accesos

Significa que se le da preferencia al tránsito de paso, y que sólo existen conexiones con otros caminos en puntos seleccionados de la autopista; prohibiéndose, además, las intersecciones en un nivel y los accesos directos a propiedades privadas.

IV.3.2 Control Parcial de Accesos

Significa que se le da preferencia al tránsito de paso y que, además de las conexiones con otros caminos o puntos específicos, pueden existir algunas intersecciones en un nivel y accesos directos a propiedades privadas.

IV.3.3 Camino Dividido

Camino con circulación en dos sentidos; en el cual, el tránsito en un sentido es separado del tránsito que circula en el sentido opuesto, por medio de una faja separadora central. Tales caminos pueden estar constituidos por dos o más carriles, en cada sentido.

IV.3.4 Camino no Dividido

Camino sin faja separadora central, que separe los movimientos en sentido opuesto.

IV.3.5 Autopistas o Vías Rápidas

Proporcionadas para el movimiento expedito de grandes volúmenes de tránsito entre áreas, a través o alrededor de la ciudad o el área urbana. Son vías divididas con control total de sus accesos y sin comunicación directa con las propiedades circundantes. Una autopista tiene separación total de los flujos conflictivos; en tanto que una vía rápida puede o no, tener algunas intersecciones en un desnivel y puede ser la etapa anterior de a la autopista. Ambos tipos de arterías forman parte del sistema o red vial primario de un área urbana.

IV.3.6 Calles Principales

Son las que permiten el movimiento del tránsito entre áreas o partes de la ciudad, dan servicio directo a los generadores principales y se conectan con el sistema de autopistas y vías rápidas. Con frecuencia son divididas y pueden tener control parcial de sus accesos. Las calles principales se combinan entre sí para formar un sistema que mueve el tránsito en toda la ciudad.

IV.3.7 Calles Colectoras

Son las que ligan las calles principales con las calles locales, y a su vez proporcionan acceso a las propiedades colindantes.

IV.3.8 Calles Locales

Proporcionan acceso directo a las propiedades, ya sean residenciales, comerciales, industriales o de algún otro uso; además de facilitar el tránsito local. Se conectan directamente con las calles colectoras y/o con las calles principales.

IV.4 Conceptos de capacidad, nivel y volumen de servicio

IV.4.1 Capacidad

Es el número máximo de vehículos por unidad de tiempo que razonablemente puede esperarse que pasen por un tramo de un camino, en un sentido o en dos sentidos, de acuerdo con las condiciones imperantes del camino, del tránsito y de los controles. Por lo general, 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, en donde existe un flujo estable.

IV.4.2 Nivel de servicio

Se usa para medir la calidad del flujo. Es una medida cualitativa del efecto que pueden tener en la capacidad muchos factores; tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tránsito, la libertad de maniobras, la sección transversal, la pendiente, etc.

IV.4.3 Volumen de servicio

A cada nivel de servicio le corresponde un volumen de servicio, que será el máximo número de vehículos que pasará por unidad de tiempo, mientras se conserve dicho nivel.

Se han definido seis niveles de servicio para cada tipo de vía; se les han asignado letras, de la letra A a la F, siendo el nivel de servicio A el que representa las mejores condiciones de operación y el nivel de servicio F, las peores condiciones.

- *Nivel de Servicio A.*- Representa las condiciones de flujo libre, con bajos volúmenes y altas velocidades. Hay poca o nula limitación de maniobras por la presencia de otros vehículos y puede conservarse la velocidad deseada con pocos o nulos retardos.
- *Nivel de Servicio B.*- Condiciones de flujo estable, en las que las velocidades empiezan a ser algo restringidas por las condiciones del tránsito. Los conductores tienen una razonable libertad para seleccionar su velocidad y su carril.
- *Nivel Servicio C.*- Corresponde aún a un flujo estable, pero las velocidades y las maniobras resultan más controladas por los mayores volúmenes. La mayor parte de los conductores ven restringida su libertad de elegir la velocidad, cambiar carriles o rebasar. Aún se obtiene una relativamente satisfactoria velocidad de operación, con volúmenes de servicio quizás apropiados para el proyecto de arterias urbanas.
- *Nivel de Servicio D.*- Se acerca al flujo inestable, con velocidades de operación tolerables, pero que pueden ser considerablemente afectadas por los cambios en las condiciones del tránsito. Las fluctuaciones en el volumen y las restricciones temporales en el flujo pueden causar considerables

reducciones en la velocidad de operación. Los conductores tienen poca libertad de maniobras, pero las condiciones son tolerables por períodos cortos.

- *Nivel de Servicio E.*- Representa una operación a menores velocidades que en el nivel de servicio D, con volúmenes que se acercan a la capacidad del tramo.
- *Nivel de Servicio F.*- Se refiere a un flujo de operación forzado, a bajas velocidades, donde los volúmenes son menores que los correspondientes a la capacidad. Estas condiciones resultan de las colas de los vehículos producidas por alguna obstrucción en la corriente. Las velocidades se reducen considerablemente y pueden ocurrir paradas, cortas o largas, debido al congestionamiento.

IV.5 Principios básicos 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

1

IV.5.1 La Velocidad

Está definida como la relación de movimiento, expresada como distancia por unidad de tiempo. La medida más utilizada es la velocidad promedio de recorrido (velocidad global). Esta medida es usada debido a que se obtiene fácilmente por medio de observaciones de vehículos en la corriente de tránsito (Método del vehículo flotante).

Hay que hacer notar que los tiempos obtenidos incluyen las demoras debidas a interrupciones o a los embotellamientos de tránsito. A ésta no hay que confundirla con la velocidad de marcha.

La velocidad promedio de marcha (velocidad de marcha) está definida como la distancia dividida entre el tiempo promedio de marcha para cruzar esa distancia. Ésta incluye solamente el tiempo en que el vehículo ésta en movimiento.

IV.5.2 Volumen y valor de flujo

Son dos medidas que cuantifican la cantidad de 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 períodos anuales, diarios, horarios y subhorarios.
- **Valor de flujo:** Es el valor horario equivalente al cual los vehículos pasan por un punto dado o una sección de un carril o un camino, durante un intervalo de tiempo dado menor que una hora, generalmente 15 minutos.

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, 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), durante 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:

$$\text{PHF} = V / (4 \cdot V_{15})$$

Donde:

PHF = Factor horario de máxima demanda

V = Volumen horario

V₁₅ = Volumen de los 15 minutos máximos en la hora de máxima demanda

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

Cuando se conoce el factor horario de máxima demanda, se puede utilizar éste para convertir el volumen de máxima demanda en un valor de flujo de máxima demanda como sigue:

$$v = V / \text{PHF}$$

Donde:

v = valor de flujo para el período de 15 minutos máximos

V = Volumen de la hora de máxima demanda

PHF = Factor horario de máxima demanda.

IV.5.3 Densidad

Está definida como el número de vehículos que están en una determinada longitud de un carril o de un camino, expresado en vehículos por kilómetro.

Medir la densidad en campo es difícil, puesto que se necesita un punto desde donde se puedan observar las longitudes significativas del camino; sin embargo, de la velocidad global y el valor de flujo, los cuales son más fáciles de calcular, puede obtenerse la densidad, así:

$$V = S * D$$

Donde:

V = Valor de flujo (veh/hr)

S = Velocidad global (m/hr)

D = Densidad (veh/km)

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 la corriente de tránsito.

IV.6 Características de la circulación continua

Es la condición del tránsito por la cual un vehículo que recorre un tramo de un camino no se ve obligado a detenerse por cualquier causa externa a la corriente de tránsito, si bien, dicho vehículo puede verse obligado a detenerse por causas propias de la corriente de tránsito por la que circula.

Aunque la relación $V = S \cdot D$ algebraicamente permite, para un valor de flujo dado, que ocurra un número de combinaciones de velocidad y densidad, existen relaciones adicionales que restringen la variedad de condiciones de flujo que puedan existir en una vía determinada.

La figura 1, muestra la forma general de estas relaciones, las cuales son básicas para el análisis de capacidad de las vías con circulación continua. La forma exacta de estas curvas y su calibración numérica depende de las condiciones prevalecientes del tránsito y del camino que existe en el tramo en estudio. Debe notarse que las curvas calibradas para vías específicas pueden ser discontinuas, cercanas a la capacidad.

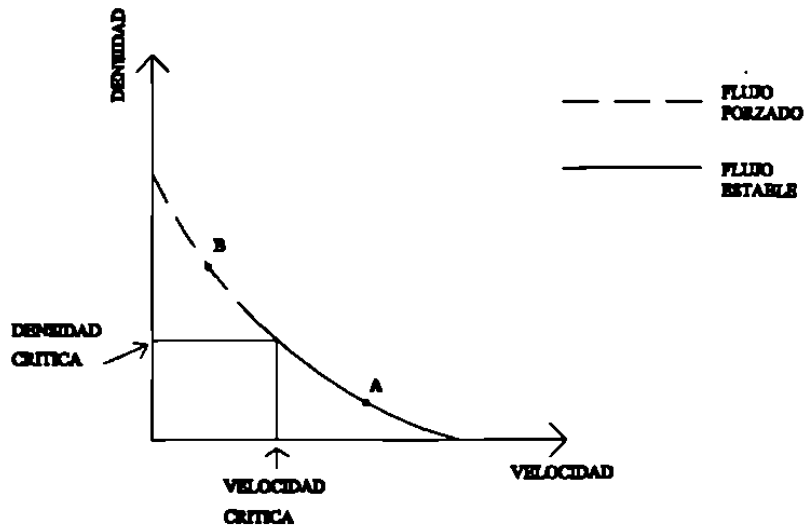
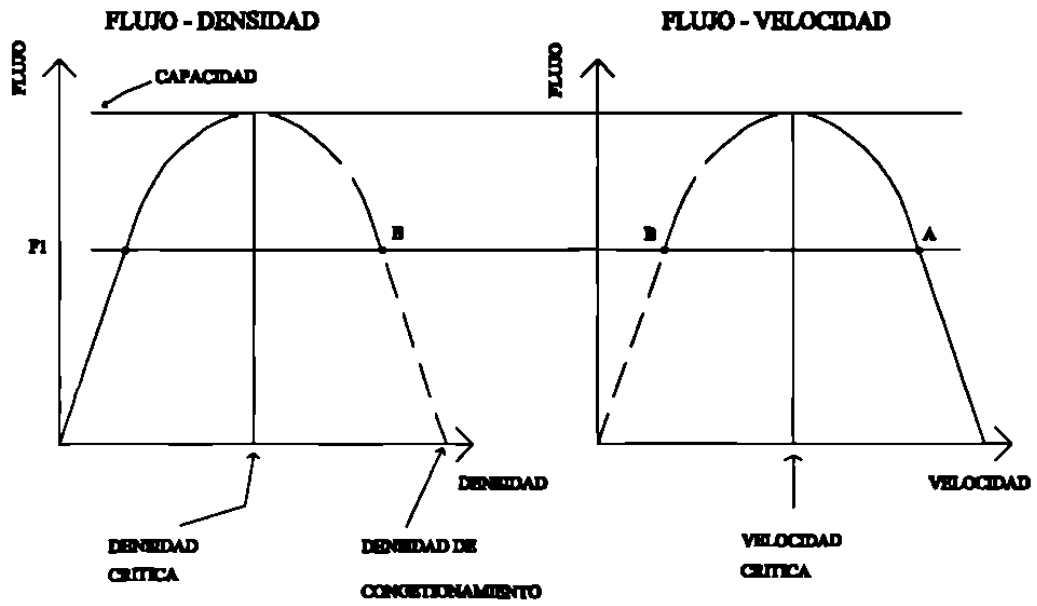


FIGURA 1. Relaciones básicas entre velocidad, flujo y densidad en vías de circulación continua

Según la nota, el valor de flujo F_1 ocurre bajo dos condiciones muy diferentes:

1. Cuando no hay vehículos en la vía, la densidad es cero y el valor de flujo es también cero. La velocidad es puramente teórica para esta condición y podría ser cualquier velocidad que seleccionara el primer conductor, la cual se presume que sea alta.
2. Cuando la densidad sea tan alta que todos los vehículos se detengan (la velocidad es cero), el valor de flujo será cero, porque no hay movimiento y los vehículos no podrán "pasar" por un punto del camino.

A la densidad en la cual todo el movimiento se detiene se le llama densidad de congestión. Dentro de estos dos puntos extremos, la dinámica del flujo del tránsito produce su máximo efecto.

Cuando la densidad aumenta desde cero, el valor de flujo también aumenta, debido a que un mayor número de vehículos está en el camino. Mientras esto está sucediendo, el valor de la velocidad empieza a declinar (debido a la interacción de los vehículos). Esta declinación es virtualmente insignificante en densidades y valores de flujo bajos. A medida que la densidad continúa incrementándose se alcanza un punto en el cual la velocidad declina fuertemente, el máximo valor de flujo se alcanza cuando el producto de la densidad creciente y la velocidad decreciente resulte en un flujo reducido.

El valor máximo para el valor del flujo de una vía determinada es la "Capacidad".

A la densidad, a la cual esto ocurre, se le llama densidad crítica y a la velocidad, velocidad crítica; al aproximarse a la capacidad, el flujo se convierte en más inestable, debido a que los espacios entre los vehículos, en la corriente del tránsito son muy pequeños.

En la capacidad no hay espacios disponibles en la corriente del tránsito. Cualquier perturbación de los vehículos que entren o salgan de la vía, o de los conductores que cambien de carril, desde carriles internos, crean un "desorden", que no puede ser disipado o desaparecer en forma rápida; por ello, la operación en o cerca de la capacidad es difícil de mantener por períodos largos de tiempo sin la formación de "colas" y flujos forzados llegando a presentar los embotellamientos inevitables. Por esta razón las vías son diseñadas para operar en volúmenes menores a la capacidad oficial.

IV.7 Características de la circulación discontinua

Es la condición del tránsito por la cual un vehículo que recorre un tramo de camino se ve obligado a detenerse por causas que no sean propias de la corriente del tránsito, tales como señales o semáforos en una intersección. Las paradas de vehículos causadas por obstáculos e interferencias dentro de la corriente de tránsito no se consideran como 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, las señales de alto y de ceda el paso.

1. El concepto de tiempo de luz verde en las intersecciones semaforizadas.

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

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

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

En este punto debe considerarse la dinámica (de inicio y continuación) de la "cola" de vehículos cuando se tiene el tiempo de luz verde.

En la figura 2, se ilustra una cola de vehículos parados en un semáforo. Cuando cambia a luz verde, las "colas" 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.

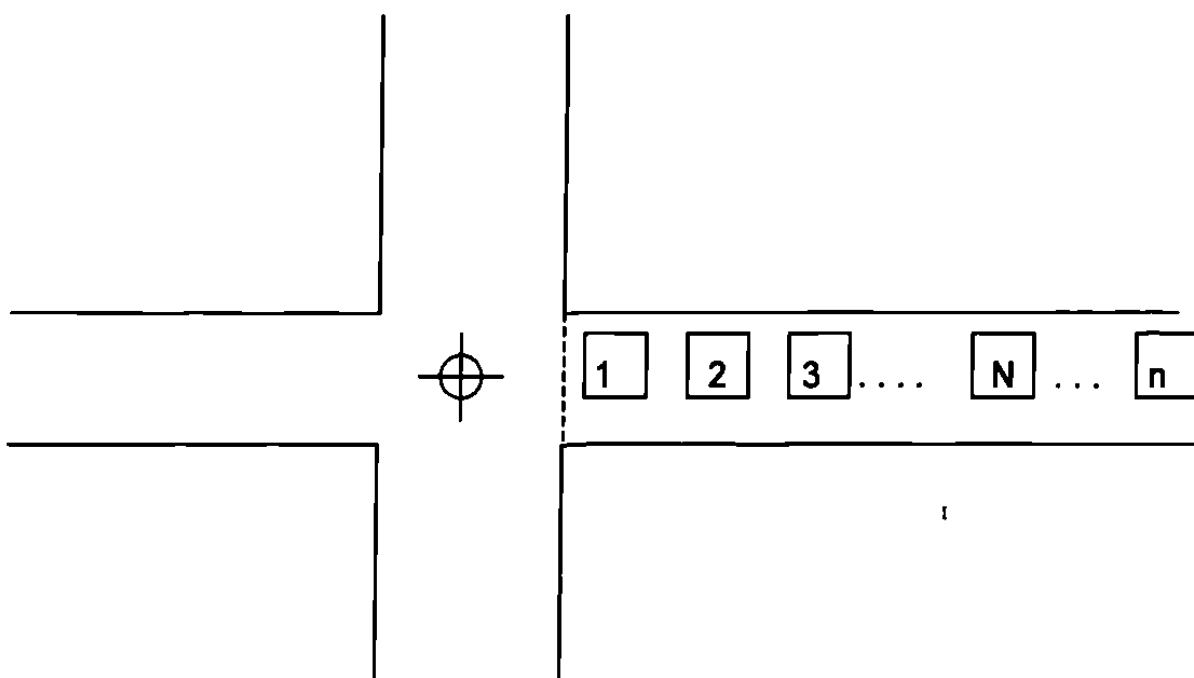
Primer vehículo: Experimenta un tiempo desde que ve la luz verde, reacciona al cambio quitando su pie del freno y acelera al pasar por la intersección.

Segundo vehículo: El tiempo acción - reacción puede ocupar parte en que el primero empieza a moverse y podrá moverse más rápido por tener una mayor longitud de aceleración, por lo tanto, el espacio en tiempo es menor. Así se continúa con los siguientes "N" vehículos hasta que se logra un movimiento uniforme de ellos hasta el último vehículo de la cola. El espacio en tiempo para estos últimos será relativamente constante.

En la figura 2, 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 de la cola y continúa hasta el último vehículo de la cola que "despeja" la intersección.

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



----- Línea de observación para medición de intervalos

Vehículo en Cola	Intervalo Salida
1	$h+t_1$
2	$h+t_2$
3	$h+t_3$
.	.
.	.
.	.
N	$h+t_n$
N+1	h
N+2	h
.	.
.	.
.	.
n	h

Figura. 2 Condiciones en la interrupción del tránsito en Vías de Circulación Discontinua

A 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 a otra corriente de vehículos se le permita usar la intersección. A éste intervalo se le llama "tiempo perdido de despeje". En la práctica, este tiempo perdido se toma en cuenta en los ciclos mediante el ámbar y el todo rojo. Los conductores generalmente no observan este intervalo completo.

El valor de flujo de saturación se define como el valor del flujo por carril a la cual los vehículos pueden pasar, a través de una intersección semaforizada, en una "cola" en movimiento estable (h). Entonces el valor de 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 toda la hora y el flujo de los vehículos nunca fuese interrumpido.

La relación entre el valor de 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 de inicio y de despeje. Entonces, 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 incremento del ciclo; sin embargo, la demora también se incrementa, llegando a ser excesiva.

IV.8 Factores que afectan a la capacidad, al valor de flujo de servicio y al nivel de servicio

IV.8.1 Las condiciones del camino.

Incluye todos los parámetros geométricos que describen el camino:

- *El Tipo de vía y su desarrollo en la zona.*

Este puede ser flujo continuo o discontinuo, puede o no tener faja separadora central y cuenta la influencia del lugar en que se encuentra.

- *El Ancho de carril.*

Los carriles angostos hacen que los vehículos circulen más cerca unos de otros en forma lateral, lo cual se compensa disminuyendo la velocidad u observando mayor distancia longitudinal.

- *La Velocidad de diseño.*

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

- *Los alineamientos vertical y horizontal.*

Los alineamientos vertical y horizontal de un camino son producto de su velocidad de diseño, usados debido a la topografía donde van a construirse. En términos generales, se tiene tres tipos de terreno:

1. *Terreno en nivel:*

Es una combinación de ambos alineamientos, que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que los vehículos ligeros. Incluye pendientes cortas del 1 al 2%.

2. *Terreno con lomerío:*

Es una combinación de ambos alineamientos, que causa que los vehículos pesados disminuyan sustancialmente la velocidad, respecto a los vehículos ligeros, pero no causa que éstos lleguen a la velocidad sostenida.

3. *Terreno montañosos:*

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

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

- a) El porcentaje de vehículos pesados en el volumen total es significativo.
- b) Las oportunidades de rebase son escasas.
- c) Existen pendientes aisladas en longitudes significativas.
- d) Existen pendientes en las intersecciones semaforizadas.

IV.8.2 Condiciones del Tránsito

1. Tipos de vehículos

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

- a) Son más largos que los vehículos ligeros y, por lo tanto, ocupan más espacio que los vehículos ligeros.
- b) Tienen una habilidad de operación más pobre que los vehículos ligeros, particularmente con la aceleración, desaceleración y la habilidad para mantener su velocidad en pendientes ascendentes.

Los vehículos pesados están divididos en tres categorías:

- a) Camiones: Los que están involucrados principalmente con el transporte de bienes.
- b) Vehículos recreacionales: Son operados por particulares e involucra transporte de equipo para recreación.
- c) Autobuses: Los que están involucrados en el transporte de personas.

Existen dos tipos básicos:

- Los foráneos que no paran continuamente para el ascenso y descenso de pasaje.
- Los urbanos que sí lo hacen.

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

- **Distribución direccional**

Tiene su mayor impacto en las carreteras de dos carriles.

- **Distribución de carriles**

Los carriles laterales normalmente se usan menos que los internos.

IV.8.3 Condiciones de Control

1. El más crítico es el semáforo, el 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 principal.

3. Las señales de alto en los cuatro accesos, donde es muy variable su comportamiento.

4. Las restricciones de estacionamiento en las calles.

5. Las restricciones de vueltas

V.- ANALISIS DE CAPACIDAD EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

V.1 Antecedentes

Ahora se tratarán los procedimientos de análisis para la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas. Estas constituyen algunos de los lugares más complejos en la corriente de tránsito.

En las intersecciones semaforizadas se 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 intersección.

En las intersecciones semaforizadas, se introduce un elemento adicional al concepto de capacidad: la asignación del tiempo. Un semáforo asigna un tiempo a los movimientos del tránsito conflictivo, que buscan el uso del 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 sus accesos.

La capacidad se evalúa en términos de la relación del valor de flujo de demanda a la capacidad (v/c), mientras que el nivel de servicio está evaluado tomando como base la demora de parada promedio por vehículo (seg/veh).

V.1.1.- Los Semáforos

Un semáforo consta de una serie de elementos físicos y funcionales cuya terminología y definición se muestran a continuación.

- **Cabeza.-** Es la armadura que contiene las partes visibles del semáforo; cada cabeza tiene un número determinado de luces, orientadas en diversas direcciones.
- **Cara.-** Es el conjunto de luces que están orientadas en la misma dirección. En cada cara usualmente existen tres o más unidades ópticas.
- **Regulador.-** Es el mecanismo o dispositivo que sirve para ordenar los cambios de luces del semáforo.

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

- **Ciclo:** El tiempo necesario para que se dé una sucesión completa de indicaciones en los semáforos conectados a un mismo regulador.
- **Fase:** Parte del ciclo asignado a cualquier combinación de movimientos del tránsito que reciben derecho de vía simultáneamente durante uno o más intervalos.
- **Duración del ciclo:** El tiempo total del semáforo para completar un ciclo, en segundos, dado por el símbolo C.
- **Reparto del ciclo:** Es la distribución de éste entre las distintas calles que confluyen en la intersección.
- **Intervalo:** Es un período de tiempo durante el cual todas las indicaciones del semáforo se mantienen constantes.
- **Cambios de intervalo:** Los intervalos ámbar más todo rojo 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 verde:** Tiempo dentro de una fase dada durante el cual el color verde aparece, establecido en segundos, dado por el símbolo G (para la fase i).

- **Tiempo perdido:** Tiempo durante el cual la intersección no es utilizada por algún movimiento; estos tiempos ocurren en el cambio de intervalo (cuando la intersección se despeja) y en el inicio de cada fase, cuando los primeros vehículos que están en la cola experimentan las demoras de inicio.
- **Tiempo de verde efectivo:** El tiempo durante una fase dada, disponible en forma efectiva para los movimientos permitidos. Generalmente se toma como el intervalo de verde, más el cambio de intervalo, menos el tiempo perdido para la fase asignada; establecido en segundos y dado por el símbolo g_i (para la fase i).
- **Relación de verde.** Es la relación del tiempo de luz verde efectiva en la duración del ciclo, dado por el símbolo g_i / C (para la fase i).
- **Rojo efectivo:** Es el tiempo durante el cual no se permite la circulación ni algún movimiento dado o un grupo de movimientos; establecido en segundos, siendo la duración del ciclo menos el tiempo de luz verde efectiva, para una fase específica, dado por el símbolo r_i .

Los semáforos pueden funcionar de tres maneras básicas, dependiendo del tipo de equipo de control utilizado. Son éstas las más comunes:

1. **Operación de tiempo fijo:** Los reguladores de tiempo fijo no hacen cumplir monótonamente lo que previamente se les ha ordenado, sin depender para nada de las variaciones en intensidad, velocidad o composición que a lo largo del tiempo, se producen en el tránsito.

En esta operación, la duración del ciclo, la fase, tiempos de luz verde y los cambios de intervalo, son preestablecidos.

2. *Operación semiactuada*: En esta operación, la calle principal asignada tiene luz verde siempre hasta que los detectores de la calle secundaria determinen que un vehículo o vehículos hayan llegado a uno o a ambos accesos, para darle luz verde a esta última calle, después de un cambio de intervalo adecuado, el cual se mantiene hasta que todos los vehículos son servidos o hasta que el tiempo de luz verde máximo preestablecido para la calle secundaria sea alcanzado. En esta operación, la duración del ciclo y los tiempos de luz verde pueden variar de, ciclo a ciclo, en respuesta a la demanda.

3. *Operación totalmente actuada*: En ésta, todas las fases del semáforo son controladas por detectores. En general, en este tipo de control se especifican los tiempos de luz verde máximos y mínimos para cada fase. La duración de los ciclos y los tiempos de luz verde varían considerablemente, en respuesta a la demanda.

Las fases del semáforo pueden proporcionar movimientos de vuelta permitidos o protegidos.

- **Movimientos permitidos:**

Son aquellos que permiten que se realice la vuelta, a pesar de tener flujos de vehículos en el sentido opuesto y cruce de peatones.

- **Movimientos protegidos:**

Es aquel movimiento que se realiza sin los flujos anteriores, tales como las vueltas izquierdas exclusivas o las vueltas derechas, cuando el movimiento de peatones se prohíbe.

V.1.2.-Capacidad y Nivel de Servicio

La capacidad se define como el "máximo volumen horario equivalente de peatones o vehículos, que tienen una probabilidad razonable de pasar por una sección o tramo uniforme de una pista o calzada de una carretera, en condiciones prevalecientes. Se expresa como un volumen horario, cuyo valor no se puede sobrepasar mientras no cambien las condiciones prevalecientes".

De esta definición se desprenden algunos aspectos básicos a considerar:

Primero, la capacidad queda definida para condiciones prevalecientes de la carretera y el tránsito. Mientras estas condiciones no cambien, la capacidad no cambiará. Las condiciones prevalecientes de la carretera, quedan establecidas por sus elementos físicos: (alineaciones, ancho de calzada, distancias libres laterales, u otros. Las condiciones prevalecientes del tránsito, en tanto, quedan establecidas por la naturaleza y composición del tránsito que circula por la vía.

Segundo, la capacidad queda referida a una sección o un tramo uniforme de una vía. Si existiesen diferentes condiciones de carretera o de tránsito en diversos tramos, la capacidad quedará referida a cada uno de esos tramos y por tanto, no es uniforme a lo largo de la vía en estudio.

Tercero, las unidades físicas de medida de capacidad corresponden a un número de personas o vehículos, por unidad de tiempo. Normalmente, se mide en términos de volumen horario equivalente, el cual se refiere al o los intervalos de 15 minutos más cargados dentro de la hora pico. De esta manera, se reconoce la existencia de variaciones horarias en el flujo y, en consecuencia, el análisis se centra en los intervalos de tiempo de flujo máximo.

Para las intersecciones semaforizadas, ambos conceptos se analizan por separado y no tienen una relación sencilla entre sí.

La relación v/c es el valor de flujo actual o futuro, 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.

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 según las condiciones prevalecientes del tránsito, del camino y de las condiciones de la semaforización, establecida en vehículos por hora.

- **Condiciones de tránsito:**

En ésta se 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 dentro de la zona de la intersección, flujo de peatones y maniobras de estacionamiento en la zona.

- **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).

- **Condiciones de semaforización:**

En ésta se incluye una definición completa de las fases del semáforo, su duración, su tipo de control y la evaluación de la sincronía en cada acceso.

La capacidad en las intersecciones semaforizadas está basada en el concepto de flujos de saturación y valor de flujo de saturación.

El valor de flujo de saturación: Está definido como el valor de flujo máximo que puede pasar por un acceso de una intersección o un grupo de carriles dado, en 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 el tiempo de luz verde efectivo.

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

Entonces la capacidad es:

$$c_i = s_i * (g/C)_i \quad (1)$$

Donde:

c_i = Capacidad del grupo de carriles o el acceso dado en v/h.

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

$(g/C)_i$ = 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 (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 un acceso i :

$$X_i = (v/c)_i = v_i / [s_i * (g/C)_i] \quad (2)$$

$$X_i = v_i C / s_i g_i = (v/s)_i / (g/C)_i$$

Donde:

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

v_i = Valor de flujo actual para un acceso o un grupo de carriles i en v/h .

s_i = Valor de flujo de saturación para un acceso o grupo de carriles i en v/hg .

g_i = Tiempo de luz verde efectivo, para un acceso o un grupo de carriles i , en seg.

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

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 tiene el mayor valor de flujo $(v/s)_i$ para una fase dada.

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

$$X_c = \sum (v/s)_{ci} * [C / (C - L)] \quad (3)$$

Donde:

X_c = La relación v/c crítica para la intersección

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

C = Duración del ciclo

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

Esta ecuación es útil para evaluar la intersección en forma general con 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 verde ha sido apropiado o distribuido apropiadamente. 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 luz verde.

V.1.4. Niveles de Servicio para las Intersecciones Semaforizadas

El nivel de servicio (NS) es una medida de la calidad del flujo en un tramo de vía dado. Corresponde a una combinación de condiciones de operación producida en un camino debido a los volúmenes de tránsito que circulan por él. Es una medida cualitativa del efecto producido por factores tales como: la velocidad, la libertad para maniobrar, la seguridad, el confort en el manejo y los costos de operación, entre otros.

El Manual de Capacidad de Carreteras define seis Niveles de Servicio. Se designan mediante una letra, de la A a la F. El nivel A, representa las mejores condiciones de operación, mientras que el F, las peores. Cada Nivel de Servicio está caracterizado por medidas de eficacia, estimadas con base en parámetros objetivos. Las medidas de eficacia a utilizar varían, según el tipo de vía.

Estos están definidos en términos de la demora, siendo ésta una medida que refleja la molestia y la frustración del conductor, el consumo extra de combustible y la pérdida de tiempo en un 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 luz verde y la relación v/c para un grupo de carriles o accesos en estudio.

Ver tabla 1 para descripción de los niveles de servicio.

TABLA 1**Descripción de los niveles de servicio.**

Descripción de los Niveles de Servicio		
N.S.	Características de la Operación	Demora (seg)
A	Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos, los vehículos no hacen alto.	< 5.00
B	Ocurre con una sincronía y ciclos cortos, los vehículos empiezan a detenerse.	5.1 a 15.0
C	Ocurre con una sincronía regular y/o ciclos largos, los ciclos en forma individual empiezan a fallar.	15.1 a 25.0
D	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.	25.1 a 40.0
E	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.	40.0 a 60.0
F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurren cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c sean menores de 1.00 pero con una sincronía muy pobre y/o ciclos demasiado largos.	> 60.0

V.1.5 Relación entre Capacidad y Nivel 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 ven en desventaja (teniendo un tiempo de luz en rojo largo) por los tiempos de semáforo.
- La sincronía de los 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, acceso o el grupo de carriles está sobrecargado, ni que el nivel de servicio entre A y E implica que existe una capacidad disponible no 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.1.6 Análisis Operacional

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 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 establecidos, pudiendo definir:

1. El nivel de servicio, conociendo los detalles del flujo de la intersección, la semaforización y la geometría.
2. Los valores de flujo de servicio permitidos, para un nivel de servicio seleccionado, conociendo los detalles de la semaforización y la geometría.
3. El tiempo para las fases, conociendo el nivel de servicio deseado y los detalles de 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 Metodología

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 de toda la intersección.

Requiere de información detallada, relativa a las condiciones geométricas del tránsito y la semaforización de la intersección.

Para su estudio, el análisis se ha dividido en cinco módulos:

1. Módulo de entrada

Comprende básicamente la definición de toda la información necesaria para todos los cálculos posteriores, esto es, la geometría de la intersección, los volúmenes de tránsito y sus condiciones de 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. Módulos del valor de flujo de saturación

En éste 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 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.

Ver figura 3 procedimiento para el análisis de operación.

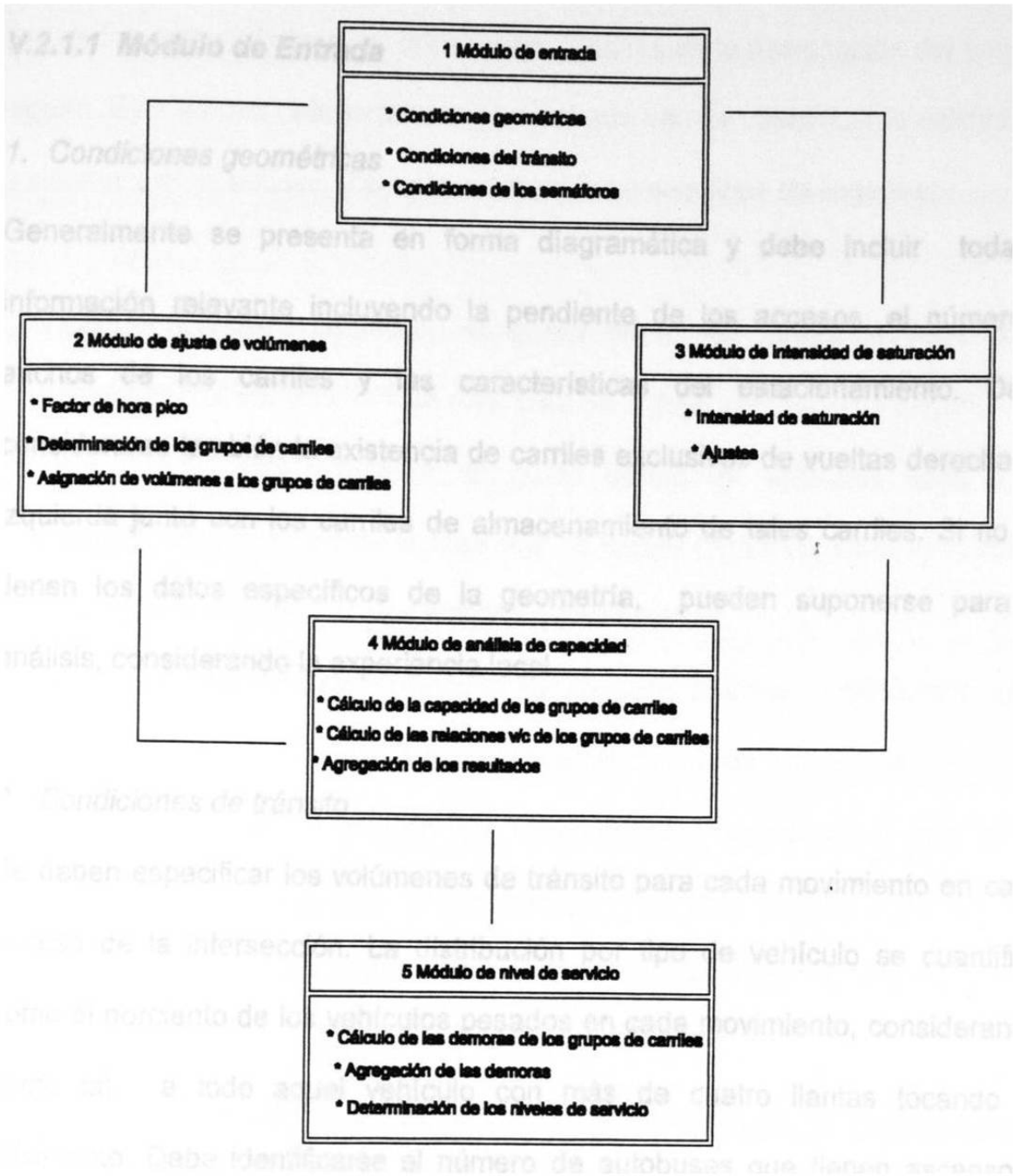


Figura 3. Procedimiento para el análisis de operación

V.2.1.1 Módulo de Entrada

1. Condiciones geométricas

Generalmente se presenta en forma diagramática y debe incluir toda la información relevante incluyendo la pendiente de los accesos, el número y anchos de los carriles y las características del estacionamiento. Debe considerarse también la existencia de carriles exclusivos de vueltas derechas 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 de 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 los vehículos pesados en cada movimiento, considerando 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 hacia el norte (NB), le corresponde el cruce *este*; al acceso hacia el sur le corresponde el cruce *oeste*; etc.

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

- **Tipo 1.-** En esta condición, el grupo denso de vehículos llega a la intersección al inicio de la fase roja. Esta es la peor condición de llegada.
- **Tipo 2.-** En esta condición, el grupo denso de vehículos llega a la intersección a la mitad de la fase roja o llegan en forma dispersa durante toda la fase. 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 rojo y verde, y/o donde el acceso no tiene ninguna coordinación con otros semáforos 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 denso de vehículos llega durante la mitad de la fase en verde o cuando en forma dispersa llegan durante toda la fase en verde. Esta condición es moderadamente favorable.
- **Tipo 5.-** Esta condición se define cuando el grupo denso de vehículos llega en el inicio de la fase en verde. Esta es la condición favorable.
- **Tipo 6.-** Este tipo de llegada se clasifica como una sincronía excepcional, las rutas tienen características cercanas a la sincronía ideal

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:

$$R_p = \frac{PVG}{PTG} \quad (4)$$

Donde:

R_p = Relación de grupos de vehículos

PVG = Porcentaje de todos los vehículos en el movimiento de llegada durante la fase en verde obtenido en campo

PTG = Porcentaje del ciclo que está en luz verde para el movimiento (se calcula del ciclo del semáforo): $PTG = (G / C) * 100$

La tabla 2 proporciona rangos aproximados de R_p relacionados con 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 75 mts.(250 ft), de la intersección N_m .

TABLA 2**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	≤ 0.50	0.333	Nula
2	> 0.50 y ≤ 0.85	0.667	Poco Favorable
3	> 0.85 y ≤ 1.15	1.000	Llegadas Aleatorias
4	> 1.15 y ≤ 1.50	1.333	Favorable
5	> 1.50 y ≤ 2.00	1.667	Altamente Favorable
6	> 2.00	2.00	Excepcional

3. Condiciones de semaforización

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

$$G_p = \frac{7.0 + W}{4.0 - Y} \quad (5)$$

Donde:

G_p= Tiempo mínimo de luz verde en segundos

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

Y= Cambio de intervalo (ámbar + todo rojo) en segundos.

Para establecer los valores para el análisis, la operación del semáforo debe observarse en campo, utilizando los valores promedio de los tiempos de luz verde y los ciclos.

Cuando vaya a establecerse el ciclo como parte del análisis, deben aplicarse las políticas locales para tal efecto.

La tabla 3 representa 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 3**Valores recomendados a utilizar en un análisis de operación.**

Características del Tránsito	Valor Recomendado
Conflictos con peatones	No: 0 peatones/hr. Medio: 50 peatones/hr. Moderado: 200 peatones/hr. Alto: 400 peatones/hr.
Porcentaje de vehículos pesados	2 %
Pendiente (en porcentaje)	0%
Número de paradas de autobuses	0 / hr.
Existencia de estacionamiento	No
Tipo de llegada Grupo de carriles para el movimiento de frente Grupo de carriles que no son movimientos de frente	3 si es aislada 4 si es sincronizada 3
Factor de hora pico	0.90
Factor de utilización	Ver tabla 4
Características de Control	Valor Recomendado
Tipo de semáforo	Fijo
Longitud de ciclo	60 – 120 seg.
Tiempo perdido	3.0 seg. por fase
Ambar + todo rojo	4.0 seg. Por fase
Tipo de area	No CBD
Ancho de carril	3.65 mts.
Número de paradas de autobús	0 / hr.

V.2.1.2 Módulo de Ajuste de Volúmenes

En este módulo se realizan tres pasos analíticos importantes a los volúmenes:

- 1. Los volúmenes de los movimientos se ajustan a los valores de flujo para los 15 minutos máximos.*

Para reflejar los valores de flujo de máxima demanda. Se calcula mediante:

$$V_p = V / PHF \quad (6)$$

Donde:

V_p = valor de flujo durante los 15 minutos máximos.

V = Volumen horario de máxima demanda

PHF = Factor horario de máxima demanda

Debido a que no todos los movimientos son máximos a la misma hora, hay que seleccionar los períodos 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 se considera tanto a la geometría de la intersección y la distribución de los movimientos del tránsito.

Puede 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 directos 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:

$$V_{LE} = V_L * [2050 / (1400 - V_0)] \quad (7)$$

Donde:

V_{LE} = Valor de flujo equivalente aproximado de vuelta izquierda en v/h.

V_g = Valor de flujo de vuelta izquierda actual en v/h.

V_0 = Valor de flujo opuesto, descontando las vueltas izquierdas de un carril exclusivo o los accesos de un solo carril; el máximo valor de V_0 es 1399, este valor se utiliza para todos los valores $V_0 \geq 1399$; $V_0 = 0$ para una fase protegida.

Nótese que cuando V_0 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 del 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:

Así si

$$V_{LE} \geq (V_a - V_L) / (N-1) \quad (8)$$

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.

Sí:

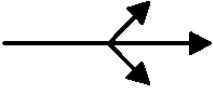
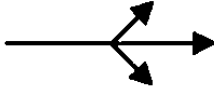

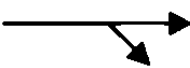

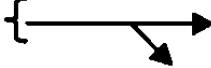
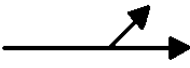
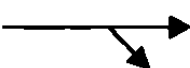
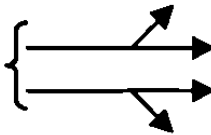
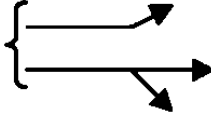


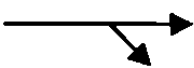
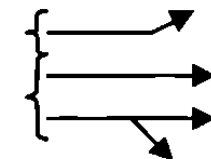
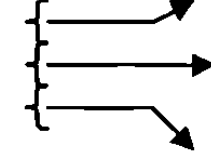
$$V_{LE} < (V_{\bullet} - V_L) / (N-1) \quad (9)$$

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

La operación de un carril de vuelta izquierda y directo en fase de vuelta izquierda permitida es muy compleja. Los vehículos de vuelta izquierda ejecutan su movimiento a través de los espacios del flujo opuesto.

El primer espacio no va 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 vehículos en el sentido opuesto se está despejando, éste bloquea el carril tanto como para los que dan vuelta como para los que van directo hasta que el espacio aparezca. Por lo tanto, los vehículos de vuelta izquierda podrán moverse entre los espacios del flujo opuesto hasta que la fase de verde termine, lo cual va a permitir que cuando mucho dos vehículos podrán dar vuelta izquierda en el cambio de intervalo. Esto va a influenciar la distribución de carriles, ya que los vehículos van a tender a utilizar los otros carriles para evitar la turbulencia y las demoras.

Ver figura 4 grupo de carriles más comunes.

No. de carriles	Movimientos por carriles	Grupos de carriles posibles
1	MI + MR + MD 	① 
2	MI EXC  MR + MD 	② {  { 
2	MI + MR  MR + MD 	① {  o ② { 
3	MI EXC  MR  MR + MD 	② {  o ③ { 

MI Movimiento a la izquierda
MR Movimiento de frente
MD Movimiento a la derecha

Figura 4 Grupos de carriles más comunes.

3. Ajuste por distribución de carriles

Después 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 del carril que por lo común no es igual.

Cuando existe más de un carril en el acceso, el flujo no se divide equitativamente.

Así se tiene:

$$v = v_g * U \quad (10)$$

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 se muestra en la tabla 4.

La tabla 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 1.00, ya que los carriles tienden a utilizar más equitativamente los carriles en esta situación.

V.2.1.3 Módulo de Flujo de Saturación

Ahora se calcula el valor de flujo de saturación para cada grupo de carriles. Este flujo horario asume que la fase de 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 de 2050 vl/hg/carr. el cual se ajusta a una variedad de condiciones prevaecientes que no son las ideales.

Así:

$$S = S_0 * N * f_w * f_{hv} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{rt} * f_{lt} \quad (11)$$

- S = valor de flujo de saturación para el grupo de carriles en estudio, expresada como el total de todos los flujos en el grupo de carriles bajo las condiciones.
- So = valor de flujo de saturación ideal generalmente 2050 vl/hg/carr.
- N = número de carriles en el grupo de carriles
- f_w = factor de ajuste por ancho de carril 12 ft.(3.65 mts) son los estándar
- f_{hv} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito.

- f_g = factor de ajuste por pendiente del acceso.
- f_p = factor de ajuste por la existencia de un carril de estacionamiento adyacente al grupo de carriles y la actividad de estacionamiento en ese carril.
- f_{bb} = factor de ajuste por el efecto de bloqueo por paradas de los autobuses dentro de la zona de la intersección.
- f_a = factor de ajuste por el tipo de área.
- f_{rt} = factor de ajuste por vueltas derechas en el grupo de carriles.
- f_{lt} = factor de ajuste por vueltas izquierdas en el grupo de carriles.

Si no se tiene los factores descritos anteriormente, el valor propuesto de S será de 1900 vl/hg/carr. * N , reconociendo que el análisis será aproximado a grandes rasgos.

1) Factores de ajuste.

El uso de los factores de ajuste es similar al de los capítulos anteriores. Cada factor agrega el impacto de las condiciones prevalecientes que son diferentes a las ideales. Cada una de las tablas que se muestran a continuación 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 fase permitida.

El factor de ajuste de vuelta izquierda refleja los tres flujos componentes durante la fase 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 período no saturado del flujo opuesto.**
- **Las vueltas izquierdas realizadas al final de la fase en 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 ha diseñado una hoja de trabajo para facilitar el cálculo, esta se muestra en la figura 5.

Variables de entrada

Las primeras 11 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 del ciclo C.

Cuando los tiempos de semáforo se desconocen, se toma un valor de 90 segundos para propósitos del cálculo del factor.

- Verde efectivo g.

Es el verde efectivo para el grupo de carriles en estudio; cuando no se conoce, se estima para los flujos promedio por carril en los movimientos críticos en la intersección, mediante:

$$g_i = (C - L) (v_i / v_t) \quad (11)$$

Donde:

g_i = Verde efectivo aproximado en la fase i en segundos

C = Duración del ciclo en segundos

L = Tiempo perdido total en las fases en segundos

v_i = Valor de flujo crítico en la fase i en vl/hg/carr.

v_t = Valores de flujo críticos totales de todas las fases.

- Número de carriles N para el grupo de carriles.
- Valor de flujo total en el acceso v_a menos el valor de flujo de vuelta izquierda del carril exclusivo o del carril único del acceso.
- Valor de flujo de vuelta izquierda v_{LT} .
- Proporción de vueltas izquierdas en el grupo de carriles P_{LT} . Este se obtiene de la columna 11 de la hoja de ajuste de volúmenes. Para las vueltas izquierdas exclusivas, el valor es de 1.00.
- Número de carriles en la circulación opuesta N_o . Este no incluye los carriles exclusivos de vuelta en el acceso de la circulación opuesta.
- Valor de flujo opuesto v_o . Se considera el valor de flujo principal v_m del acceso opuesto.
- Proporción de vueltas izquierdas en el flujo opuesto P_{LTO} . Se considera la proporción de vueltas izquierda incluidas en v_a . Este valor será de 0.00 cuando las vueltas izquierdas de flujo opuesto estén en el carril exclusivo.

Secuencia del cálculo:

La hoja de trabajo enlista las ecuaciones, las cuales se utilizan para calcular el factor de ajuste de vueltas izquierdas, de los datos anotados anteriormente.

- Valor de flujo de saturación opuesto S_{op} . Cuando no hay vueltas izquierdas en el flujo opuesto el valor es simplemente $2050 \cdot N_o$.
- Valor de flujo opuesto Y_o .
- Verde no saturado g_u . Esta es la porción de fase verde no bloqueada por el despeje de la cola de vehículos en sentido opuesto.
- Factor de saturación de vuelta izquierda f_s . Este paso puede omitirse donde ha sido considerado el factor de vuelta izquierda para un grupo de carriles exclusivos de vuelta izquierda.
- Proporción de vueltas izquierda en el carril compartido P_L . Cuando se considera un carril exclusivo de vuelta izquierda este valor es 1.00.
- Verde saturado g_q . Esta es una porción de la fase en verde que está bloqueada por el despeje de la cola de vehículos en el flujo opuesto.
- Proporción de vehículos directos en el carril compartido P_T . Cuando se considera un carril de vuelta izquierda exclusiva este valor es cero.
- Verde inicial g_r . Esta es la porción de verde para un carril compartido, durante el cual los vehículos directos se mueven hasta la llegada del primer vehículo queda vuelta izquierda. Para carriles de vuelta izquierda exclusiva, este valor es cero.

- **Equivalente directo de vueltas izquierdas E_L .**
- **Factor de vuelta izquierda por carril f_m .** Este factor se aplica a un carril sencillo (exclusivo o compartido) del cual se realizan las vueltas izquierdas.
- **Factor de vuelta izquierda para los grupos de carriles f_{LT} .** Este factor de vuelta izquierda considera al grupo de carriles en estudio; si el grupo sólo tiene un carril, $f_{LT} = f_m$.

V.2.1.4 Módulo de Análisis de Capacidad

En este módulo, los resultados computacionales de los módulos previos son la base para calcular las variables de 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 cada grupo de carriles se calcula de la ecuación

$$c_i = s_i * (g/C)_i$$

La relación v/c para cada grupo de carriles se calcula directamente, al dividir los flujos ajustados por las capacidades calculadas anteriormente con las ecuaciones:

$$X_i = (v/c)_i = v_i / [s_i * (g/C)_i]$$

$$X_i = v_i C / s_i g_i = (v/s)_i / (g/C)_i$$

El parámetro de la capacidad final es la relación v/c crítica X_c para la intersección, mediante la siguiente ecuación:

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

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

Si la relación excede uno o más de los grupos de carriles estarán sobresaturados. Esto es una indicación de que el diseño, la duración del ciclo, y el plan de fases es adecuada para manejar todos los flujos críticos sin que la demanda exceda a la capacidad, asumiendo que los tiempos de luz 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:*

- **Habrará un grupo de carriles críticos para cada fase.**
- **El grupo de carriles con la relación v/s más alto de los que se mueven en una fase de semáforos es el crítico.**
- **Cuando los tiempos de semáforo se estimen o se propongan, los grupos e carriles críticos se utilizan para determinar dichos tiempos.**

2. *Cuando las fases se traslapan:*

- **Basado en el plan de fases, deben de 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 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.**

V.2.1.5 Modulo 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 todos los accesos de la intersección.

1. La demora suponiendo llegadas aleatorias.

La demora para cada grupo de carriles se encuentra mediante:

$$d = d_1 + d_2 \quad (12)$$

Donde:

$$d_1 = 0.38C \left[\frac{1 + (g/C)^2}{1 + (g/C)(X)} \right] \quad (13)$$

$$d_2 = 173 X^2 \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + (16X / c)} \right] \quad (14)$$

Donde:

d = Demora promedio por parada por vehículo para el grupo de carriles en seg/veh.

C = Duración del ciclo.

g/C = Relación de verde para cada grupo de carriles; la relación del tiempo de verde efectivo para una duración del ciclo

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

c = Capacidad para el grupo de carriles.

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 uniformes y por la demora adicional debido a las fallas 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 para valores de X hasta 1.2.

2. Factor de ajuste por sincronía.

En la mayoría de los casos, las llegadas no son aleatorias; están en grupos densos de vehículos, como resultado de la sincronía de los semáforos y otros factores. Como parte de los datos de entrada, se han definido seis tipos de llegadas 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 saturados en tales grupos. Así la demora para un acceso se calcula mediante:

$$d_A = \sum d_i v_i / \sum v_i \quad (15)$$

Donde:

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

d_i = Demora del grupo de carriles i (en el acceso A) en seg/veh.

v_i = Flujo ajustado para el grupo de carriles en veh/hr.

La demora promedio para la intersección será:

$$d_i = \sum d_A v_A / \sum v_A \quad (16)$$

Donde:

d_A = Demora promedio por vehículo para la intersección, en seg/veh.

v_A = Flujo ajustado para la intersección en veh/hr.

4. Una vez que se haya obtenido la demora promedio por vehículo para cada grupo de carriles y para cada acceso y para la intersección, se consulta la tabla 1 de niveles de servicio.

V.2.1.6 Interpretación de 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 mayor 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, esto indica que la semaforización y el diseño geométrico tienen una capacidad inadecuada para los flujos existentes o proyectados.

Las mejoras a considerar incluyen:

1. Cambios básicos en la geometría de la intersección (número y uso de carriles).
2. Aumento en el ciclo de semáforo.
3. Cambio al plan de fases del semáforo.

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

Cuando la sincronía es razonable y existen demoras inaceptables, debe analizarse la posibilidad de cambios al diseño geométrico y de semáforos 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 los niveles de servicio para obtener una comprensión completa de las operaciones existentes o proyectadas de la intersección.

V.3 Procedimiento de Aplicación

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

V.3 .1 Análisis Operacional

Se ha dividido en cinco módulos:

- 1) Módulo de datos de entrada
- 2) Módulo de ajuste de volúmenes
- 3) Módulo del valor de flujo de saturación
- 4) Módulo de análisis de capacidad
- 5) Módulo de nivel de servicio

V.3 .1.1 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 de tránsito serán pronosticados, mientras que el diseño geométrico y el de semaforización estarán basados en condiciones existentes o propuestas. La figura 6, 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 ancho de 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 del almacenamiento, la existencia de isletas y la existencia y localización de paradas de autobuses.

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

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

1° Columna: Por ciento de pendiente, siendo (+) las pendientes ascendentes y (-) las descendentes.

2° Columna: Por ciento de los vehículos pesados considerando a todo aquel vehículo 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.

3° y 4° Columna: Describen las características de estacionamiento para cada acceso, la tercera indica la presencia del estacionamiento y la cuarta indica

el número de maniobras de estacionamiento por hora que ocurran dentro de los 75 mts. de la intersección.

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

6° Columna: Se anota el factor horario de máxima demanda para cada acceso.

7° Columna: Se anota el número de peatones por hora que utiliza los cruces conflictivos con las vueltas derechas. Para el acceso rumbo al norte (NB), le corresponde el cruce Este; al acceso hacia el Sur (SB) le corresponde el cruce Oeste, etc.

8° y 9° Columna: Describen los controles para el peatón en la intersección. La octava indica la presencia de un botón detector de los peatones, en la novena se calcula el tiempo mínimo de luz verde para los peatones que cruzan la calle, mediante la siguiente ecuación:

$$G_P = \frac{7.0 + W}{4.0 - Y}$$

10° y 11° Columna: Se utiliza para establecer el tipo de llegada, la cual identifica las características de sincronía y de los grupos de carriles.

Paso 4. Registro del diseño del semáforo.

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

- 1.- Para cada fase, se muestran los movimientos permitidos con flechas. Las vuelta 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 verde y el tiempo de ámbar más el todo rojo.**
- 3.- Cada fase debe identificarse, ya sea como tiempo fijo(P) o actuado (A).**

Cuando de desconoce el diseño del semáforo, deben de decidirse 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.

V.3 .1.2 Módulo de ajuste de volúmenes

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

La figura 7, muestra la hoja de trabajo para los cálculos de 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 4º columna se anota el factor horario de máxima demanda. Los volúmenes horarios son divididos entre el PHF o sea $v = V/PHF$ para calcular los valores de flujo de máxima demanda, anotándolos en la 5º columna.

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

En la metodología 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 6º 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 7º columna.

Paso 5. Registro del número de carriles

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

Paso 6. Registro del factor de utilización de carriles.

En la 9º columna se establece el factor de utilización para cada grupo, tomado de la tabla 4.

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

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

$$P_{LT} = V_{LT} / v_g \quad (17)$$

$$P_{RT} = V_{RT} / v_g \quad (18)$$

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 5ª columna

v_g = Valor de flujo total del grupo de carriles anotado en la 7ª columna.

V.3 .1.3 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 prevaecientes. La figura 8 muestra la hoja de trabajo para este módulo.

Paso 1. Descripción de los grupos de carriles.

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

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

En la 3º columna se anotará el valor de flujo, siendo para todos los casos igual a 2050 vl/hg/carr. a menos que los datos locales indiquen lo contrario.

Paso 3. Registro

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

4º columna: Número de carriles.

5º columna: Factor de ancho de carriles f_w , obtenido de la tabla 5

6º columna: Factor de vehículos pesados f_{hv} , obtenido de la tabla 6

7º columna: Factor de pendiente f_g , obtenido de la tabla 7

8º columna: Factor de estacionamiento f_p , obtenido de la tabla 8

9º columna: Factor de bloqueo por paradas de autobuses f_{bb} , obtenido de la tabla 9

10º columna: Factor por el tipo de área f_a , obtenido de la tabla 10

11º columna: Factor de vuelta derecha f_{RT} , obtenido de la tabla 12

12º columna: Factor de vuelta izquierda f_{LT} , obtenido de la tabla 13 o calculado usando el procedimiento descrito en la metodología, utilizando figura 5 que muestra la hoja de trabajo (formato especial).

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

Debido a que el cálculo es complejo, se ha diseñado una hoja de trabajo (formato especial).

Una vez obtenidos los factores de vueltas permitidas, éstos se colocan en la columna 12 de la hoja para ajuste del 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 factores de ajuste.

TABLA 4

Factor por utilización de carril F_u .

Grupo de Carriles	No. de carriles en el Grupo	Porcentaje del tránsito que utiliza el Carril	Factor de Utilización de Carril
De frente y Compartido	1	100.0	1.00
	2	52.5	1.05
	3	36.7	1.10
Exclusivo de Vuelta Izquierda	1	100.0	1.00
	2	51.5	1.03
Exclusivo de Vuelta Derecha	1	100.0	1.00
	2	56.5	1.13

TABLA 5

Factor de ajuste por ancho de carril f_w .

Promedio de Ancho de carril w (mts)	Factor de Ancho de Carril f_w
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 6**Factor de ajuste por vehículos pesados f_{HV} .**

Porcentaje de vehículos pesados	Factor por vehículos pesados f_{HV}
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 7

Factor de ajuste por inclinación de la rasante, f_g .

Inclinación, %		
Tipo	Porcentaje	Factor de ajuste por pendiente f_g
Descendente	- 6	1.030
	- 4	1.020
	- 2	1.010
A nivel	0	1.000
Ascendente	+ 2	0.990
	+ 4	0.980
	+ 6	0.970
	+ 8	0.960
	+ 10 o más	0.950

TABLA 8

Factor de ajuste por estacionamiento, f_p .

Número de carriles en el grupo	Sin Estacionamiento	Número de maniobras de estacionamiento por hora, N_m				
		0	10	20	30	40
1	1.00	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
2	1.00	0.95	0.92	0.89	0.87	0.85
3	1.00	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89

TABLA 9**Factor de ajuste por bloqueo en paradas de autobuses, f_{bb} .**

Número 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 10**Factor de ajuste por tipo de área, f_a .**

Tipo de Zona	Factor f_a
Centro Urbano (CBD)	0.90
Otras Zonas	1.00

TABLA 11

Factor de sincronía PF para cada grupo de carriles.

Factor de ajuste por tipo de control		
Tipo de control	Intersecciones no sincronizadas	Intersecciones sincronizadas
Fijo (ningún grupo de carriles actuados)	1.00	PF utilizar tabla inferior
Semiactuado		
Algún acceso actuado	0.85	PF utilizar tabla inferior
Ningún acceso actuado	0.85	
Todos los accesos actuados	0.85	Trátese como semiactuado

Factor de ajuste por sincronía (PF)

$$PF = \frac{(1 - P) \cdot f_p}{(1 - g/C)}$$

Relación de verde g/C	Tipo de llegada					
	1	2	3	4	5	6
0.20	1.167	1.007	1.00	1.000	0.833	0.750
0.30	1.286	1.063	1.00	0.986	0.714	0.571
0.40	1.445	1.136	1.00	0.895	0.555	0.333
0.50	1.667	1.240	1.00	0.767	0.333	0.000
0.60	2.001	1.365	1.00	0.576	0.000	0.000
0.70	2.556	1.653	1.00	0.256	0.000	0.000
Asignado, f_p	1.000	0.93	1.00	1.150	1.00	1.00
Asignado, R_p	0.333	0.667	1.00	1.333	1.667	2.00
Calibración por demora incremental	8	12	16	12	8	4

Nota:

1. La tabulación esta basada en los valores asignados para a f_p y R_p.
2. P= R_p*g/C (cuando no excede a 1.00)
3. PF no excede a 1.00 para el tipo de llegadas de la 1 a la 6.

TABLA 12

Factor de ajuste para vueltas derechas f_{RT}

Caso	P_{RTA}	Peatones	Proporción de vueltas a la derecha, P_{RT}					
			Casos 4, 5, 6					Casos 1, 2, 3
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
Carril exclusivo con fase protegida (2) Carril compartido con fase permitida (5)	0.00	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	0.796	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
		≥1700	1.00	0.808	0.616	0.424	0.232	0.050
Carril exclusivo con fase permitida y protegida (3) Carril compartido con fase permitida y protegida (6)	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	0.850	0.812
		200 medio	1.00	0.955	0.910	0.864	0.819	0.774
		400 alto	1.00	0.940	0.879	0.819	0.758	0.698
		800	1.00	0.909	0.818	0.727	0.636	0.545
		1200	1.00	0.879	0.757	0.636	0.514	0.393
	≥1700	1.00	0.840	0.651	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	
≥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	0.812	
	400 alto	1.00	0.955	0.910	0.864	0.819	0.774	
	800	1.00	0.940	0.879	0.819	0.758	0.698	
	1200	1.00	0.924	0.849	0.773	0.697	0.621	
	≥1700	1.00	0.905	0.810	0.716	0.621	0.526	

TABLA 12 (continúa)

Carril exclusivo con fase permitida y protegida (3)	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	0.840
		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	0.910	0.864	0.819	0.774
		1200	1.00	0.947	0.894	0.841	0.789	0.736
		≥1700	1.00	0.938	0.875	0.813	0.750	0.688
Carril compartido con fase permitida y protegida (6)								
Carril exclusivo con fase protegida (1)	1.00	0.00	1.00	0.970	0.940	0.910	0.880	0.850
Carril compartido con fase Protegida (4)								
Un solo carril de acceso (de frente y derecha) (7)	-	0	1.00	0.873	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	0.790	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
		≥1700	1.00	0.711	0.522	0.333	0.144	0.050

TABLA 13

Factor de ajuste para vueltas izquierdas f_{LT}

Caso	Tipo de Grupo de Carriles	Factor de Vuelta Izquierda, f_V						
1	Carril exclusivo de vuelta izquierda; con fase protegida	0.95						
2	Carril exclusivo de vuelta izquierda; con fase permitida	Procedimiento especial; Hoja de trabajo						
3	Carril exclusivo de vuelta izquierda; fase protegida más permitida	0.95 ^a						
4	Carril compartido de vuelta izquierda; con fase protegida	$f_V = 1.0 / (1.0 + 0.05 P_V)$						
		Prop. de VI en carril P_V	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		Factor	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95
5	Carril compartido de vuelta izquierda; con fase permitida	Procedimiento especial; Hoja de trabajo						
6	Carril compartido de vuelta izquierda; con fase protegida más permitida	$f_V = (1.400 - V_o) / [(1.400 - V_o) + (235 + 0.435 V_o) P_V]$ $V_o \leq 1.220$ v/hr						
		$f_V = 1 / [1 + 4.525 P_V]$ $V_o \geq 1.220$ v/hr						
		Volumen en sentido Opuesto, V_o	Proporción de vueltas izquierdas P_V					
			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		
1,000	1.00	0.74	0.58	0.48	0.41	0.36		
1,200	1.00	0.55	0.38	0.29	0.24	0.20		
1,220	1.00	0.52	0.36	0.27	0.22	0.18		

a Este valor es estimado. Solución iterada según sea su caso.

V Movimiento de vuelta izquierda.

P_V Proporción de vueltas izquierdas.

V_o Volumen en sentido opuesto.

TABLA 13a

Equivalencias de Vehículos de Frente E_{L1}, para Vueltas Izquierdas

No. de Fases del Semáforo	Tipo de Carril de Vuelta Izquierda	No. de Carriles en el Sentido Opuesto	Flujo Opuesto						
			0	200	400	600	800	1000	≥1200
2	Compartido	1	1.05	2.0	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*
Mas de 2	Compartido	1	1.05	2.2	4.5	11.0*	11.0*	11.0*	11.0*
		2	1.05	2.0	3.1	4.7	11.0*	11.0*	11.0*
		≥3	1.05	2.0	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*

V.3 .1.4 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 9, que contiene la hoja de trabajo del módulo de análisis de capacidad.

Paso 1. Descripción de los grupos de carriles

La 2º columna se utiliza para anotar los grupos de carriles, obtenidos en el segundo módulo. Sin embargo, en esta hoja de trabajo, los grupos de carriles de vuelta izquierda donde existe fase de vuelta izquierda protegida y protegida son divididos, (como se indica en pasos subsecuentes) utilizando líneas separadas para mostrar la porción de la fase permitida. Inicialmente, se asume que el volumen de vuelta izquierda ocurre durante la porción de la fase protegida.

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

Este se obtiene del segundo módulo, tomando la misma consideración del punto anterior para la vuelta izquierda si fuera el caso, anotando el valor en la 3º columna.

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

Esta se obtiene del tercer módulo, anotando el valor en la 4º columna. Donde se han separado los grupos de carriles de vuelta 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 5º 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, tiene que examinarse todas las combinaciones posibles 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, encontrado 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 6º columna.

Cuando estos dos valores se desconocen. Generalmente se obtiene mediante:

$$C_{(\min)} = LX_c / [X_c - \Sigma (v/s)_{cl}] \quad (19)$$

asumiendo que $X_c=1.00$

$$X_i = \Sigma(v/s)_i * C / (C - L)$$

$$g_i = (v/s)_i * (C / X_i)$$

Donde:

C = Duración del ciclo en seg.

L = Tiempo perdido por el ciclo en seg. (generalmente de 3 a 5 seg. por fase)

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

(v/s)_i = Valores de flujo para el grupo de carriles i.

g_i = Tiempo efectivo de verde para el grupo de carriles i en seg.

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 7º 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 8º columna.

Paso 9. Cálculo de la relación v/c crítica.

Esta relación se obtiene mediante la ecuación presentada en la parte inferior de la hoja de trabajo, del módulo de análisis de capacidad

Paso 10. Consideración de los grupos de carriles con la vuelta izquierda protegida y permitida.

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 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 del movimiento de vuelta izquierda a la porción permitida de la fase. El valor de flujo máximo que puede asignarse a la porción de la fase permitida es la capacidad de la fase permitida, calculada como el mayor valor de:

$$C_{LT} = (1400 - V_o) (g / C)_{PLT} \quad \text{o} \quad (20)$$

$$C_{LT} = 2 \text{ vehículos por ciclo de semáforo.}$$

Donde:

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

V_o = Valor de flujo directo y de vuelta derecha en v/h.

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

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 alterarán y quizá, la relación v/c crítica de la intersección.

Resumen de la interpretación de los resultados de la capacidad.

- 1. Una relación v/c crítica, mayor de 1.00, indica que el semáforo y el diseño geométrico no pueden 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 combinación puede mejorarse mediante la combinación de un incremento al ciclo, cambios en el plan de fases y/o cambios básicos de la geometría.**
- 2. Cuando la relación v/c crítica es aceptable, pero las relaciones v/c críticas para los grupos de carriles varían ampliamente, deben revisarse los tiempos de luz verde, ya que existe una distribución desproporcionada de 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 los valores de flujo críticos para los grupos de carriles exceden 0.9 a 0.95, 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 o las dos 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.

V.3.1.5 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 parada, por vehículo, para cada grupo de carriles. La hoja de trabajo 6

La demora se calcula con las ecuaciones:

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

$$d_2 = 173X^2 \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (16X/c)} \right]$$

Paso 1. Descripción de los grupos de carriles.

Serán los mismos del segundo módulo, anotándolos en la 2º 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:

- En la 3º columna, la relación v/c para cada grupo de carriles, tomado del cuarto módulo.
- En la 4º columna, la relación (g/C) para cada grupo de carriles, tomado del cuarto módulo.

- En la 5º columna, la duración del ciclo C , tomado del cuarto módulo.
- En la 6º columna, el resultado del cálculo de la primera demora de acuerdo con la ecuación (d_1).

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

Esta depende de la relación v/c , X , y de la capacidad "c" para cada carril, anotándolos de la siguiente forma:

- En la 7º columna, la capacidad para cada grupo de carriles, tomado del cuarto módulo.
- En la 8º columna, el resultado del cálculo de la segunda demora de acuerdo con la ecuación (d_2).

Paso 4. Obtención de la demora y del nivel de servicio, para cada grupo de carriles.

El procedimiento para encontrarlos es el siguiente:

- Encontrar el factor de sincronía PF para cada grupo de carriles de la tabla 11, anotando el resultado en la 9º columna.
- Calcular la demora promedio por parada cada grupo de carriles, mediante demora $(d_1 + d_2) * PF$, anotando el resultado en la 10º columna.
- Encontrar el nivel de servicio para cada grupo de carriles de la tabla 1 anotando el resultado en la 11ª 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 12ª columna. El nivel de servicio se determina de la tabla1, anotando el resultado en la 13ª 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, anotando los resultados en la parte inferior de la hoja.

V.3.1.6 Interpretación de Resultados.

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 un distrito de negocios en el centro de la ciudad, no necesariamente es aceptable en un entorno de tránsito menos denso.

2. Cuando los niveles de demora de la intersección son aceptables, pero no lo son para ciertos grupos de carriles, deben examinarse el plan de fases y/o el tiempo de luz verde para proveer un manejo más eficiente de los movimientos más desventajosos.
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 en el plan de fases puede ser ineficiente. Nótese que cuando los semáforos son parte de un sistema coordinado, la duración del ciclo de las intersecciones individuales se determina de acuerdo con las consideraciones del sistema y no es práctico cualquier alteración en lugares aislados.
4. Cuando los niveles de demora y las relaciones v/c no son aceptables, la situación es la más crítica. La demora es alta, y la demanda cerca 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.

HOJA DE TRABAJO				
HOJA SUPLEMENTAL PARA VUELTA IZQUIERDA FACTOR DE AJUSTE f_{LT}				
VARIABLES DE ENTRADA	RUMBO ESTE	RUMBO OESTE	RUMBO NORTE	RUMBO SUR
Longitud del ciclo (seg)				
Verde efectivo g (seg), $g=(C-L)(v/vt)$				
Número de carriles, N				
Valor de flujo total v_s (vph)				
Valor de flujo mayor v_m (vph)				
Proporción de LT, P_{LT}				
Carriles opuestos, N_o				
Valor de flujo opuesto, v_o (vph)				
Proporción de LT opuestas, P_{LTO}				
CALCULOS	RUMBO ESTE	RUMBO OESTE	RUMBO NORTE	RUMBO SUR
$S_{OP} = \frac{2050 N_o}{1 + P_{LTO} \left[\frac{400 + v_m}{1400 - v_m} \right]}$				
$Y_o = \frac{v_o}{S_{OP}}$				
$g_o = \frac{(g - CY_o)}{(1 - Y_o)}$				
$f_s = \frac{(875 - 0.625V_o)}{(1000)}$				
$P_L = P_{LT} \left[1 + \frac{(N-1)g}{f_s g_o + 4.5} \right]$				
$g_a = g - g_o$				
$P_T = 1 - P_L$				
$g_r = 2 \frac{P_T}{P_L} \left[1 - P_T^{0.5g_a} \right]$				
$E_L = \frac{2050}{(1400 - v_o)}$				
$f_m = \frac{g_r}{g} + \frac{g_a}{g} \left[\frac{1}{1 + P_L(E_L - 1)} \right] + \frac{2}{g}(1 + P_L)$				
$f_{LT} = \frac{(f_m + N - 1)}{N}$				

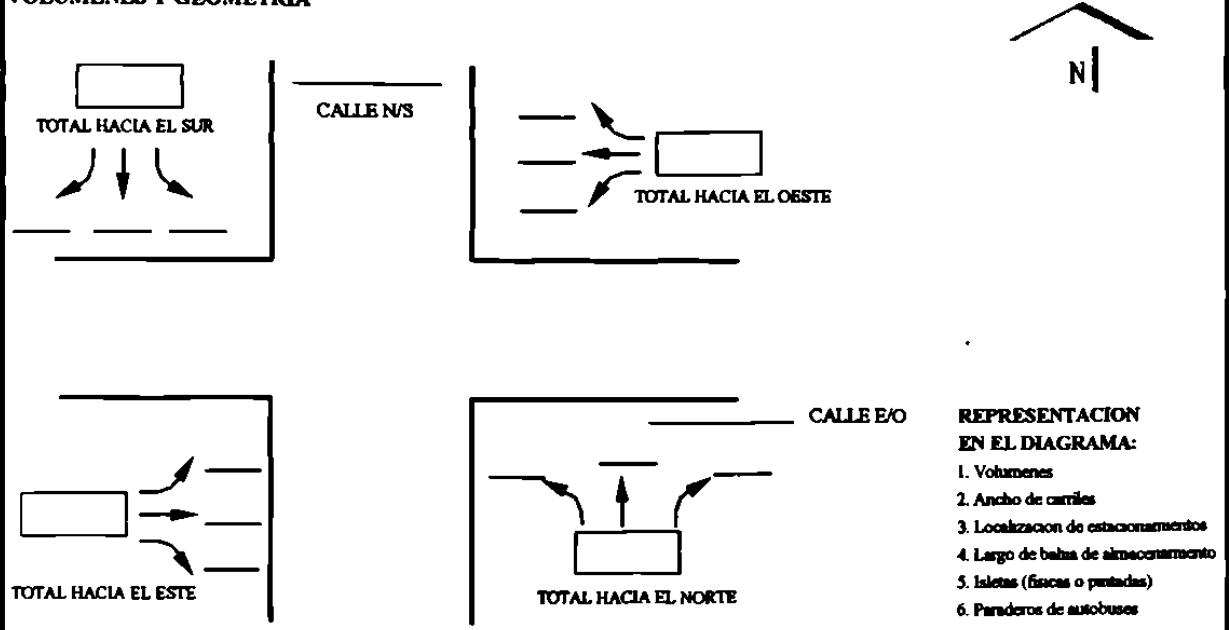
Figura 5. Formato Especial de Vueltas Izquierdas

HOJA DE TRABAJO

MODULO DE ENTRADA

Intersección : _____ Fecha : _____
 Analista: _____ Período de Tiempo: _____ Tipo de Área: _____ Centro _____ Otro _____
 Proyecto No.: _____ Ciudad/Estado : _____

VOLUMENES Y GEOMETRIA



CONDICIONES DEL TRANSITO Y EL CAMINO

Dirección	Pendl.	%Hv	Carac. de Estac.		Autobuses (Na)	FHMD	Cruce Conflie. (peat./hr)	Control para Peatones		Tipo de Llegada
			S o N	N _m				S o N	Tiempo Min.	
Hacia E										
Hacia O										
Hacia N										
Hacia S										

Pendiente: (+) ascendente y (-) descendente
 Hv Vehículos pesados
 N_m Maniobras de estacionamiento/hr
 Na Paradas de autobuses
 FHMD: Factor horario de max. demanda
 Cruce Conflie: Conflictos peatonales con las vueltas derechas/hr
 Tiempo Min.: Verde mínimo para el cruce peatonal
 Tipo de Llegada: Tipos del 1 al 6.

FASES

DIAGRAMAS							
Tiempos	V	V -	V	V =	V =	V =	V =
	A + R -	A + R	A + R -	A + R =	A + R =	A + R	A + R
Fijo o Actuado							
Vueltas protegidas	—————▶		Vueltas permitidas	—————▶		Peatones	-----
							Longitud del ciclo ___ seg.

Figura 6. Módulo de Entrada

HOJA DE TRABAJO										
MODULO DE AJUSTE DE VOLUMENES										
① Direcc.	② Mov.	③ Mov. Volumen (vph)	④ Factor horario de máxima demanda	⑤ Valor de Flujo (vph) ③ \times ④	⑥ Grupos de carriles	⑦ Valor de flujo para los grupo de carriles v. (vph)	⑧ Numero de carriles N	⑨ Factor de utilización de carriles U tabla 4	⑩ Valor de flujo ajustado para cada grupo de carril v (vph) ⑦ por ⑧	⑪ Porcentajes de VI o VD P _{VI} O P _{VD}
RUMBO AL ESTE	VI									
	DF									
	VD									
RUMBO AL OESTE	VI									
	DF									
	VD									
RUMBO AL NORTE	VI									
	DF									
	VD									
RUMBO AL SUR	VI									
	DF									
	VD									

Figura 7. Módulo de Ajuste de Volúmenes

HOJA DE TRABAJO

MODULO DE FLUJO DE SATURACION

GRUPOS DE CARRILES				FACTORES DE AJUSTE								
1 Direcc.	2 Movimientos de lo grupos de carriles	3 Flujo de saturación ideal (v/hg/carr.)	4 No. de carriles N	5 Ancho de carril	6 Vehículos Pesados	7 Pendiente	8 Estacionam.	9 Bloqueo por parada de autobuses	10 Tipo de área	11 Vuelta derecha	12 Vuelta izquierda	13 Ajuste del valor de saturación s (vphg)
				f_w tabla 5	f_{sv} tabla 6	f_g tabla 7	f_p tabla 8	f_{bb} tabla 9	f_a tabla 10	f_{rT} tabla 12	f_{lT} tabla 13	
RUMBO AL ESTE												
RUMBO AL OESTE												
RUMBO AL NORTE												
RUMBO AL SUR												

Figura 8. Módulo de Flujo de Saturación

HOJA DE TRABAJO								
MODULO DE ANALISIS DE CAPACIDAD								
GRUPOS DE CARRILES		3	4	5	6	7	8	9
1 Direcc.	2 Movimientos de lo grupos de carriles	Valor de flujo ajustado para cada grupo de carril v (vph)	Ajuste del valor de saturación s (vphg)	Relación de flujo v/s entre 3 y 4	Relación de verde g/C	Capacidad para grupo de carriles c (vph) 4 por 6	Relación v/c X 3 entre 7	Grupo de carriles críticos ?
RUMBO AL ESTE								
RUMBO AL OESTE								
RUMBO AL NORTE								
RUMBO AL SUR								

Longitud del Ciclo, _____ seg. $(v/s)_c =$ _____ Tiempo perdido por ciclo, L = _____ seg.
 $X_c = \sum (v/s) * [C / (C - L)]$ $C_{sat} = L * X_c / [X_c - \sum (v/s)_c]$
 $g = (v/s) * (C / X_c)$

Figura 9. Módulo de Análisis de Capacidad

HOJA DE TRABAJO												
MODULO DE NIVEL DE SERVICIO												
GRUPOS DE CARRILES		Primera Demora				Segunda Demora				Demora Total y N.S.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Direcc.	Movimientos de lo grupos de carriles	Relación v/c X	Relación de verde g/C	Longitud del ciclo (C) seg	Demora d1 (seg/veh)	Capacidad de grupos de carriles c (vph)	Demora d2 (seg/veh)	Factor de ajuste por sincronía PF Tabla 11	Demora por grupos de carriles (seg/veh) (6+8) x 9	N.S Grupo de Carriles Tabla 1	Aprox. Demora de conjunto (seg/veh)	Aprox. N.S. Tabla 1
RUMBO AL ESTE												
RUMBO AL OESTE												
RUMBO AL NORTE												
RUMBO AL SUR												

Demora en la Intersección: _____ seg/veh. N.S. en la Intersección: _____

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

$$d_2 = 173 X^2 [(X-1) + \{ (X-1)^2 + (16 X / c) \}^{1/2}]$$

$$d_s = \text{sumatoria } d_i^* v_i / \text{sumatoria } v_i$$

Figura 10. Módulo de Nivel de Servicio.

VI ESTADISTICA APLICADA A LA INGENIERIA DE TRANSITO

VI.1 La Investigación

La investigación tiene como objetivo la búsqueda del conocimiento y el entendimiento. Trata de descifrar el porqué de las cosas y las consecuencias de un conjunto particular de circunstancias.

La investigación está compuesta, esencialmente, de dos elementos: la observación y el razonamiento.

- La observación es el medio por el cual se obtiene el conocimiento de los hechos y se realiza a través de percepciones de los sentidos.
- El razonamiento, la lleva a determinar las posibles causas de los hechos, relacionándolos con los conocimientos ya existentes.

En la investigación se analizan situaciones que pueden ser naturales; es decir que se registran tal y como se producen o bien causadas intencionalmente. A estas últimas corresponden los experimentos controlados.

Los resultados de una investigación, basada principalmente en un experimento, o una reproducción de experimentos bien realizados, permitirá inducir de manera adecuada, dichos resultados a situaciones más generales.

La razón de hablar de investigación y estadística unidas, se puede vislumbrar desde el momento de imaginar el proceso de una investigación. La investigación requiere el uso de ciertas herramientas que le son proporcionadas por la estadística.

La estadística puede ofrecer a la investigación en planeación la manera de analizar o interpretar sus resultados. Comprende básicamente dos funciones.

1. Es la descripción o resumen de la información, de tal modo que pueda emplearse mejor.
2. Es la de inducción, consistente en formular generalizaciones a una población determinada, sobre una muestra extraída de la misma.

VI.2 La Estadística y el Diseño Experimental.

La estadística interviene en el diseño experimental porque, aún en los experimentos mejor planeados, no es posible controlar todos los factores y porque se desea hacer conclusiones basadas en observaciones de los datos tomados como muestra.

Para que esas conclusiones inciertas, sean de uso práctico, es preciso indicar el grado de probabilidad, indicando así, la confianza que el investigador deberá tener en dichas conclusiones. Para certificar el grado de probabilidad será posible, los experimentos deberán diseñarse de acuerdo con los principios de la estadística.

VI.3 Consideraciones Básicas en el Diseño de Experimentos

La experimentación es un proceso que modifica, con fines de estudio, los hechos, en situaciones que naturalmente no se presentan. La experimentación se usa para someter a prueba hipótesis y establecer nuevas relaciones entre variables. Debe considerarse, sin embargo, que ninguna hipótesis que establezca una proposición general, puede ser demostrada como absolutamente cierta, únicamente son posibles algunas inferencias.

La experimentación frecuentemente proporciona conclusiones erróneas, que pueden ser resultado de los siguientes hechos:

- Una interpretación defectuosa
- Unas suposiciones iniciales imperfectas
- Un experimento pobremente diseñado, o mal ejecutado.

El diseño experimental es el plan usado en la experimentación. Implica la asignación de tratamientos a las unidades experimentales y un amplio entendimiento de los análisis por verificar. Se debe asegurar, de antemano, que los datos se obtendrán de modo que permitan un análisis objetivo que conduzca a deducciones válidas, con respecto al problema establecido, lo cual implica que, quien formule el diseño entienda claramente los objetivos de la investigación propuesta.

Es importante que el diseño, plan o programa de prueba, sea tan simple como sea posible. Además, debe hacerse todo esfuerzo para ahorrar tiempo, dinero, personal y material experimental, lo que implica, que el diseño de experimentos sea una materia que requiere tanto de la metodología estadística, como del análisis económico.

VI.4 Nociones del Muestreo

Debido a que en nuestra vida diaria nos encontramos con el uso de muestras, es importante tener conocimiento de la manera de realizar una investigación por muestreo y las ventajas sobre una investigación total de la población.

La inspección o medida de una cierta característica de una población, se puede realizar por medio del estudio de todos sus elementos y entonces se realiza un censo o por medio del análisis de una parte de ellos y entonces se le llama muestreo.

Ventajas de los métodos de muestreo.

1. **Costo reducido:** Como se realiza el estudio a sólo una parte de la población, obviamente el costo será menor que si se estudia el total de los elementos de ésta.
2. **Mayor rapidez:** Los datos obtenidos pueden ser recolectados y concentrados más rápidamente por las mismas razones que el inciso anterior.
3. **Mayor amplitud:** Cuando se requiere de personal y equipo especializado para la obtención de los datos, el censo no se puede realizar. Por otra parte si se tiene un número reducido de elementos, estos se analizan con mayor detalle.

Pasos principales para realizar una investigación por muestreo

Al realizar una investigación por muestreo, es importante que ésta se lleve a cabo con cierta metodología. Los pasos principales para una investigación de este tipo son:

- a) **Establecimiento de los objetivos de la investigación.**- Debe tenerse una idea concisa acerca de los fines que se persiguen al efectuar el estudio.
- b) **Definición de la población que va a ser muestreada.**- Especificar las características que deben considerarse para incluir un elemento dentro de la muestra.

- c) **Determinación de los datos que van a ser recabados.-** Establecer la cantidad de los datos que van a reclutarse para facilitar su manejo y evitar una recolección exagerada de datos.
- d) **Métodos de medida.-** Deben definirse los parámetros a considerarse, dentro de las normas establecidas.
- e) **Elección de la unidad de muestreo.-** La población debe dividirse en partes que reciben el nombre de unidades de muestreo.
- f) **Selección de la muestra.-** Los procedimientos para la selección de la muestra involucran la determinación de su tamaño, en función de la precisión deseada y del costo.
- g) **Organización del trabajo.-** Debe darse instrucción a las personas que van a efectuar el muestreo, así como contar con supervisión. Es conveniente elaborar un instructivo, para el caso de duda.
- h) **Análisis de resultados.-** Después de ser obtenidos los datos, es necesario analizarlos, para efectuar una estimación de la población investigada.

En la actualidad, la mayor parte de las encuestas estadísticas, son muestreos, tanto si se hacen para la toma de decisiones, como para el desarrollo de teorías.

Hay otras razones importantes para la adopción del muestreo. En primer lugar, las poblaciones que se investigan pueden ser infinitas, y en tal caso, el muestreo es el único procedimiento posible. Además, aún en casos de poblaciones finitas, es frecuente que el muestreo sea el único procedimiento práctico; esto es porque la población es finita puede constar de decenas de millares o aún millones de elementos y su enumeración completa es prácticamente imposible y además los costos serían excesivos.

Si la medición de la población requiere de la destrucción de algunos elementos que hay en ella, o los datos de la población son inaccesibles, en la práctica se debe tratar con cualquier parte de los datos que se puedan obtener.

Por último, aunque financiera, práctica y físicamente fuese posible observar toda la población, el muestreo puede ser aún el procedimiento más eficiente. Los resultados obtenidos por el estudio de una muestra pueden ser iguales o aún más precisos que los hallados con el estudio de la población total.

VI.5 Base Teórica para el Muestreo.

En el muestreo se encuentra un poderoso instrumento para predecir el comportamiento de los fenómenos masivos. La clase de inferencia hecha tiene su fundamento en las características permanentes de los datos de masa, que pueden resumirse en la frase "unidad en la diversidad".

Por otra parte, las unidades elementales de cualquier población son efectuadas por multiplicidad de fuerzas. Además, este vasto complejo de fuerzas, aunque relacionadas, actúa sobre los elementos individuales, con un considerable grado de independencia. Estas causas explican las variaciones de una unidad a otra, en la población.

Aunque la diversidad es una cualidad universal de las cosas, no hay virtualmente ninguna población estadística real cuyos elementos varíen entre sí sin límite. Los hechos de cualquier población tienen propiedades características y que las variaciones en sus elementos son claramente limitadas hacen posible que se escoja una muestra relativamente pequeña, y al azar, que puede reflejar bastante bien las características de la población.

Las fuerzas relacionadas, pero independientes, que producen variabilidad en la población, están a menudo tan equilibradas y concentradas, que tienden a generar iguales valores arriba y debajo de cierto valor central alrededor del cual tienden a agruparse la mayor parte de los valores. Así, las partidas

individuales de una población tienden a variar entre sí y al mismo tiempo a adaptarse a ciertas normas. Por ello, tenemos diversidad y uniformidad en los datos.

Debido a la uniformidad estadística, si se escoge una muestra grande, al azar, las características de esta muestra diferirán muy poco de las de la población. Por la diversidad, si se toman muestra al azar, aunque muy similares en muchos aspectos, las muestras nunca coincidirán completamente unas con otras.

La uniformidad o regularidad es la tendencia de las características mensurables a agruparse alrededor de cierto valor llamado "centro de gravedad". La medida de tal tendencia central, como puede recordarse, es un promedio del que divergen las observaciones en cierta forma definida.

La razón básica de que cantidades mayores de datos tienen a exhibir menos fluctuación es una tendencia de las unidades pequeñas de datos a "compensarse unas con otras".

El incremento de la estabilidad de un promedio, al aumentar el tamaño de la muestra, hace posible calcular de qué magnitud ha de ser una muestra, para que su promedio infunda un grado deseable de estabilidad (una desviación estándar suficientemente baja).

Para hacer inferencias, en la práctica, generalmente sólo se toma una muestra, ya sea grande o pequeña, el grado de confianza de las conclusiones depende del grado de aleatoriedad con el que se escogió la muestra.

Esto es porque este conocimiento sólo puede ser obtenido aplicando las leyes matemáticas de la probabilidad, las que a su vez sólo pueden ser aplicadas a muestras obtenidas al azar.

VI.6 Distribución Muestral

Si se consideran todas las muestras posibles de tamaño "n" de una población de tamaño "Np", y que para cada una de ellas se calcula su media aritmética, dicho valor variará de muestra a muestra, ya que depende de los valores de cada muestra, esto indica que el promedio es una variable aleatoria, como (μ_d , σ_x , var.).

A todo elemento que es función de los valores de los datos que se tienen en una muestra, se le llama "Estadístico"; todo estadístico es una variable aleatoria, cuya distribución se llama "Distribución muestral", denominándose según el estadístico en estudio.

VI.7 Distribución Muestral de la Media (Promedio Aritmético).

Considerando que el muestreo se puede desarrollar con remplazo o sin remplazo y si se extraen muestras de tamaño "n" de una población finita de tamaño $Np > n$, si la media y la distribución estándar de la distribución muestral del promedio se representan por μ_x y σ_x y para los valores poblacionales como μ y σ .

Se puede demostrar que cuando el muestreo es sin remplazo y la población es finita, los parámetros μ_x y σ_x toman los siguientes valores:

$$\mu_x = \mu \quad \text{y} \quad \sigma_x = \frac{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}{\frac{\sqrt{Np-n}}{\sqrt{Np-1}}} \quad (21)$$

Si la población es infinita o con el muestreo con remplazo, los parámetros toman los siguientes valores:

$$\mu_x = \mu \quad \text{y} \quad \sigma_x = \frac{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}{\frac{\sqrt{Np-n}}{\sqrt{Np-1}}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (22)$$

Esta distribución muestral es válida cuando el tamaño de muestra es grande, aceptándose para $n \geq 30$, y se puede demostrar aplicando el Teorema del Limite Central (T.L.C.) que es el siguiente:

1. El teorema del limite central establece que en condiciones bastante generales, las sumas y medidas de observaciones aleatorias extraídas de una población tienden a poseer, aproximadamente, una distribución acampanada cuando se repite el muestreo muchas veces.
2. El teorema del limite central dice que si se seleccionan al azar muestras de "n" observaciones de una población con media finita μ y desviación estándar σ , entonces, cuando "n" es grande, la media muestral μ_x tiene una distribución aproximadamente normal, con la media igual a μ y la desviación estándar $\sigma_x = \sigma / \sqrt{n}$. La aproximación se vuelve más precisa a medida que "n" aumenta.

El teorema de límite central nos dice que la media y la desviación estándar de la distribución de las medias muestrales están ciertamente relacionadas con la media y la desviación estándar de la población de donde se obtiene la muestra, tanto como el tamaño "n" de la muestra. Las dos distribuciones tienen la misma media y la desviación estándar de la distribución de las medias muestrales es igual a la desviación estándar de la población, dividida entre la raíz cuadrada de "n".

Por consiguiente, la dispersión de la distribución de las medias muestrales es considerablemente menor por un factor $(1/\sqrt{n})$ que la dispersión de la distribución de la población, pero más importante aún, el teorema del límite central nos dice que la distribución de probabilidad de la media muestral es aproximadamente normal, para muestras de tamaño moderado o grande.

La importancia del teorema del límite central es doble.

- Primero, nos explica el porqué algunas mediciones tienden a poseer, aproximadamente, una distribución normal.
- La segunda contribución del teorema del límite central, y la más importante, es que en la inferencia estadística, muchos estimadores o estadísticos que se usan para hacer inferencias acerca de los parámetros de una población, son sumas o promedios de las observaciones muestrales.

Cuando esto es cierto y cuando el tamaño de la muestra "n" es suficientemente grande, podemos esperar, de acuerdo con el teorema del límite central que el estimador o estadístico posea una distribución normal, cuando se repite el muestreo muchas veces.

VII ESTUDIOS DE TRÁNSITO REALIZADOS

VII.1 Importancia de los Estudios de Tránsito

El tránsito es un factor básico en la planeación de las intersecciones semaforizadas, puesto que, en definitiva, uno de los objetos esenciales de éstas es servir lo más eficazmente posible a la circulación. Por ello, en todos los trabajos de planeación de infraestructura, la ingeniería de tránsito ha de tener una participación importante en colaboración con otras técnicas.

La primera condición para abordar técnicamente un problema es su conocimiento objetivo. No es posible actuar solamente sobre hipótesis, aunque parezcan evidentes, puesto que los datos objetivos son la base de todo trabajo científico o ingenieril, aunque no puedan utilizarse sin ponderación.

Los datos pueden ser recogidos por cualquiera, pero precisamente uno de los éxitos de la ingeniería de tránsito ha sido la puesta a punto de procedimientos muy bien calibrados para que con un costo mínimo sea posible obtener precisamente aquellos datos básicos que permiten tomar las medidas adecuadas.

Hasta tal punto se ha desarrollado la técnica de la toma de datos, que muchas veces se confunde la misión del ingeniero con la simple realización de unos aforos o con la preparación de una encuesta, olvidando que dentro de sus funciones esto sólo representa un primer paso para conseguir los objetivos esenciales, que son: el análisis crítico de las situaciones existentes y la aplicación de los resultados de los estudios a soluciones concretas de los problemas de planeación u ordenación que se hayan planteado.

Los estudios más frecuentes están dirigidos básicamente a los problemas que existen en el tránsito. De aquí la importancia que ocupan estos estudios; los cuales, en las grandes ciudades, son muy complicados pero se obtienen resultados satisfactorios para resolver problemas del tránsito.

No importa qué tan simple parezca el problema, el éxito de las mejoras al tránsito se basa en hechos confiables.

La planeación de los estudios de tránsito para recopilar los hechos, incluye la selección y capacitación del personal, la adquisición de equipos, la preparación de formas de campo y el desarrollo de programas para la obtención de los datos.

Otras veces, la organización de un estudio, requiere la concentración de más personal, y el diseño de programas detallados.

El producto final, ya sea un simple aforo de tránsito o una investigación más amplia, debe presentarse de tal forma que sea de fácil comprensión y aplicación, para su uso actual y futuro.

VII.2 Inventarios para Estudios de Tránsito

Existen varios tipos y formas de inventarios para los diferentes estudios en ingeniería de tránsito.

VII.2.1 Inventario Físico – Geométrico

Este estudio comprende el levantamiento geométrico (ancho de calzada, ancho de faja separadora central, configuración de intersecciones, etc.) de la zona en estudio.

Este levantamiento geométrico será complementado con la ubicación en el plano, de los elementos físicos que se encuentran en la zona. Teniéndose como objetivo tomar en consideración estos elementos cuando sea necesario realizar modificaciones geométricas, además de que es información básica para determinar el estado de operación del tránsito en que se encuentra la infraestructura vial.

VII.2.2 Inventario de Señalamiento Horizontal y Vertical.

Consistirá en la ubicación y el dimensionamiento del señalamiento (informativo, restrictivo y preventivo) que exista en la zona donde se efectúa el inventario físico-geométrico, teniéndose por objeto conocer el estado del señalamiento que guarda la zona en estudio además, se analizará si cumple con las especificaciones adecuadas para proporcionar al usuario comodidad y rapidez de decisión; se hará, además, un análisis del estado físico del señalamiento horizontal, tal como: rayas continuas, rayas discontinuas, pasos peatonales a nivel, flechas de movimientos direccionales, etc.

<i>Señalamiento Vertical</i>	<i>Señalamiento Horizontal</i>
<ul style="list-style-type: none">• Ubicación de las señales• Tipos de soporte de la señal• Posición de la señal en la intersección• Dimensiones de la señal• Tipo de señal	<ul style="list-style-type: none">• Línea divisoria de carriles• Línea de parada• Flechas de vuelta izquierda o en retornos• Boyas de división de sentidos de circulación• Pintura de guarnición

VIII DETERMINACION DEL FACTOR DE AJUSTE POR VUELTAS IZQUIERDAS PROTEGIDAS EN CARRIL EXCLUSIVO EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

VIII.1 Metodología y Condiciones para el Estudio de Vueltas Izquierdas Protegidas, en Carril Exclusivo

Para la toma de datos fue necesario establecer una metodología y las condiciones ideales para cada intersección.

El factor de ajuste utilizado en los análisis de capacidad es de 0.95. Esta cifra debe ajustarse a las distintas condiciones prevalecientes en el tránsito, como son: la anchura de carriles, los giros a la izquierda, los giros a la derecha, los vehículos pesados, la inclinación de la rasante, el estacionamiento, los bloqueos por los autobuses, el tipo de zona, etc.

Para dicho estudio, fue necesario utilizar personal para la toma de datos de campo; se formaron brigadas de dos personas, una en función de cronometrador y la otra como registradora de los tiempos.

Procedimiento en el campo

- Selección de la intersección semaforizada.
- Elección de la vuelta izquierda con fase protegida y en carril exclusivo.
- Cumplimiento del formato de campo para vueltas izquierdas, ver figura 31.
- Elección de un sitio para la observación y la toma de datos.
- Selección de un punto de referencia para la toma de datos, este punto puede ser la línea de parada, el cruce peatonal o cualquier otro punto desde el cual se observe con claridad. Estos puntos se determinan en la intersección, en el momento de la toma de datos, ya que no se puede generalizar en el establecimiento de una referencia fija, debido a que las condiciones de cada intersección son variables.
- La toma de datos se deberá realizar para cada ciclo semafórico de la intersección.

Obligaciones del registrador de tiempos:

1. Percibir cuál es el último vehículo detenido en la fila cuando el semáforo cambia y emite la luz verde.
2. Descripción de este último vehículo al cronometrador.
3. Anotar en el formato la presencia de vehículos pesados, movimientos de frente y de retorno que ocurren en el carril exclusivo para vuelta izquierda.
4. Anotar el tiempo que dicta el cronometrador.
5. Anotar todos aquellos sucesos especiales que puedan influir en las vueltas izquierdas.

Obligaciones del cronometrador:

1. Poner en marcha el cronómetro, al comienzo de la luz verde del semáforo.
2. Anunciar cada vehículo (por numeración) según cruce éste la línea de referencia con su eje trasero.
3. Anunciar el tiempo del cuarto y del último vehículo de la fila.

El periodo definido como flujo de saturación para vueltas izquierdas comienza cuando el eje trasero del cuarto vehículo en la fila cruza la línea de referencia, y termina cuando el eje trasero del último vehículo que estaba en la fila al comienzo de la luz verde cruza el mismo punto de referencia. Esto se hace para cada ciclo de la intersección.

Condiciones ideales establecidas

1. Calcular el valor de flujo de saturación de campo (S) para vuelta izquierda en carril exclusivo con fase protegida. El carril exclusivo se tomará como condición ideal de 10 a 12 pies de ancho (3.05 a 3.65 mts.), puesto que son las condiciones que imperan en nuestro medio.
2. Suponer el valor de flujo de saturación ideal (S_0) que según estudios anteriores es de 2050vl/hr/carr.

3. Hacer las siguientes consideraciones para cada intersección en estudio:

- f_w = Factor de ajuste por ancho de carril de 10 a 12 pies (3.05 a 3.65m), por lo tanto $f_w=1$.
- f_{hv} = Factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados. En nuestro caso se tomarán solamente muestras de vehículos ligeros, por lo tanto $f_{hv}=1$.
- f_g = Factor de ajuste por pendiente del acceso. Nuestras intersecciones seleccionadas no requieren ser ajustadas, por lo tanto $f_g=1$.
- f_p = Factor de ajuste por la existencia de un carril de estacionamiento. No aplica en nuestro caso ya que se está analizando la parte interna la calzada. Por lo tanto $f_p=1$.
- f_{bb} = Factor de ajuste por el efecto de las paradas de los autobuses dentro de la intersección. No aplica en nuestro caso ya que se está analizando la parte interna la calzada. Por lo tanto $f_{bb}=1$.
- f_a = Factor de ajuste por el tipo de área. En nuestro caso, todas las intersecciones seleccionadas están fuera del centro de la ciudad. Por lo tanto $f_a=1$.
- f_{RT} = Factor de ajuste por vuelta derecha, se tomarán indiferentes las vueltas que se realicen en la intersección, por lo tanto $f_{RT}=1$.
- f_{LT} = Factor de ajuste por vueltas izquierdas. **Valor en estudio.**
- N = Numero de carriles en este caso $N=1$.

Flujo de saturación en campo

Este comienza cuando el eje trasero del cuarto vehículo en la fila cruza la línea de parada o una referencia preestablecida por nosotros, y termina cuando el último eje del último vehículo, que estaba en la fila al comienzo de la luz verde, cruza el mismo punto. Estas toma de datos se realizan en cada ciclo.

$$S = \frac{3600}{(T_u - T_4) / (n_u - 4)}$$

Donde:

S = Flujo de saturación en campo.

T_u = Tiempo del último vehículo en seg.

T₄ = Tiempo del cuarto vehículo en seg.

n_u = Numero del último vehículo.

Así de la fórmula del valor de flujo de saturación

$$S = S_0 * N * f_w * f_{hv} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{RT} * f_{LT}$$

Despejando el factor f_{LT} tenemos:

$$f_{LT} = \frac{S_0 * f_w * f_{hv} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{RT}}{S} - \frac{S_0}{S}$$

La fórmula anterior es de mucha utilidad, pues nos registra las demoras ocasionadas por los primeros automóviles que ocasionan las colas cuando el tiempo de luz verde. Pues la fórmula empieza a contabilizar los movimientos de flujo estable que a partir del cuarto vehículo, que se supone tiene velocidad constante.

VIII.2 Muestreo y Proceso de la Información

VIII.2.1 Cálculo de la Muestra

La exactitud de una muestra depende de dos cosas:

- Una de ellas es el azar. Mientras menor sea el número de observaciones, mayor es la probabilidad de que los valores recopilados tengan un promedio diferente del promedio real. La cantidad probable de error en el promedio de cualquier muestra, debido a la probabilidad, puede ser estimado.
- El otro factor que afecta a la exactitud de la muestra es el método de muestreo. La muestra sólo representa la población de la cual fue sacada.

Ya que estos casos involucran esencialmente situaciones de “sí” o “no”, puede usarse la siguiente ecuación para el cálculo el tamaño mínimo de la muestra para cada estudio de observación:

$$N = \frac{pqK^2}{E^2}$$

Donde:

N = Tamaño mínimo de la muestra

p = Proporción de conductores que dan vuelta a la izquierda

q = Proporción de conductores que no dan vuelta a la izquierda

K = Constante que corresponde al nivel de confiabilidad deseado

E = Error permitido en la proporción estimada de observación

Se nos recomienda utilizar un valor de 0.5 para p y q , debido a que a medida que cualquiera de estas variables disminuye o aumenta de 0.5, el valor de N disminuye pues la suma de p y q es siempre igual a 1.0.

El valor de K depende del nivel de confiabilidad deseado. En este caso se recomienda utilizar un valor de $K = 1.96$, que refiere un nivel de confiabilidad de 95.0% y representa alrededor de 1 posibilidad en 20 de que las vueltas izquierdas no se realicen.

El valor del error permitido E , al estimar la proporción de observaciones depende de la precisión que se requiera para la estimación. El error permitido puede fluctuar entre ± 0.01 y ± 0.10 (1 al 10%).

$$N = \frac{p q K^2}{E^2} = \frac{(0.5)(0.5)(1.96)^2}{(0.05)^2} = 380 \text{muestras}$$

Las 380 muestras, que representan una confiabilidad del 95% y un margen de error de $\pm 5\%$, no constituyen una cantidad definitiva del número de muestras; más bien son una aproximación, para tener una idea en la recolección de datos de campo. En este estudio, se tomaron 522 muestras de campo, lo que significa que el margen de confiabilidad aumentó; sin embargo, por razones de la metodología fue necesario hacer una depuración de los datos.

Los datos que cumplían con las exigencias establecidas fueron 207 y son los que se utilizaron para el análisis.

VIII.2.2 Proceso de la Información de Campo

Como se mencionó anteriormente, el periodo definido como flujo de saturación para vuelta izquierda comienza cuando el eje trasero del cuarto vehículo cruza la línea de referencia y termina cuando el eje trasero del último vehículo que estaba en la cola pasa la línea de referencia establecida.

$$S = \frac{3600}{(T_u - T_4) / (n_u - 4)}$$

Donde:

S = Flujo de saturación en campo.

T_u = Tiempo del ultimo vehículo en seg.

T₄ = Tiempo del cuarto vehículo en seg.

n_u = Numero del último vehículo.

Para el proceso de la información se utilizó el software MS OFFICE 97 del cual el programa Excel aligeró la carga de trabajo por la rapidez en que se procesa la información y la disminución de cualquier tipo de errores.

MOVIMIENTOS DE VUELTA IZQUIERDA

(SITUACION ACTUAL)

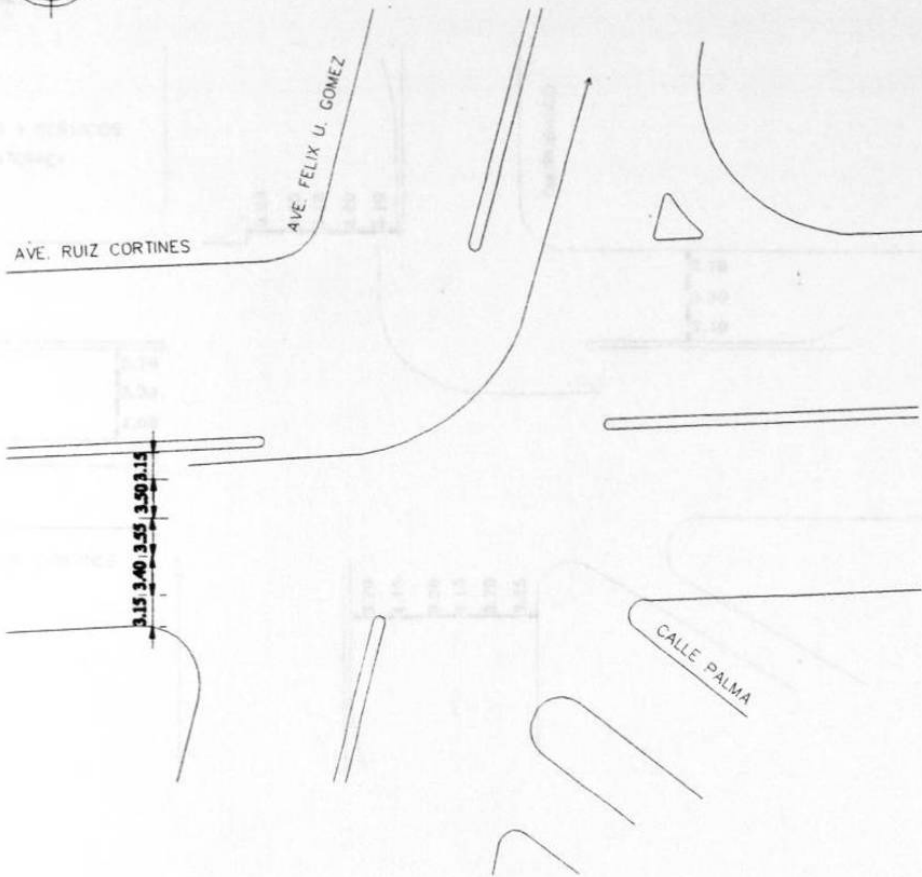


Figura 10. Levantamiento Geométrico.

Figura 11. Levantamiento Geométrico:

Av. Ruiz Cortines con Av. Felix U. Gómez, Monterrey N.L.

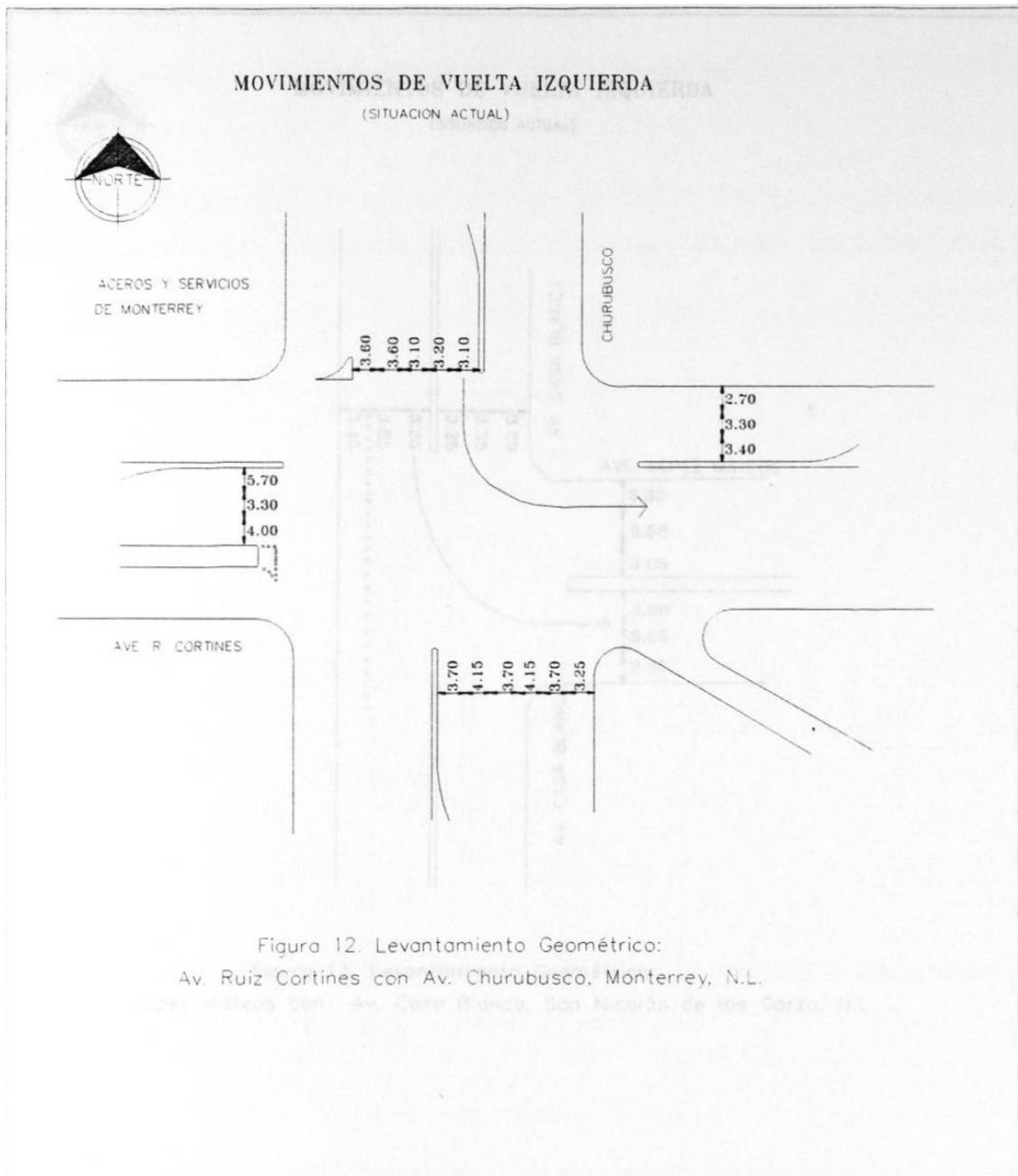


Figura 12. Levantamiento Geométrico:
Av. Ruiz Cortines con Av. Churubusco, Monterrey, N.L.



MOVIMIENTOS DE VUELTA IZQUIERDA

(SITUACION ACTUAL)

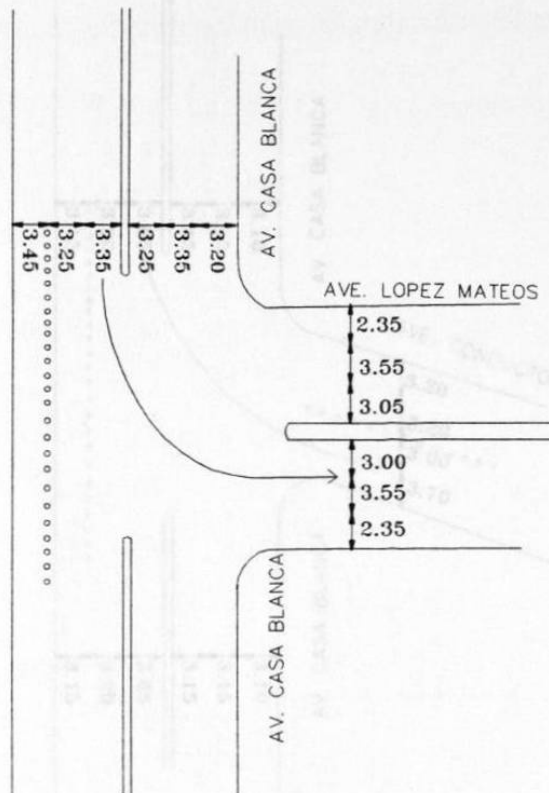


Figura 13. Levantamiento Geométrico:

Av. A. López Mateos con Av. Casa Blanca, San Nicolás de los Garza, N.L.

MOVIMIENTOS DE VUELTA IZQUIERDA

MOVIMIENTOS DE VUELTA IZQUIERDA
(SITUACION ACTUAL)

(SITUACION ACTUAL)

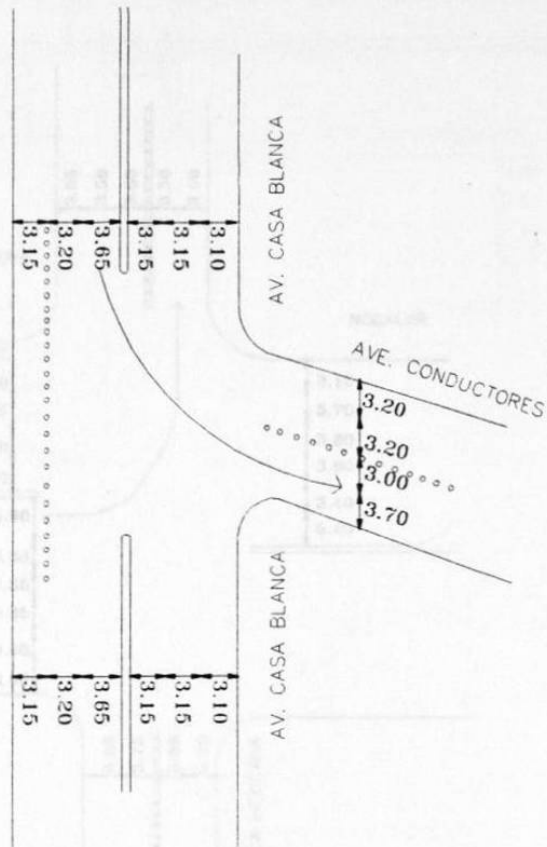
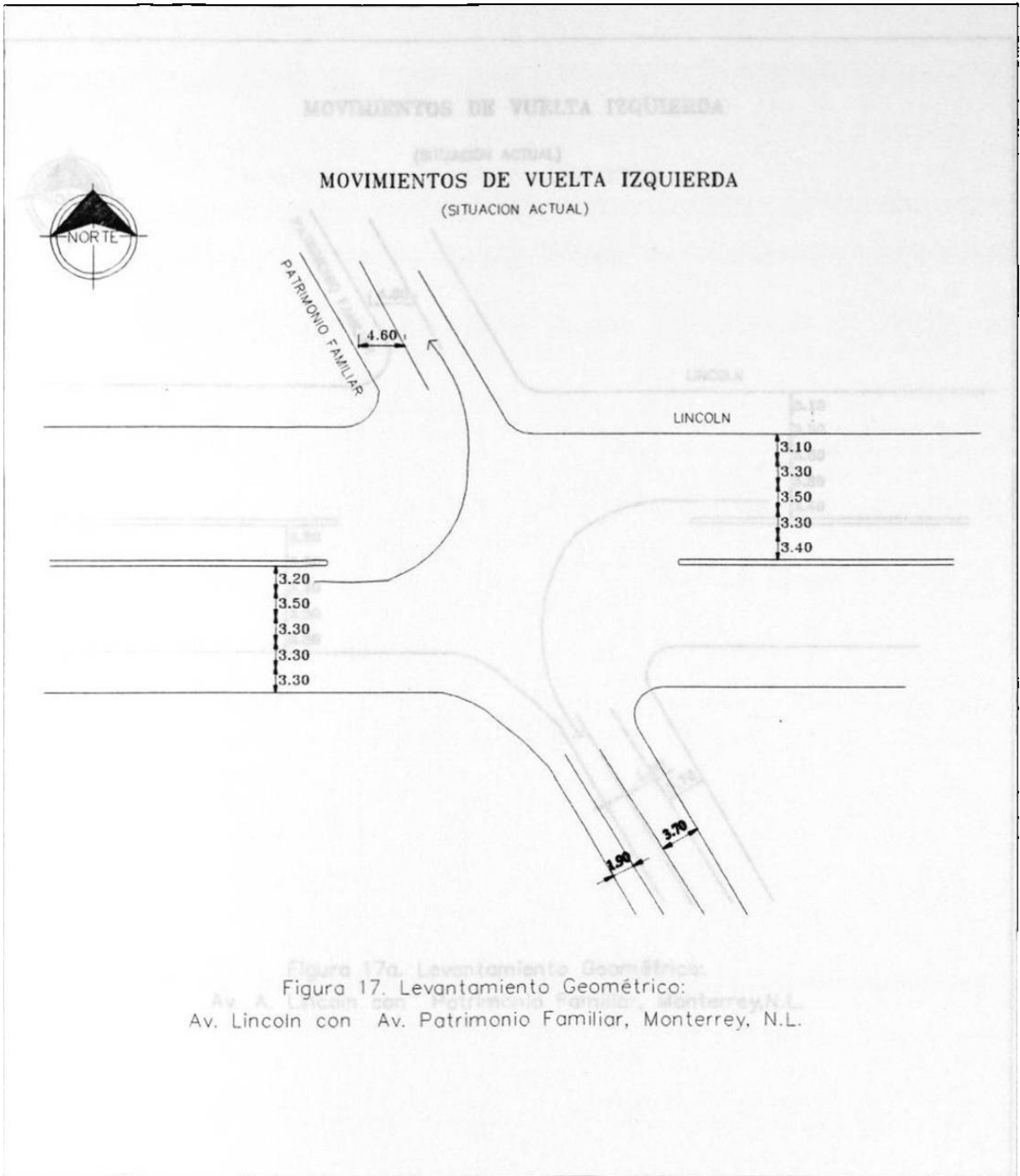


Figura 14. Levantamiento Geométrico:

Av. A. López Mateos con Av. Conductores, San Nicolás de los Garza, N.L.



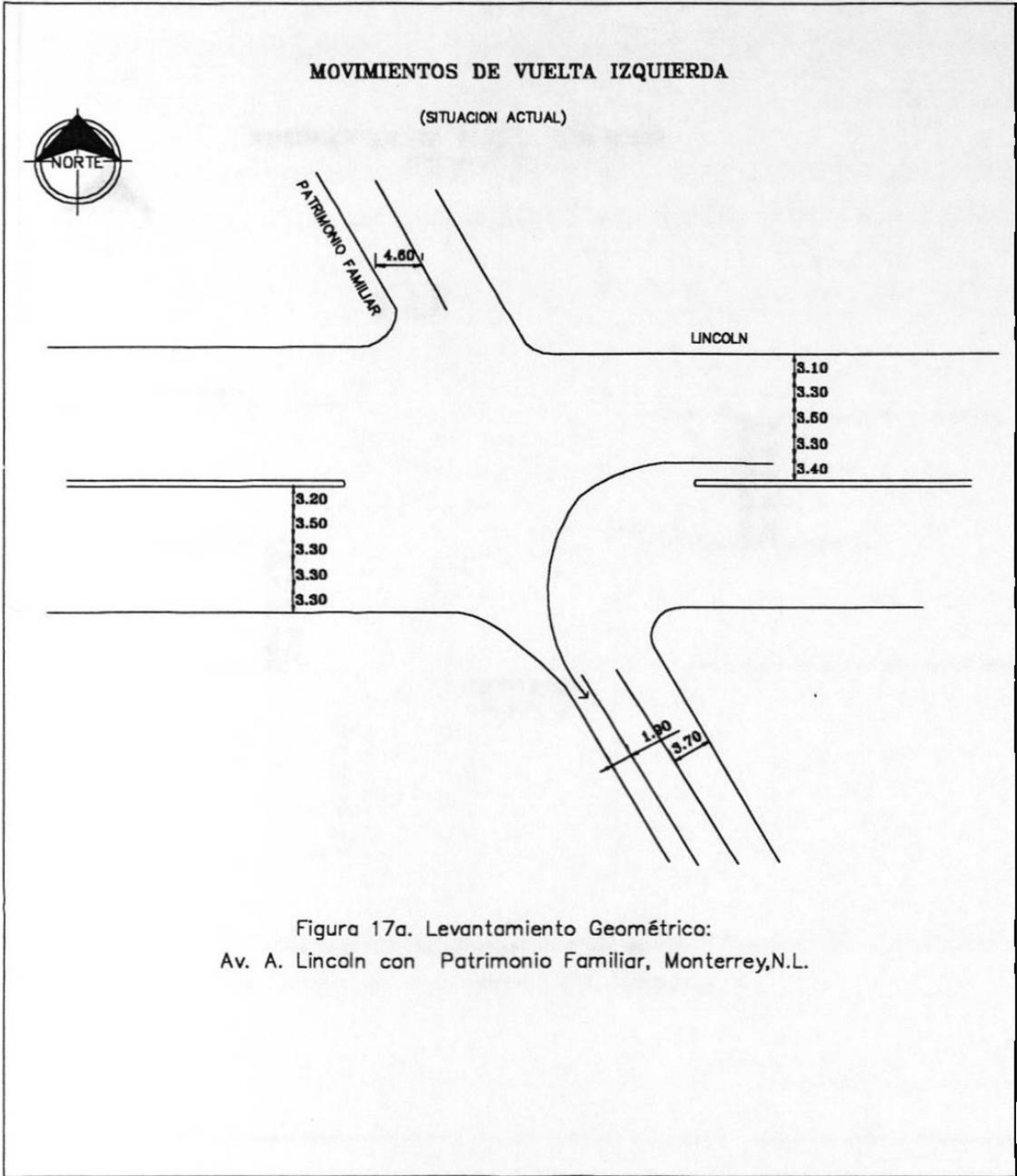
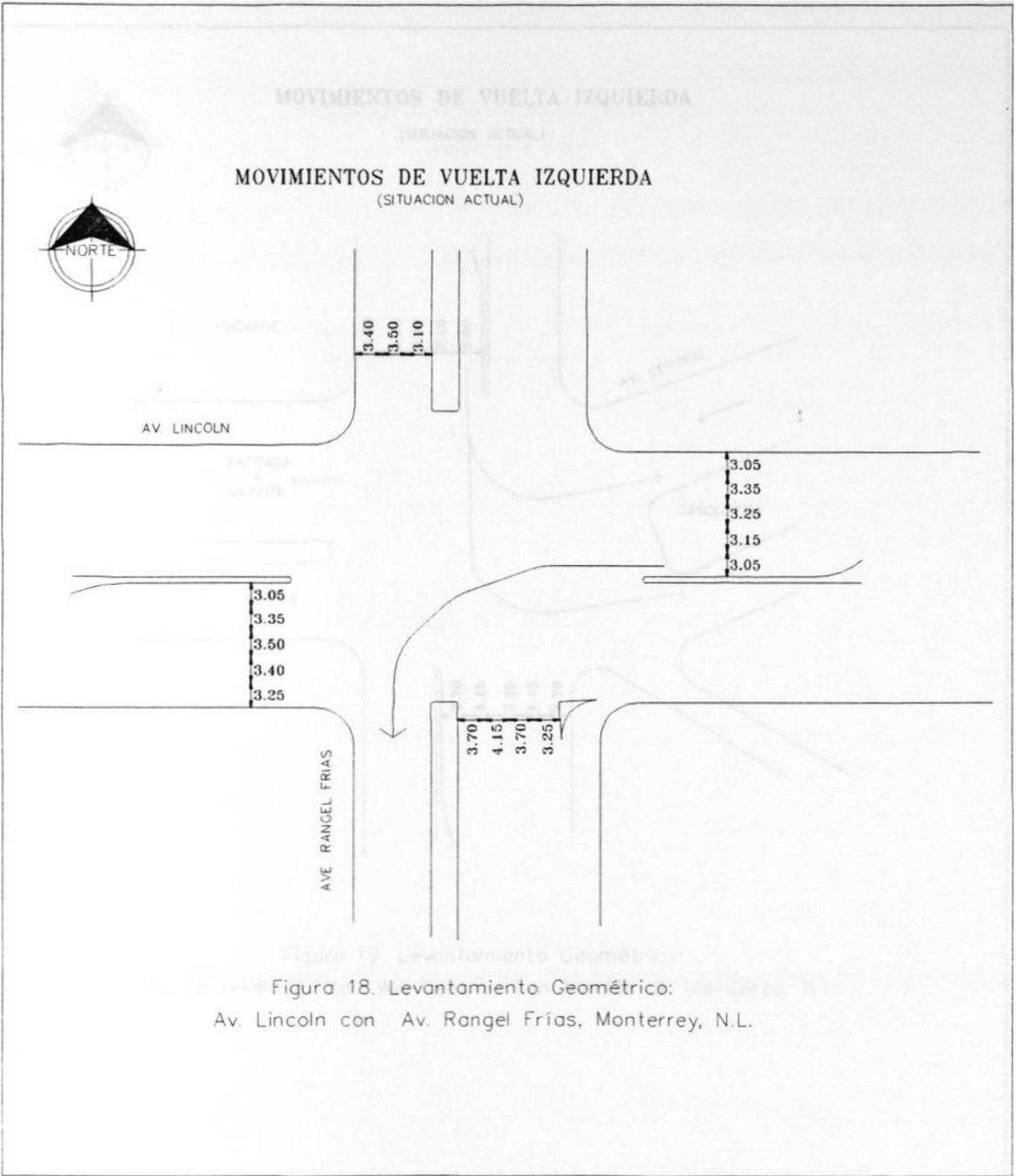


Figura 17a. Levantamiento Geométrico:
Av. A. Lincoln con Patrimonio Familiar, Monterrey, N.L.





MOVIMIENTOS DE VUELTA IZQUIERDA

(SITUACION ACTUAL)

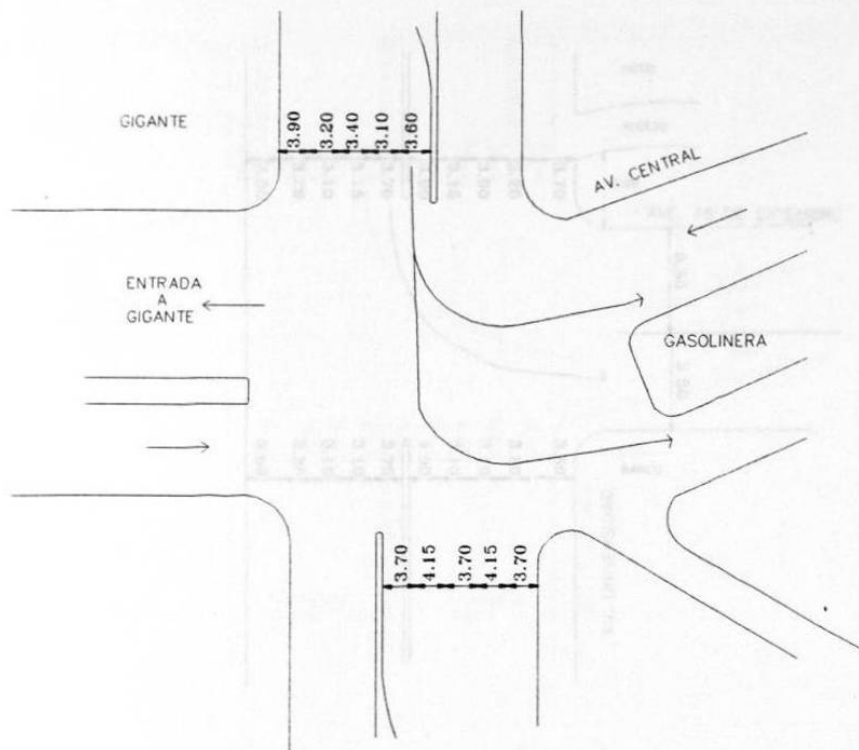


Figura 19. Levantamiento Geométrico:
Av. Universidad con Av. Central, San Nicolás de los Garza, N.L.



MOVIMIENTOS DE VUELTA IZQUIERDA

(SITUACION ACTUAL)

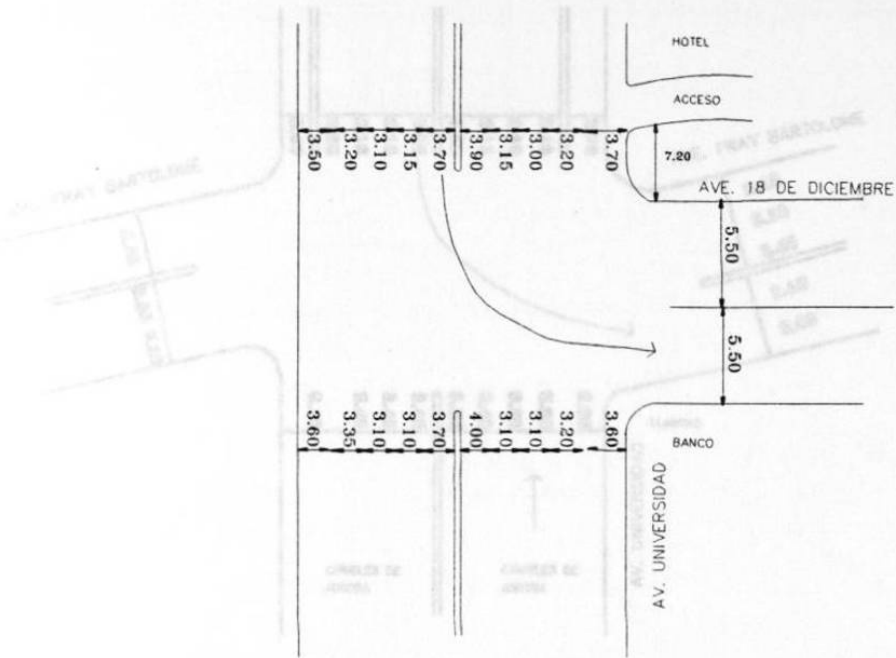


Figura 20. Levantamiento Geométrico:

Av. Universidad con Ave. 18 de Diciembre, San Nicolás de los Garza, N.L.

Av. Universidad con Ave. Fray Bartolomé de las Casas, San Nicolás de los Garza, N.L.

