

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

SECCIÓN DE POST-GRADO

Tema: ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO Y
DEMORA EN INTERSECCIONES VIALES SEMAFORIZADAS

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA DE TRANSPORTES**

Ing. GONZALO A. RAMÍREZ VÉLEZ

LIMA – PERÚ

2004

INDICE

| | | |
|-------------------------------|---|-----------|
| 1.0 | <u>Págs.</u> INTRODUCCIÓN | |
| 2.0 | OBJETIVOS DEL TRABAJO | 12 |
| 2.1 | Objetivo General | 12 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 12 |
| <u>CAPÍTULO I</u> | | |
| 3.0 | DEFINICIONES BÁSICAS Y CONCEPTOS | 13 |
| 3.1 | Semaforización automática de tráfico..... | 13 |
| 3.2 | Tiempo de Verde, Tiempo efectivo de verde y Tiempos perdidos en los ciclos de semáforos | 15 |
| 3.3 | Capacidad y Nivel de Servicio..... | 17 |
| 3.4 | Capacidad de intersecciones semaforizadas..... | 18 |
| | a) Condiciones de tráfico..... | 18 |
| | b) Condiciones de la vía..... | 19 |
| | c) Condiciones de señalización..... | 19 |
| 3.5 | Nivel de Servicio para intersecciones semaforizadas..... | 23 |
| <u>CAPÍTULO II</u> | | |
| 4.0 | METODOLOGÍA | 26 |
| 4.1 | Módulo de entrada de datos | 27 |
| 4.1.1 | Condiciones geométricas | 27 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.1.2 | Condiciones de tráfico | 28 |
| | • Tipo de Arribo 1 | 29 |
| | • Tipo de Arribo 2..... | 29 |
| | • Tipo de Arribo 3..... | 29 |
| | • Tipo de Arribo 4..... | 29 |
| | • Tipo de Arribo 5..... | 29 |
| | • Tipo de Arribo 6..... | 29 |
| 4.1.3 | Condiciones de semaforización..... | 30 |
| 4.1.4 | Valores por Default..... | 31 |
| 5.0 | MÓDULO DE AJUSTE DE VOLUMEN..... | 32 |
| 5.1 | Determinación de los grupos de vías para el análisis | 33 |
| 6.0 | MÓDULO DE LA TASA DE FLUJO DE SATURACIÓN..... | 35 |
| 6.1 | Factores de ajuste..... | 36 |
| 6.1.1 | Factor de ajuste por ancho de vía..... | 36 |
| 6.1.2 | Factor de ajuste de vehículos pesados y pendiente | 36 |
| 6.1.3 | Factor de ajuste por estacionamiento..... | 37 |
| 6.1.4 | Factor de bloqueo por transporte público..... | 37 |
| 6.1.5 | Factor de ajuste por tipo de área..... | 38 |
| 6.1.6 | Factor de ajuste de utilización de la vía..... | 38 |
| 6.1.7 | Factor de ajuste de volteo a la derecha..... | 39 |
| 6.1.8 | Factor de ajuste de volteo a la izquierda..... | 40 |
| 7.0 | MÓDULO DE ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD..... | 51 |
| 8.0 | MÓDULO DE NIVEL DE SERVICIO..... | 52 |
| 8.1 | Demora uniforme d_1 | 53 |
| 8.2 | Demora incremental d_2 | 56 |

| | | |
|-------|---|----|
| 8.2.1 | Término de calibración de incremento de la demora.. | 56 |
| 8.2.2 | Factor de ajuste de filtrado/medición aguas arriba..... | 58 |
| 8.3 | Demora por demanda residual d_3 | 58 |
| 8.4 | Demora total estimada..... | 58 |
| 8.5 | Determinación del Nivel de Servicio..... | 59 |

CAPÍTULO III

| | | |
|------------|---|-----------|
| 9.0 | PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN..... | 60 |
| 9.1 | Módulo de entrada..... | 60 |
| 9.1.a | Ingreso de los volúmenes de tráfico..... | 61 |
| 9.1.b | Información geométrica..... | 61 |
| 9.1.c | Ingreso de las condiciones de tráfico y de camino. | 62 |
| 9.1.d | Ingreso del diseño de fases de semáforo | 63 |
| | • Ingreso del tiempo actual de verde y amarillo más todo rojo | |
| 9.2 | Módulo de ajuste de volumen..... | 64 |
| 9.2.a | Ingresos de volúmenes horarios..... | 65 |
| 9.2.b | Conversión de volúmenes horarios..... | 65 |
| 9.2.c | Establecimiento de los grupos de vías para el análisis . | 65 |
| 9.2.d | Cantidad de flujo ajustada en el flujo de vías..... | 66 |
| 9.2.e | Ingreso de la proporción de volteos a la izquierday derecha del grupo de vías | 66 |
| 9.3 | Módulo de flujo de Saturación..... | 67 |
| 9.3.a | Descripción del grupo de vías..... | 67 |
| 9.3.b | Ingreso del flujo ideal de saturación..... | 67 |
| 9.3.c | Ingreso de los factores de ajuste..... | 67 |
| 9.3.d | Procedimiento especial para estimación de factores de ajuste de volteo a la izquierda, para volteos permitidos..... | 69 |
| 9.3.e | Cálculo del flujo de saturación ajustado..... | 73 |
| 9.4 | Módulo de análisis de la capacidad..... | 73 |
| 9.4.a | Ingreso de la descripción del grupo de vías..... | 73 |

| | | |
|-------|--|----|
| 9.4.b | Ingreso el tipo de fase..... | 74 |
| 9.4.c | Ingreso de la cantidad de flujo ajustado..... | 74 |
| 9.4.d | Ingreso del flujo de saturación ajustado para cada grupo de vías..... | 75 |
| 9.4.c | Cálculo de la razón de flujo para cada grupo de vías | 75 |
| 9.4.f | Ingreso de la razón de tiempo de verde | 75 |
| 9.4.g | Cálculo de la capacidad para cada grupo de vías..... | 75 |
| 9.4.h | Cálculo de la relación v/c | 76 |
| 9.4.i | Identificación del grupo de vías crítico | 76 |
| 9.4.j | Cálculo de la relación v/c crítica | 76 |
| 9.5 | Módulo de Nivel de Servicio | 77 |
| 9.5.a | Ingreso de la descripción del grupo de vías | 78 |
| 9.5.b | Determinación de la demora uniforme | 78 |
| 9.5.c | Determinación de la progresión ajustada | 79 |
| 9.5.d | Incremento de demora | 80 |
| 9.5.e | Determinación de la demora y el nivel de servicio para cada grupo de vías | 80 |
| 8.5.f | Determinación de la demora y el nivel de servicio para cada para cada aproximación | 81 |
| 9.5.g | Determinación de la demora y el nivel de servicio para la intersección | 81 |
| 9.6 | Cuadro suplementario para la determinación de la demora Uniforme | 83 |
| 9.7 | Apéndice: Extensión para el cálculo de la demora incorporando el efecto de una fila inicial | 87 |
| 9.7.1 | Estimación de d_3 | 88 |
| 9.7.2 | Procedimiento de cálculo para determinar la demora y nivel de servicio con una fila inicial de vehículos | 90 |

CAPÍTULO IV

10.0 ESTUDIOS REALIZADOS PARA LA MODIFICACIÓN DE

| | |
|--|-----|
| COMPONENTES DE LA METODOLOGÍA | 94 |
| 10.1 Estudio para determinar la Tasa de Flujo de Saturación Actuante | 94 |
| 10.2 Estudio para determinar la Tasa de Flujo de Saturación Ideal | |
| 10.3 Estudio de Tiempos Perdidos en el Partida | 105 |
| 10.4 Estudio de Tiempo de Servicio de recojo y descarga de pasajeros de Transporte Público y modificación del Factor de Bloqueo por Transporte Público | 113 |
| 10.5 Modificación del Factor de ajuste por Ancho de Vía | 117 |
| 10.6 Determinación de la velocidad peatonal en la intersección | 119 |

CAPÍTULO V

| | |
|---|-----|
| 11.0 APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA EN LA CIUDAD DE LIMA | 123 |
| 11.1 Descripción de la intersección a estudiar | 123 |
| 11.2 Características Físicas de la Intersección | 125 |
| 11.3 Inicio del análisis | 126 |
| 11.3.1 Primer Paso. Cuadro de entrada de datos | 126 |
| 11.3.2 Segundo Paso. Cuadro de volumen ajustado | 127 |
| 11.3.3 Tercer Paso. Cuadro para a tasa de flujo de saturación ajustada | 127 |
| 11.3.4 Cuarto Paso. Cuadro para el análisis de la capacidad | |
| 11.3.5 Quinto Paso. Cuadro de la Demora y el Nivel de Servicio | 134 |
| 12. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIÓN DE LA INTERSECCIÓN ESTUDIADA | 140 |
| 13. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA INTERSECCIÓN ESTUDIADA | |
| 13.1 Cuadro resumen de simulaciones | 145 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 146 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| BIBLIOGRAFÍA | 148 |
| NOMENCLATURA GENERAL | 149 |
| ANEXOS: TABLAS Y CUADROS | 151 |

AGRADECIMIENTOS

Doy las gracias a la Universidad Nacional de Ingeniería por la enseñanza impartida en sus aulas durante los años de preparación de la Maestría en Ciencias con mención en Ingeniería de Transportes.

Doy gracias a mi asesor el Dr. Ing. José Matías León, por el apoyo para la realización de la presente tesis, así como por los conocimientos impartidos en los cursos que nos brindó como parte de la currícula de la Maestría.

Un agradecimiento especial al Señor Msc. PE. Alexander Mabrich W., por el apoyo y ayuda brindada para el desarrollo de la presente tesis.

Así mismo, doy gracias a mis familiares y amigos que de una u otra manera me apoyaron en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA:

A mis padres Gonzalo Ramírez G. y Nilda Vélez de Ramírez, por el apoyo continuo durante todo el tiempo de mis estudios profesionales y Estudios de Maestría.

1.0 INTRODUCCIÓN

La gestión e inversión del transporte urbano está delegada en las entidades públicas las cuales deben velar por brindar un eficiente servicio de las redes viales, sin embargo esto no ha sido ejecutado adecuadamente, lo que ha llevado al caos vehicular que hoy día vivimos.

Aspectos como la falta de planificación, situación económica, intereses políticos e incluso superposición de funciones son los aspectos que han contribuido a la crisis del transporte urbano, imperando el desorden, las pérdidas de tiempo al trasladarse de un lugar a otro, la congestión y la contaminación de la ciudad.

Estos problemas se agravan, continuamente pues el parque automotor crece rápidamente y las condiciones físicas de las ciudades mejoran muy poco y en algunos casos permanecen invariables.

Son pues estos motivos los que nos llevan a querer contribuir de alguna manera y desde un punto de vista técnico a estudiar y proponer metodologías que puedan ser aplicadas a nuestra infraestructura vial y características de tráfico.

El presente trabajo contiene procedimientos para el análisis del nivel de servicio y demora en intersecciones viales señalizadas.

En el análisis de este tipo de intersección se debe considerar una amplia variedad de condiciones, incluyendo la cantidad y distribución de movimientos de tráfico, composición, características geométricas y detalles de la intersección. La metodología de este trabajo esta enfocada en la determinación del nivel de servicio para condiciones prevalecientes, pero presenta alternativas de cálculo para determinar otras variables usadas en la búsqueda de un nivel de servicio asumido o deseado.

En el análisis de vías, encontramos que la geometría es fija o no variable, lo que la hace una característica más fácil de analizar, no siéndolo así la capacidad.

En las intersecciones señalizadas, un elemento adicional es introducido dentro del concepto de capacidad, siendo éste el tiempo asignado. Una señal de tráfico esencialmente asigna tiempos entre movimientos de conflicto de tráfico que buscan usar el mismo espacio físico. La localización en la cual el tiempo es asignado tiene un impacto significativo sobre la operación y la capacidad de la intersección y sus aproximaciones.

El procedimiento que se presenta en este trabajo hace referencia a la capacidad, nivel de servicio de las aproximaciones que conforman las intersecciones, y el nivel de servicio de la intersección como un todo. La capacidad es evaluada en términos de la relación de la tasa de flujo de demanda (volumen) y la capacidad, es decir la relación v/c , mientras que el nivel de servicio es evaluado basándose en el promedio de demora por vehículo (segundos por vehículo).

2.0 OBJETIVOS DEL TRABAJO.

2.1 OBJETIVO GENERAL

El presente trabajo desea proporcionar una herramienta para el análisis y determinación del nivel de servicio y demora en una intersección semaforizada, aplicable a las condiciones de tráfico urbano que impera en nuestro país.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Como objetivo específico, queremos determinar de manera cualitativa la calidad del flujo de una intersección semaforizada de acuerdo con el concepto de Nivel de Servicio aplicado por el Instituto de Investigación del Transporte (USA) en el Highway Capacity Manual/1997 y su metodología, para las condiciones imperantes de tráfico urbano en la ciudad de Lima, para lo cual se han efectuado estudios para determinar y modificar la tasa de flujo de saturación actuante e ideal, el tiempo perdido en la partida, el tiempo de servicio de carga y descarga de pasajeros de transporte público para la modificación del factor de bloqueo por transporte público, modificación del factor por ancho de vía y determinación de la velocidad peatonal.

Todos estos factores serán aplicados en el procedimiento que se explicara más adelante para determinar la calidad de flujo que circula por una intersección, así como para encontrar la demora en las aproximaciones que conforman la intersección y la demora total circunscrita a ella.

CAPÍTULO I

3.0 DEFINICIONES BÁSICAS Y CONCEPTOS.

3.1 SEMAFORIZACION AUTOMÁTICA DE TRÁFICO.

La terminología básica de la semaforización temporizada de tráfico son descritas a continuación:

- **Ciclo.**- Secuencia completa de indicación de semáforo.
- **C.**- Duración de ciclo: Duración total de tiempo de semáforo que completan un ciclo, está dado en segundos y su símbolo es C.
- **Intervalo.**- Período de tiempo durante el cual las indicaciones del semáforo permanecen constantes.
- **Fase.**- Es la parte del ciclo asignada a una combinación de movimiento de tráfico.
- **Intervalo de cambio y limpieza:** Es el intervalo de señales amarillo más todo rojo que ocurre entre fases, para proveer de limpieza en la intersección antes de que los movimientos de conflicto se realicen, está dado en segundos y su símbolo es Y.
- **Tiempo de verde.**- Es el tiempo dentro de una fase, durante el cual el indicador muestra verde, está dado en segundos y su símbolo es g.

- **Tiempo perdido.**- Es el tiempo durante el cual la intersección no es efectivamente usada por algún movimiento, lo cual ocurre dentro del intervalo de cambio y limpieza (cuando la intersección está limpia) y en el comienzo de cada fase cuando los primeros vehículos de la fila inician la marcha experimentan demoras en el arranque, su símbolo es l .
- **Tiempo efectivo de verde.**- Es el tiempo efectivamente disponible para un movimiento, generalmente es tomado como el tiempo de verde más el intervalo de cambio y limpieza, menos el tiempo perdido para el movimiento designado, esta dado en segundos y su símbolo es g_i .
- **Razón efectiva de verde.**- La razón efectiva de tiempo de verde para una duración de ciclo, esta dada por el símbolo g_i/C .
- **Tiempo efectivo de rojo.**- Es el tiempo durante el cual un movimiento dado o grupo de movimientos no están permitidos que ocurran, la duración del ciclo menos el tiempo efectivo de verde, está dado en segundos y su símbolo es t_i .

| | | |
|---------|---|---------------------------------|
| C | = | Duración del ciclo. |
| Y | = | Intervalo de cambio y limpieza. |
| g | = | Tiempo de verde. |
| L | = | Tiempo perdido. |
| g_i | = | Tiempo efectivo de verde. |
| g_i/C | = | Razón efectiva de verde. |
| t_i | = | Tiempo efectivo de rojo. |

Los textos de ingeniería de tráfico, referencia bibliográfica [6], [7] describen tres tipos de controles de semaforización temporizada de tráfico:

1. Controles Preestablecidos.- Una secuencia preajustada de fases es mostrada en orden repetitivo. Cada fase tiene un tiempo de verde fijado e intervalos de cambio y limpieza, que son repetidos en cada ciclo, para producir una duración de ciclo constante.
2. Controles ajustables automáticos: Los tiempos, sobre las aproximaciones de una intersección son influenciados por los detectores de vehículos. Cada fase está sujeta a un mínimo y un máximo de tiempo de verde y algunas fases pueden ser saltadas sino se ha detectado

demanda. La duración del ciclo para controles ajustables automáticas varia de ciclo a ciclo.

3. Controles Semiautomáticos: Algunas aproximaciones tienen detectores y otros no la tienen, esto es típico de calles menores. Los controles son diseñados para ajustarse de acuerdo a la influencia de las calles principales de la intersección teniendo esta preferencia sobre las calles menores. Una vez ajustado el tiempo de verde para calles menores es mostrado para períodos suficientemente largos para acomodar la demanda de tráfico.

También debemos considerar dos conceptos presentes en las fases de las señales las cuales nos proveen de movimientos de volteo protegidos y permitidos. Un movimiento de volteo permitido es efectuado a través de un flujo de peatones o flujo de vehículos opuesto generando un conflicto con estos. Así pues, los movimientos de volteo a la izquierda que son hechos al mismo tiempo que el movimiento opuesto que pasa, son considerados permitidos, así como los movimientos de volteo a la derecha hechos al mismo tiempo que el cruce de peatones en una zona de conflicto.

Los volteos protegidos son hechos fuera de estos conflictos, estos volteos son efectuados durante fases exclusivas de volteo a la izquierda o derecha, en los cuales los movimientos peatonales son prohibidos.

3.2 TIEMPO DE VERDE, TIEMPO EFECTIVO DE VERDE Y TIEMPO PERDIDOS EN CICLOS DE SEMAFOROS.

De [6] se tiene que para un grupo de vías dado en una intersección semaforizada, solo tres indicadores de señal son mostrados, verde, amarillo o ámbar y rojo. El indicador rojo usualmente incluye un periodo corto, durante el cual todos los indicadores están en rojo, el cual es referido como el intervalo todo rojo, el mismo que con el indicador amarillo forman el intervalo de cambio y limpieza, intervalo entre dos fases verdes.

Para propósitos de análisis es conveniente dividir el ciclo de la señal para un grupo de vías dado en dos componentes simples: el tiempo efectivo de verde y rojo.

El tiempo efectivo de verde para un grupo de vías dados es el tiempo que puede ser usado por los vehículos, sobre la tasa de flujo de saturación. El tiempo efectivo de rojo es definido como la duración del ciclo menos el tiempo efectivo de verde.

Es importante conocer bien las relaciones entre el actual tiempo verde, amarillo y rojo mostrados en la fase de señal y los efectivos tiempos de verde y rojo. Cada vez que se inicia o detiene un movimiento se experimentan dos tiempos perdidos. En el comienzo del movimiento, varios de los primeros vehículos en fila experimentan pérdidas en la partida, que resultan en movimientos menores de la tasa del flujo de saturación.

Al final de un movimiento existe una porción del intervalo de cambio y limpieza que no es usado por el movimiento vehicular.

A continuación se describen algunas definiciones relacionadas con estas variables.

G_i = Actual tiempo de verde asignado al grupo de vías i , en seg.

Y_i = Suma de los tiempos de cambio y limpieza (amarillo más todo rojo), asignados al grupo de vías i , en seg.

R_i = Actual tiempo de rojo exclusivo del tiempo de limpieza todo rojo, asignado al grupo de vías i , en seg.

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

R_i = Tiempo efectivo de rojo para el grupo de vías i , en seg.

l_1 = Tiempo perdido en partida, en seg.

l_2 = Tiempo perdido de limpieza, en seg.

e = Extensión del efectivo verde (la cantidad del tiempo del intervalo de cambio y limpieza usado como efectivo verde en seg.)

t_L = Total tiempo perdido para el grupo de vías (la suma de L_1 y L_2 , en seg.)

Investigaciones han encontrado que el tiempo perdido en la partida (l_1), está normalmente alrededor de dos segundos [6]. Así mismo, también han determinado que la extensión del efectivo verde (e) está alrededor de los dos segundos, en algunos casos es mayor en condiciones de congestión. El resto del intervalo de cambio y limpieza, es el tiempo perdido de limpieza (l_2). Es analíticamente conveniente la combinación de los dos tiempos perdidos y aplicar ambos en el comienzo de un determinado movimiento de tráfico.

El total de tiempo perdido para un movimiento dado es deducido del comienzo de la actual fase verde, así pues, una pequeña porción de G_i se convierte en parte del efectivo rojo R_i .

Esta porción es igual al tiempo perdido para el movimiento, t_i se pueden dar las siguientes relaciones para algún movimiento dado:

$$g_i = G_i + Y_i - t_i \quad (1)$$

$$r_i = R_i + t_i \quad (2)$$

Como regla general, un tiempo perdido es aplicado al inicio de cada movimiento. Así mismo, cuando un movimiento inicia en una fase protegida y continua con una fase permitida o viceversa, solo debe ser deducido un tiempo perdido. No se deben asumir tiempos perdidos en el límite entre fases permitidas y protegidas para movimientos continuos.

Para efectos de la aplicación de los tiempos perdidos en la intersección a estudiar, Avenida Elmer Faucett y Avenida Venezuela, he realizado un estudio para la determinación de los tiempos perdidos para cada una de las aproximaciones de la intersección, este estudio se encuentra explicado más adelante.

3.3 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.

Los conceptos de capacidad y nivel de servicio son centrales para el análisis de intersecciones. En el análisis de intersecciones estos dos conceptos son analizados separadamente y deben ser considerados ampliamente en la evaluación de toda la operación de una intersección señalizada.

La capacidad es calculada para cada grupo de vías que se aproximan a la intersección. Un grupo de vías es definido como una o más vías (carriles) que acomodan el tráfico y tienen una línea común de parada y una capacidad compartida por todos los vehículos. El análisis de la capacidad resulta en el cálculo de la relación volumen - capacidad (v/c) para cada grupo de vías.

La relación v/c es la tasa actual o proyectada de flujo sobre un grupo de vías designado durante un intervalo de 15 minutos, dividido por la capacidad del grupo de vías.

Si bien la capacidad de toda la intersección no es definida, una composición de la relación v/c para la suma de los grupos de vías críticos dentro de la intersección es calculada como un indicador de la suficiencia de toda la intersección.

El nivel de servicio esta basado en el promedio de demora por vehículo para varios movimientos dentro de la intersección. Aunque la relación v/c afecta a la demora, hay también otros parámetros que afectan en mayor grado esta, tal como la calidad de la progresión, duración de la fase verde, duración del ciclo y otros. Así pues, para una relación v/c dada, un rango de valores de demora pueden resultar y viceversa. Por esta razón, tanto la capacidad y el nivel de servicio deben ser cuidadosamente examinados.

La relación v/c es una medida de la suficiencia de la capacidad, que vendría a ser si la geometría física y el diseño de semáforos proporcionan o no, suficiente capacidad para el movimiento o los movimientos objeto.

La demora es una medida de la calidad del servicio de la vía al usuario. Ambas deben ser analizadas para entender las características de operación de la intersección y no deberían ser sustituidas por otras. De manera práctica, se debe reconocer que una intersección no puede operar mas allá de esta capacidad indefinidamente sin experimentar excesiva demora.

3.4 CAPACIDAD DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS.

La capacidad de intersecciones es definida para cada grupo de vías. La capacidad del grupo de vías es la máxima tasa de flujo para el grupo de vías objeto que puede pasar a través de la intersección bajo el tráfico prevaleciente, la vía y las condiciones de semaforización. La tasa de flujo es generalmente medida o proyectada para periodos de 15 minutos, y la capacidad es establecida en vehículos por hora (vph).

a. Condiciones de tráfico.

Las condiciones de tráfico incluyen los volúmenes en cada aproximación, la distribución de vehículos por movimiento (izquierdo, defrente, derecha), la distribución del tipo de vehículos en cada movimiento, la localización y el uso de las paradas de ómnibus (transporte público) dentro del área de la intersección, flujo de peatones que cruzan y movimientos de estacionamiento dentro del área de la intersección.

b. Condiciones de la vía:

Las condiciones de la vía incluyen la geometría básica de la intersección, incluyendo el número y ancho de vías, pendientes y asignación del uso de la vía incluyendo vías de parqueo.

c. Condiciones de semaforización:

Las condiciones de semaforización, incluyen una definición total de las fases de la señal, tiempos y tipo de control, y una evaluación de la progresión para cada grupo de vías.

La capacidad designada de un grupo de vías en una aproximación, es evaluada y determinada usando los procedimientos que se señalan más adelante.

Esta puede ser hecha para vías aisladas que sirven a uno o varios movimientos particulares, tal como una vía exclusiva de volteo derecho o izquierdo.

La capacidad en una intersección semaforizada esta basada en el concepto de flujo de saturación y la tasa de flujo de saturación definido como el máximo valor de flujo que puede pasar a través de un grupo de vías dado bajo el tráfico prevaleciente y las condiciones de la vía, asumiendo que el grupo de vías tiene el 100% de tiempo real disponible como tiempo de verde efectivo.

La tasa de flujo de saturación está representada por el símbolo s y está expresada en unidades de vehículos por hora de efectivo tiempo de verde (vhpv) para un grupo de vías dado.

La razón de flujo para un grupo de vías dado esta definido como la razón de la actual o proyectada tasa de flujo de demanda para el grupo de vías entre la tasa de flujo de saturación. La razón de flujo esta representada por el símbolo $(v/s)_i$ para el grupo de vías i .

La capacidad de un grupo de vías dado puede ser establecida como:

$$C_i = s_i (g_i/C) \quad (3)$$

Donde:

C_i = capacidad del grupo de vías

s_i = tasa de flujo de saturación para el grupo de vías

g_i/c = razón efectiva de verde para el grupo de vías

La razón de flujo o capacidad (v/c) también es llamada la razón volumen - capacidad y esta dada por el símbolo X en el análisis de intersecciones.

Este nuevo símbolo es introducido para enfatizar la fuerte relación de capacidad para condiciones de semaforización y para hacer referencia a esta posteriormente, a la cual también se le puede referir con el nombre de grado de saturación.

Para un grupo de vías i

$$X_i = (v/c)_i = v_i / (s_i g_i / C) = v_i C / (s_i g_i) \quad (4)$$

Donde:

$$X_i = (v/c)_i = \text{Razón para el grupo de vías } i$$

v_i = tasa de flujo de demanda actual o proyectada para el grupo de vías

s_i = tasa de flujo de saturación para el grupo de vías

g_i = tiempo de verde efectivo para el grupo de vías

C = duración del ciclo, seg.

Valores sostenibles de X_i tienen un rango desde 1.0, cuando el flujo es igual a la capacidad, hasta 0 (cero) cuando la tasa de flujo es 0. valores cercanos a 1.0 indican un exceso de demanda sobre la capacidad.

La capacidad de toda la intersección no es un concepto significativo y no está específicamente definido aquí. Rara vez todos los movimientos hechos en la intersección son saturados en un mismo momento del día, de lo que se trata es de determinar los movimientos que pasan a través de la intersección con una condición crítica.

Otro concepto de capacidad de utilidad en el análisis de intersecciones semaforizadas, también es la razón crítica v/c o X_c , la cual es la razón v/c para toda la intersección, considerando solo los grupos de vías que tienen una alta tasa de flujo (v/s).

Por ejemplo, en un semáforo de dos fases, un grupo de vías opuestas se mueve durante el mismo tiempo de verde. Generalmente, uno de esos dos grupos de vía requerirá más tiempo de verde que el otro (este tendrá una tasa de flujo más alta). Este podría ser el grupo más “crítico” para la fase observada. Cada fase de señal tendrá un grupo de vías crítico que determinará los requerimientos de tiempo de verde para la fase. Cuando dos fases de señal se traslapan la identificación de los grupos de vías críticos será más compleja.

La razón crítica v/c para la intersección es definida en términos de los grupos de vías críticas o aproximaciones:

$$X_c = \sum (v/s)_{ci} [C/(C-L)] \quad (5) \quad \text{Ref.}[6]$$

Donde:

X_c = Razón crítica v/c para la intersección

$\sum (v/s)_{ci}$ = sumatoria de las razones de flujo para todos los grupos de vías críticos, i .

C = Duración del ciclo, seg.

L = Total de tiempo perdido por ciclo, calculado como la suma del tiempo perdido t_L para todos los grupos de vías críticos

La ecuación 5 es usada en la evaluación de toda la intersección respecto a la geometría y la duración total del ciclo y también en la estimación de los tiempos de señal cuando ellos son desconocidos o no especificados por la política local o procedimientos. Esto puede ser dado para la relación v/c de los movimientos críticos, asumiendo que el tiempo de verde fue asignado en proporción a los valores de v/s .

También es posible tener una razón crítica v/c menor que 1.0 y aún tener movimientos sobre saturados dentro del ciclo del semáforo. Una relación crítica v/c menor que 1.0, también, indica que todos los movimientos en la intersección

pueden ser acomodados dentro de la duración del ciclo y la secuencia de fases, para la proporcionalidad de los tiempos de verde asignados.

En esencia, el total de tiempo de verde disponible en la secuencia de fases es adecuado para manejar todos los movimientos si solo se asignaran sobre la base de v/s.

El valor de X_c puede, sin embargo, desorientar cuando se usa como un indicador de la suficiencia de la geometría de la intersección, como es también requerido en aplicaciones de planeamiento. El problema es que tasas de flujo bajas dictan la necesidad de duración de ciclos cortos para minimizar la demora, de la revisión de la ecuación 5 se puede inferir que duraciones de ciclos cortos producen altos valores de X_c para un específico nivel de demanda de tráfico.

Así pues, varios métodos de asignación de tiempo se señalen incluyendo el método de planeamiento que no será estudiado en el presente trabajo, se basan en la búsqueda de un valor fijo de X_c . Esto tiende a hacer que X_c sea independiente de los volúmenes de demanda.

Un indicador similar de la insuficiencia de toda la intersección es también obtenido por sustitución de la máxima duración del ciclo, aceptable por la agencia responsable de la operación de la señal, de la ecuación 5:

$$X_{cm} = \sum (v / s)_{ci} [C_{mzx} / (C_{max} - L)] \quad (6) \quad \text{Ref.}[6]$$

Donde:

X_{cm} = razón v/c crítica basada sobre la máxima duración del ciclo,

y.

C_{max} = máxima duración de ciclo aceptable, seg.

Se puede señalar que, para propósitos de planeamiento, que X_{cm} ofrece un indicador más apropiado de la capacidad actual de la intersección que está siendo usado para el volumen específico de tráfico. En el presente trabajo X_c será usado para representar la razón crítica v/c.

El análisis de capacidad se enfocara sobre el cálculo de la tasa de flujo de saturación, capacidad y relaciones v/c para varios grupos de vías de la intersección.

3.5 NIVEL DE SERVICIO PARA INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS.

El nivel de servicio de intersecciones semaforizadas es definido en términos de la demora, la cual es una medida de la disconformidad del conductor, frustración, consumo de combustible y el tiempo perdido de viaje.

La demora experimentada por el conductor es hecha sobre un número de factores que relacionan el control, la geometría, el tráfico y los incidentes. La demora total es la diferencia entre el tiempo actual experimentado y el tiempo de viaje de referencia que resultaría de condiciones ideales: es decir, en ausencia de control de tráfico, en ausencia de demora por geometría, en ausencia de algún incidente y cuando no hay otros vehículos en la vía.

La demora es también llamada control de demora. Este incluye la demora por deceleración, tiempo de movimiento de fila, demora por paradas y demora final por aceleración; así mismo, el control de demora también puede ser referido a la demora de la señal.

Específicamente, el criterio de nivel de servicio para semaforización de tráfico están establecidos en términos de promedio de control de demora por vehículo, típicamente para un periodo de análisis de 15 minutos. El criterio esta dado en la Tabla 1. [6]. La demora puede ser medida en el campo o estimada usando los procedimientos señalados más adelante. La demora es un cálculo complejo y es dependiente de un número de variables incluyendo la calidad de la progresión, la duración del ciclo, la razón de verde y la relación v/c para el grupo de vías en cuestión.

TABLA 1. Criterio de Nivel de Servicio para Intersecciones Semaforizadas

| NIVEL DE SERVICIO | CONTROL DE DEMORA POR VEHICULO (SEG) |
|-------------------|--------------------------------------|
| A | ≤ 10 |
| B | $> 10 \text{ y } \leq 20$ |
| C | $> 20 \text{ y } \leq 35$ |

| | |
|---|---------------------------|
| D | $> 35 \text{ y } \leq 55$ |
| E | $> 55 \text{ y } \leq 80$ |
| F | > 80 |

Fuente: Transportation Research Board/HCM Update 1997

Nivel de Servicio A, describe operaciones con muy bajo control de demora, por debajo de 10 seg. por vehículo. Este nivel de servicio ocurre cuando la progresión es extremadamente favorable y muchos vehículos arriban durante la fase verde, poca cantidad de vehículos paran. La duración de ciclos cortos puede también contribuir a bajas demoras.

Nivel de Servicio B, describe operaciones con control de demora mayores que 10 seg. y menores que 20 seg. por vehículo. Este nivel generalmente ocurre cuando hay una buena progresión, duraciones de ciclos cortos o ambos. Más vehículos paran que en nivel de servicio A causando mayores niveles de promedio de demora.

Nivel de Servicio C, describe operaciones con control de demora mayores que 20 seg. pero menores que 35 seg. por vehículo. Estas mayores demoras pueden resultar por una progresión fallida, duración de ciclo largas o ambas. Fallas individuales en el ciclo pueden aparecer en este nivel. El número de vehículos que puede parar es significativo en este nivel varios pasan a través de la intersección sin parar.

Nivel de Servicio D, describe operaciones con control de demora mayores que 35 seg. y menores que 55 seg. por vehículo. En el nivel D la influencia de la congestión comienza a ser más notable, demoras largas pueden resultar de una combinación de progresión desfavorable, duración de ciclo largo o altas relaciones v/c. Muchos vehículos paran y la proporción de vehículos que no pasan disminuye. Fallas individuales de ciclo son notables.

Nivel de Servicio E, describe operaciones de control de demora mayores que 55 seg. pero menores que 80 seg. por vehículo. Este nivel es considerado por

muchas agencias como el límite de demora aceptable, estos altos valores de demora generalmente indican mala progresión, duración de ciclos largos y altas relaciones v/c. Fallos del ciclo son frecuentes de ocurrencia.

Nivel de Servicio F, describe operaciones de control de demora, por encima de 80 seg. por vehículo. Este nivel es considerado como inaceptable para muchos conductores, también ocurren con sobre saturación que es cuando la tasa de flujo que arriba a la intersección excede su capacidad, esto también puede ocurrir con altas relaciones v/c mayores de 1.0 con fallas individuales del ciclo, mala progresión y largas duraciones de ciclo pueden ser también importantes factores contribuyentes para tales niveles de demora.

- Respecto a la capacidad y nivel de servicio:

La medida de la demora es un proceso complejo, así como las relaciones para la capacidad, los niveles de servicio indicados en la tabla 1 fueron establecidos sobre la base de aceptabilidad de muchas consideraciones de demora evaluadas con conductores. Los estándares de acuerdo a la localidad pueden variar, el nivel de servicio C puede ser señalado como un objeto de diseño deseable.

Los procedimientos y métodos señalados más adelante requieren el análisis, tanto de la capacidad y el nivel de servicio, las condiciones deben ser totalmente evaluadas en la operación de intersecciones señalizadas.

CAPÍTULO II

4. METODOLOGÍA

Análisis Operacional: El análisis operacional resulta en la determinación de la capacidad y el nivel de servicio para cada grupo de vías, así como el nivel de servicio para toda la intersección. Este requiere de información detallada concerniente a la geometría, tráfico y condiciones de señalización en la intersección. Estos pueden ser conocidos para casos existentes o proyectados a situaciones futuras. Debido a que el análisis operacional es complejo, este se divide en cinco distintos módulos o pasos, como a continuación se describe en forma sintetizada:

1. Módulo de entrada de datos: En este módulo se ingresa toda la información requerida sobre la cual se efectuaran subsecuentes cálculos. El módulo incluye toda la información necesaria sobre la intersección, geometría, volúmenes de tráfico representados por la sumatoria de todos los vehículos que cruzan la intersección, así como de semaforización.
2. Módulo de ajuste de volúmenes: Los volúmenes de demanda pueden ser provistos en términos de tasa de flujo promedio (vph) para períodos de análisis de 15 minutos, en tales casos valores de factor de hora pico de 1.0 podrían ser usados. Los volúmenes de demanda pueden ser también establecidos en términos de volúmenes promedio horario (vph), en tales casos el módulo de ajuste de volumen usa los factores de hora pico provistos para convertir esas tasas de flujo para períodos de análisis de 15

minutos. La definición de grupos de vías para el análisis también tiene lugar en este módulo.

3. Módulo de tasa de flujo de saturación: La tasa de flujo de saturación es calculada para cada grupo de vías establecido para en análisis. La tasa de flujo esta basada en el ajuste de una tasa de flujo de saturación “ideal” para que refleje una variedad de condiciones prevalecientes.
4. Módulo de análisis de capacidad: Los volúmenes y la tasa de flujo de saturación son manipulados para calcular la capacidad y las relaciones v/c para cada grupo de vías y la relación v/c crítica para la intersección.
5. Módulo de nivel de servicio: La demora establecida para cada grupo de vías, para el análisis las demoras son medidas y agregadas para las aproximaciones y para toda la intersección y los niveles de servicio son determinados.

La metodología presente provee las formulas y proporciona tablas para todos los factores a ser usados. En todos los casos las tablas proveen entradas para límites extremos que son asignados por el método, en ningún caso los valores tabulados deben ser extrapolados más allá de esos límites, excepto cuando la extrapolación es explícitamente recomendada (por ejemplo los factores de ancho de vía). La interpolación entre valores tabulados es sugerida para remediar la discontinuidad que puede ocurrir entre los valores, pero la recomendación práctica en todos los casos es el uso de las formulas que son provistas para completar valores y evitar tanto la interpolación como la extrapolación.

4.1 MÓDULO DE ENTRADA DE DATOS:

La información señalada es este módulo forma la base de los valores de cálculo y procedimientos que se usaran en los módulos que se señalan más adelante. La información necesaria es detallada y variada y cae dentro de cuatro categorías, condiciones geométricas, condiciones de tráfico, condiciones de semaforización y valores por defecto.

4.1.1 CONDICIONES GEOMÉTRICAS

La geometría de la intersección es generalmente presentada en forma de diagrama y es incluida toda la información relevante, incluyendo pendientes de las aproximaciones, el número y ancho de vías, condiciones de estacionamiento. La existencia de vías exclusivas de volteo a la derecha e izquierda deben ser notadas, así como las longitudes de espera o estacionamiento de tales vías

4.1.2 CONDICIONES DE TRÁFICO

Los volúmenes de tráfico para la intersección deben ser especificados para cada movimiento en cada aproximación. Estos volúmenes son las tasas de flujo en vehículos por hora para períodos de análisis de 15 minutos el cual es el período de duración de un análisis normal ($T=0.25$ hr.).

La distribución del tipo de vehículos es cuantificada como el porcentaje de vehículos pesados (%HV) en cada movimiento donde los vehículos pesados para nuestro medio serán considerados los camiones en sus diferentes capacidades, así como los ómnibus ínter provinciales.

El número de vehículos de transporte público para cada aproximación deberá ser identificado, incluyendo solo los vehículos que efectúan paradas para subir o descargar pasajeros en la intersección, los ómnibus que no efectúan paradas deberán ser considerados como vehículos pesados.

El flujo de peatones será necesario, porque estos interferirán con los volteos permitidos a la derecha. El flujo de peatones para una aproximación dada es el flujo en el camino de cruce que interfiere con los volteos a la derecha hechos desde la aproximación. Así pues, para una aproximación hacia el oeste el flujo de peatones que cruzan perpendicularmente el sentido norte deberá ser usado; para una aproximación hacia el este deberá usarse el flujo de peatones que cruzan perpendicularmente el sentido sur; para una aproximación al norte, el flujo de peatones que cruzan perpendicularmente el sentido este y para una aproximación al sur el flujo de peatones que cruzan perpendicularmente el sentido oeste.

Una de las características más críticas de tráfico que deben ser certificadas para completar un análisis operacional de una intersección señalizada es la calidad de la progresión. El parámetro que mejor describe esta característica es el tipo de arribo (AT) para cada grupo de vías. Este parámetro es una categorización general que representa la calidad de progresión en una manera aproximada. Seis tipos de arribo son definidos para el flujo de arribo dominante, los cuales se describen a continuación:

- **Arribos Tipo 1:** La densidad del grupo contiene más del 80% del volumen del grupo de vías, arribando en el comienzo de la fase roja. Este tipo de arribo es representativo de una red que experimenta muy mala cantidad de progresión como resultado de condiciones tales como sobre optimización de señales en la red.
- **Arribos Tipo 2:** Moderada densidad del grupo, arriban en la mitad de la fase roja o grupo disperso, conteniendo de 40% a 80% del volumen del grupo de vías arribando totalmente fuera de la fase roja. Este tipo de arribo es representativo de una desfavorable progresión.
- **Arribos Tipo 3:** Arribos aleatorios en el cual el grupo principal contiene menos del 40% del volumen del grupo de vías. Este tipo de arribo es representativo de operaciones aisladas y no interconectadas de intersecciones señalizadas, caracterizada por la alta dispersión del grupo.
- **Arribos Tipo 4:** Moderada densidad del grupo arribado en la mitad de la fase verde o grupo disperso, conteniendo del 40% al 80% del volumen del grupo de vías, arribando fuera de la fase verde. Este tipo de arribo es representativo de una favorable calidad de progresión sobre dos vías arteriales.
- **Arribos Tipo 5:** Densa a moderada densidad de grupo conteniendo más el 80% del volumen del grupo de vías arribando en el comienzo de la fase verde. Este tipo de arribo es representativo de una altamente favorable calidad de progresión, las cuales pueden ocurrir en rutas con baja o moderada, entradas de calles auxiliares y con una alta prioridad en el tratamiento del plan de tiempo de señales.

- **Arribos Tipo 6:** Este tipo de arribo es reservado para excepcionales calidades de progresión en rutas con características casi ideales de progresión. Esta es representativa de mucha densidad de grupo sobre un número de intersecciones muy cercanas con mínimas o ninguna entrada de calles laterales.

El tipo de arribo puede ser observado en campo, pero puede ser también aproximado examinando diagramas de espacio - tiempo para la arteria o calle en cuestión. El tipo de arribo debería ser determinado lo más exactamente posible porque este tendría un impacto significativo sobre la estimación de la demora y el nivel de servicio. Si bien no están definitivamente señalados los parámetros para cuantificar precisamente el tipo de arribo, la siguiente relación puede ser usada para evaluar este valor:

$$R_p = P (C/g_i) \quad (7) \quad \text{Ref.}[6]$$

Donde:

R_p = Razón de grupo

P = Proporción de todos los vehículos que arriban durante la fase verde.

C = Duración del ciclo

g_i = Efectivo tiempo de verde para el movimiento o grupo de vías.

P puede ser estimado u observado en el campo, mientras que g_i y C son calculados desde la señal semafórica. Deberá tenerse presente que cuando P es estimado, este valor no excederá de 1.0. Los rangos aproximados de R_p son relativos al tipo de arribo, como se muestra en la Tabla 2, y los valores de default son sugeridos para subsecuentes cálculos.

TABLA 2. Relación entre Tipo de Arribo y Razón de Grupo (R_p)

| TIPO DE ARRIBO | RANGO DE LA RAZON DE GRUPO (R_p) | VALOR POR DEFAULT | CALIDAD DE LA PROGRESION |
|----------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|
|----------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|

| | | | |
|---|------------------------|-------|---------------------|
| 1 | ≤ 0.50 | 0.333 | Muy mala |
| 2 | > 0.50 y ≤ 0.85 | 0.667 | Desfavorable |
| 3 | > 0.85 y ≤ 1.15 | 1.000 | Arribos aleatorios |
| 4 | > 1.15 y ≤ 1.50 | 1.333 | Favorable |
| 5 | > 1.50 y ≤ 2.00 | 1.667 | Altamente favorable |
| 6 | > 2.00 | 2.000 | Excepcional |

Fuente: Transportation Research Board/HCM Update 1997

Otra condición de tráfico de interés, es la actividad en las vías de parqueo adyacente para el análisis de los grupos de vías. La actividad de parqueo es medida en términos de maniobras de parqueo por hora dentro de los 70 metros antes y después de la línea de parada (N_m). Cada vehículo que entra o sale del lugar de parqueo es considerado como una maniobra de parqueo.

4.1.3 CONDICIONES DE SEMAFORIZACIÓN

Al completar la información necesaria sobre semaforización, esta incluirá a manera ilustrativa un diagrama de las fases, duración del ciclo, tiempo de verde y el intervalo de cambio y limpieza. Se deberá identificar el tipo de semáforo automática o preajustada y la presencia de semáforos peatonales.

Si existen requerimientos de tiempo para peatones, el mínimo tiempo de verde para la fase debería ser indicado y debe ser provisto en el tiempo del semáforo. El mínimo tiempo de verde puede ser estimado como:

$$G_p = 7.0 + (W/1.37) - Y_i \quad (8) \quad \text{Ref. [6]}$$

Donde:

G_p = Mínimo tiempo de verde, seg.

W = Distancia desde la vereda al centro de la vía más lejana de la calle que esta siendo cruzada o a la isla de refugio de peatones más cercana, si el cruce peatonal es hecho sobre dos ciclos de señal, en metros.

Y_i = Intervalo de cambio y limpieza (amarillo más todo el tiempo de rojo), seg.

Aquí se asume que la velocidad de caminata de peatones que cruzan la calle es de 1.37 m/seg (USA), Ref.[6].

Dado que las características físicas del poblador peruano no son iguales que la del norte americano, se efectuó un estudio para determinar la velocidad peatonal en la intersección de la Av. Elmer Faucett y Av. Venezuela, donde se obtuvo un tiempo promedio de 1.39 m/seg. Se asumirá este valor para el cálculo del tiempo mínimo de verde para brindar facilidades y seguridad al cruce de los peatones en la intersección.

4.1.4 VALORES POR DEFECTO

Ocasionalmente, algunos valores de campo no están disponibles, entonces podemos usar los valores por default dados en las tablas 3 y 4. Estos valores deben ser usados cuidadosamente debiéndose hacer notar que los resultados obtenidos serán más aproximados cuando se usan más valores de default.

TABLA 3. VALORES POR DEFAULT PARA USAR EN EL ANÁLISIS

| CARACTERISTICA | VALOR POR DEFAULT |
|--|--|
| Tráfico | |
| Tasa de flujo de saturación ideal | 1,800 – 2000 vphvpv |
| Volumen peatonal en conflicto | 0 peat./hr. |
| - Bajo | 50 peat./hr. |
| - Moderado | 200 peat./hr. |
| - Alto | 400 peat./hr. |
| Porcentaje de vehículos pesados | 2 |
| Pendiente | 0 |
| Número de paradas de ómnibus | 0/hr. |
| Condiciones de estacionamiento | No estacionamientos |
| Maniobras de estacionamientos | 20/hr. Donde el estacionamiento existe |
| Tipo de Arribo | |
| - Grupos de vías con movimientos continuos | 3 si es aislada |
| | 4 si es coordinada |
| - Grupos de vías sin movimientos continuos | 3 |
| Factor de hora pico | 0.90 |
| Factor de ajuste de utilización de la vía | Ver tabla 4 |
| Semaforización de tráfico y facilidades | |

| | |
|--|-----------------------------------|
| Tipo de señal | Preajustada |
| Rango de duración del ciclo | 60-120 seg. |
| Tiempo perdido en la partida | 2.0 seg. |
| Extensión del tiempo efectivo de verde | 2.0 seg. |
| Intervalo de cambio y limpieza, amarillo más todo rojo | 4.0 seg./fase (para planeamiento) |
| Unidad de extensión | 3.0 seg. |
| Tipo de área | No comercial |
| Ancho de la vía | 3.30 m |

Fuente:Transportation Research Board/HCM 1997

TABLA 4. VALORES DEFAULT PARA FACTORES DE AJUSTE DE UTILIZACIÓN DE LA VÍA

| MOVIMIENTOS EN EL GRUPO DE VÍAS | No. DE VÍAS EN EL GRUPO DE VÍAS | PORCENTAJE DE TRÁFICO MAS ALTO DENTRO DE LAS VÍAS | FACTOR DE AJUSTE DE UTILIZACIÓN DE LA VÍA (F_{LU}) |
|--|--|--|---|
| De paso | 1 | 100.00 | 1.00 |
| O | 2 | 52.50 | 0.95 |
| Compartida | 3 | 36.70 | 0.91 |
| Exclusiva de Volteo a la izquierda | 1 | 100.00 | 1.00 |
| O | 2 | 51.50 | 0.97 |
| Exclusiva de Volteo a la derecha | 1 | 100.00 | 1.00 |
| O | 2 | 56.50 | 0.88 |

Fuente:Transportation Research Board/HCM 1997

5.0 MÓDULO DE AJUSTE DE VOLUMEN

Dos pasos son los efectuados en el módulo de ajuste de volumen:

1. Los volúmenes en movimiento son ajustados para periodos de análisis de 15 minutos.
2. Los grupos de vías son establecidos para el análisis.

El ajuste de volúmenes en movimiento, es el proceso para convertir cualquier demanda establecida en volúmenes horarios a tasas de flujo para períodos de análisis de 15 minutos dentro de la hora. Esto es efectuado mediante la división de los volúmenes en movimiento para una aproximación y el factor de hora pico (PHF), el cual puede ser definido para toda la intersección para cada aproximación o para cada movimiento.

$$V_p = v/PHF \quad (9) \quad \text{Ref.}[6]$$

Donde:

V_p = La tasa de flujo durante el período de análisis de 15 min.,
vph.

v = Volumen horario, vph.

PHF = Factor de hora pico

Como no todos los movimientos en la intersección pueden tener picos en el mismo tiempo, esto es evaluado observando directamente flujos de 15 minutos y seleccionando el período crítico para el análisis. La conversión de volúmenes horarios a tasas de flujo pico usando el PHF asume que todos los movimientos son pico durante el mismo período de 15 minutos y esto es por ende una aproximación conservadora. Esto es particularmente conservador si diferentes factores de PHF son asumidos para cada movimiento.

5.1 DETERMINACIÓN DE LOS GRUPOS DE VÍAS PARA EL ANÁLISIS

El análisis operacional es disgregado, esto es porque ha sido diseñado para considerar aproximaciones individuales a la intersección e individuales grupos de vías dentro de la aproximación, es pues necesario determinar apropiadamente los grupos de vías para análisis.

La segmentación de los grupos de vías dentro de la intersección es un proceso relativamente obvio considerando tanto la geometría de la intersección y la distribución de movimientos de tráfico. En general, se usan números menores de

grupos de vías para describir adecuadamente la operación de la intersección. Las siguientes consideraciones podrían ser usadas:

- Una vía o vías exclusivas de volteo a la izquierda son normalmente separadas del grupo de vías a menos que exista una vía compartida de volteo a la izquierda, en tal caso el grupo de vías propuesto depende de la distribución del volumen de tráfico entre movimientos. Lo mismo se cumple para vías de volteo exclusivas a la derecha.
- Sobre una aproximación con vías exclusivas de volteo a la izquierda o derecha o ambos, todas las otras vías sobre la aproximación generalmente serán incluidas como un simple grupo de vías.
- Cuando una aproximación con más de una vía incluye una vía que puede ser usada para movimientos de volteo a la izquierda y de paso deberá verse las condiciones de equilibrio de tal forma de determinar si es una vía compartida o clasificarla como una vía de volteo exclusivo a la izquierda. refiriéndose a ella como una vía de volteo a la izquierda de facto,
- Las vías de volteo a la izquierda llamadas de facto, no pueden ser identificadas antes de que la proporción de volteos a la izquierda en la vía compartida sea calculada.
- Si el cálculo de la proporción de volteos a la izquierda en la vía compartida es igual o excede a 1.0 (100%), la vía compartida deberá ser considerada como una vía de volteo a la izquierda.

Cuando dos o más vías son incluidas en el grupo de vías para propósitos de análisis, todos los subsecuentes cálculos tratarán estas simples vías como una simple entidad.

Cuando los volteos a la derecha en rojo son permitidos, el volumen de volteo a la derecha suele ser reducido por el volumen de vehículos en movimiento que voltean a la derecha sobre la fase roja. Esto es generalmente hecho en base de volúmenes horarios luego de convertidas a tasas de flujo.

El número de vehículos capacitado para voltear a la derecha sobre la fase roja es función de múltiples factores complejos.

Para una intersección existente es apropiado considerar los volteos a la derecha en rojo que ocurran. Tanto para vías compartidas y vías de volteo exclusivo a la derecha, el número de volteos a la derecha en rojo pueden ser sustraídos de los volúmenes de volteo a la derecha antes del análisis de la capacidad del grupo de vías o del nivel de servicio. En una intersección existente el número de volteos a la derecha en rojo puede ser determinado mediante observaciones en campo.

6.0 MÓDULO DE LA TASA DE FLUJO DE SATURACIÓN

En el módulo de la tasa de flujo de saturación, una tasa de saturación es calculada para cada grupo de vías.

La tasa de flujo de saturación es el flujo en vehículos por hora que puede ser acomodado por el grupo de vías, asumiendo que la fase verde estuvo siempre disponible para el grupo de vías, esto es que la razón de verde (g/C) fue 1.0. Los cálculos comienzan con la selección de una tasa ideal de flujo de saturación, usualmente 1900 vehículos por hora en tiempo de verde por vía (vphvpv) y este valor es ajustado por una variedad de condiciones prevalecientes que no son ideales. Todos los factores de ajuste están dados en las tablas 4 a la 12.

Se debe hacer notar que la fórmula para el factor de bloqueo por transporte público ha sido modificada en el presente trabajo, basándose en un estudio realizado el cual a tomado en cuenta las características del tipo de transporte público que circula en la ciudad de Lima. El factor modificado será señalado en el capítulo IV, numeral 10.3.

$$s = s_o N f_w f_{hv} f_g f_p f_{bb} f_o f_{lu} f_{rt} f_{lt} \quad (10) \quad \text{Ref. [6]}$$

Donde:

- s = Tasa de flujo de saturación para el grupo de vías objeto, expresado como el total para todas las vías en el grupo de vías bajo condiciones prevalecientes, vphg.
- s_o = Tasa de flujo de saturación ideal por vía, usualmente de 1,900 vphvpv.
- N = Número de vías o carriles en grupo de vías.
- f_w = Factor por ancho de vía, esta dado en la tabla 5 (factor modificado).
- f_{nv} = Factor de ajuste de vehículos parados en el tráfico que influye, dado en la tabla 6.
- f_g = Factor de ajuste por pendiente, dado en la tabla 7.
- f_p = Factor de ajuste por la existencia de una vía de parqueo adyacente al grupo de vías y actividad de parqueo en las vías, dado en la tabla 8.
- f_{bb} = Factor de ajuste por efecto de bloqueo de ómnibuses locales que paran dentro del área de la intersección, dado en la tabla 9 (factor modificado).
- f_o = Factor de ajuste por tipo de área, dado en la tabla 10.
- f_{lu} = Factor de ajuste por utilización de la vía, el cálculo se describe más adelante.
- f_{rt} = Factor de ajuste de volteo a la derecha en el grupo de vías.
- f_{li} = Factor de ajuste de volteo a la izquierda en el grupo de vías, dado en la tabla 12 o cálculo descrito posteriormente.

6.1 FACTORES DE AJUSTE:

El uso de los factores de ajuste considera el impacto de una o varias condiciones prevalecientes que son diferentes de las condiciones ideales para los cuales la tasa de flujo de saturación ideal aplica.

6.1.1 FACTOR DE AJUSTE POR ANCHO DE VÍA:

El factor de ajuste por ancho de vía, f_w ; considera el impacto perjudicial de vías estrechas sobre la tasa de flujo de saturación y permite un incremento de flujo sobre vías anchas. Esta metodología considera 3.60 metros como ancho estándar. El factor de ancho de vía debe ser calculado con precaución para anchos de vías mayores a 4.80 metros o efectuar un análisis de dos vías estrechas. Nótese que el uso de dos vías resultará siempre en una alta tasa de flujo de saturación que con una vía simple ancha. En ningún caso el factor de ancho de vía debe ser calculado para vías con ancho menores a 2.40 metros.

6.1.2 FACTOR DE AJUSTE PARA VEHÍCULOS PESADOS Y PENDIENTES.

El efecto de vehículos pesados y la pendiente son tratados por dos factores separados, f_{hv} , y f_g respectivamente. Estos factores reconocen que los vehículos que transitan son afectados por la pendiente de la vía y los vehículos pesados que transitan en ella.

El factor de vehículos pesados considera el espacio adicional ocupado por esos vehículos, la diferencia en la capacidad de operación de esos vehículos con respecto a los autos. El equivalente de autos que transitan (E_t) usado por cada vehículo pesado es de dos unidades y es reflejado en la fórmula.

El factor de pendiente considera el efecto de la pendiente en todos los vehículos.

6.1.3 FACTOR DE AJUSTE POR ESTACIONAMIENTO:

El factor de ajuste de parqueo, f_p , considera el efecto de interferencia de una vía de parqueo sobre el flujo en un grupo de vías adyacente, así como los bloqueos ocasionales de la vía adyacente por los vehículos en movimiento dentro y fuera de los espacios de parqueo.

Cada maniobra (dentro y fuera) asume un bloqueo de tráfico en la vía siguiente a la maniobra de parqueo con un promedio de 18 seg.

El número de maniobras de parqueo usado es el número de maniobras por hora en las áreas directamente adyacentes al grupo de vías y dentro de los 70 metros

aguas arriba de la línea de la parada. Si más de 180 maniobras por hora son efectuadas, un límite de 180 deberá ser usado.

6.1.4 FACTOR DE BLOQUEO POR TRANSPORTE PÚBLICO.

El factor de ajuste de bloqueo por transporte público, f_{bb} , considera el impacto del tránsito local de ómnibus que paran para descargar y carga de pasajeros dentro de una distancia de 70 metros de la línea de parada (aguas arriba o aguas abajo). Este factor sólo debe ser usado cuando el transporte público que para bloquea el flujo de tráfico en el grupo de vías objeto. Si más de 250 ómnibus por hora existen, un límite práctico de 250 debe ser usado. El factor asumido por el HCM como tiempo promedio de bloqueo es de 14.4 segundos durante el período verde. Dado que las condiciones de tráfico y transporte público en el Perú no son iguales que en otros países, se ha efectuado un estudio para determinar el tiempo promedio de bloqueo el cual ha determinado un valor de 8.7 segundos en tiempo de verde. Detalles del estudio se pueden encontrar en el capítulo IV, numeral 10.4.

6.1.5 FACTOR DE AJUSTE POR TIPO DE ÁREA

El factor de ajuste por tipo de área, considera la relativa ineficiencia de la intersección dentro de un área de negocios en comparación con otras zonas, principalmente por la complejidad y congestión general en las cercanías de la zona de negocios o comercial.

La aplicación del factor de reducción por tipo de área es típicamente apropiado en áreas que existen muchas características de distritos centrales de negocio, cuya denominación esta dada por (CBD). Esas características incluyen calles angostas, vías a la derecha, veredas angostas, maniobras frecuentes de parqueo, bloqueo por vehículo, abundante actividad de taxi o ómnibus, o ambos; radios de volteo pequeños, uso limitado de vías exclusivas de volteo a la izquierda, alta actividad de peatones, densidad de población, veredas centrales de corte, etc. El uso de este factor puede ser determinado en base a cada caso, este factor no esta limitado por el diseño de áreas de negocio, este factor no necesariamente será

usado para todos los distritos centrales de negocios. Sin embargo, deberá ser usado en áreas en donde el diseño geométrico, el tráfico o el flujo de peatones o ambos, son tales que el tiempo de saturación de vehículos sea incrementado significativamente al punto que la capacidad de la intersección se vea afectada.

6.1.6 FACTOR DE AJUSTE DE UTILIZACIÓN DE VÍA:

El factor de utilización de la vía considera igual distribución de tráfico en cada vía en el grupo de vías, cuando más de una vía existe y provee un ajuste a la tasa de flujo de saturación para reflejar la tasa en la cual los vehículos son descargados desde el grupo de vías cuando existen variaciones en la vía usada. El factor de ajuste es calculado en base del flujo de la vía con más alto volumen.

$$F_{lu} = v_g / (v_{g1} N) \quad (11) \quad \text{Ref.}[6]$$

donde:

f_{lu} = factor de utilización de la vía

v_g = tasa de flujo de demanda no ajustada para el grupo de vías, vhp.

v_{g1} = tasa de flujo de demanda no ajustada sobre un solo carril en el grupo de vías con el mayor volumen.

N = número de vías en el grupo de vías.

La tasa de flujo de saturación normalmente es ajustada por la utilización de la vía para considerar el efecto de desbalance del uso de las vías. Este ajuste puede ser usado para considerar la variación en el flujo de tráfico sobre una vía individual en un grupo de vías causado por cambios aguas arriba o abajo de la carretera, tal como el número de vías disponible o características del flujo tal como la distribución del tráfico dentro de un grupo de vías debido a grandes movimientos del volteo dentro de una distancia corta desde una intersección. La distribución de volúmenes actuales de las vías observadas en el campo, si es conocido podría ser usado en el cálculo del factor de utilización de la vía. Un factor de utilización de vía de 1.0 puede ser usado cuando la distribución uniforme de tráfico puede ser asumida en todas las vías dentro del grupo de vías o cuando un grupo de vías

esta compuesto por un carril. Cuando las condiciones promedio existen o la distribución de tráfico sobre un grupo de vías no es conocida, los valores de default señalados en la tabla 4 podrían ser usados.

6.1.7 FACTOR DE AJUSTE DE VOLTEO A LA DERECHA.

El factor de volteo depende de un número de parámetros, la característica más importante es la manera en la cual los volteos son acomodados en la intersección. Los volteos pueden operar fuera de las vías exclusivas o compartidas, con fase de señales protegidas o permitidas o con algunas combinaciones de esas condiciones. El impacto de los volteos sobre la tasa de flujo de saturación es mucho más dependiente del modo de operaciones de volteo.

El factor de ajuste de volteo a la derecha, f_{rt} , depende de un número de variables, las cuales incluyen:

1. Los volteos a la derecha son hechos desde una vía exclusiva o compartida.
2. Tipos de fases de señal (protegida, permitida, protegida más permitida), una fase protegida de volteo a la derecha no tiene conflicto con movimientos peatonales y una fase permitida tiene conflicto con movimientos de peatones.
3. Volumen de peatones usando los caminos con conflicto.
4. Proporción de vehículos que voltean a la derecha en la vía compartida.
5. Proporción de volteos a la derecha usando la porción protegida de una fase protegida más permitida.

El ítem 5 puede ser determinado por observaciones en campo, pero una estimación puede ser hecha desde el tiempo del semáforo, asumiendo que la proporción del vehículo que voltea hacia la derecha que usa la fase protegida es aproximadamente igual a la proporción de la fase de volteo que es protegida. Si $P_{rta} = 1.0$, quiere decir que los volteos a la derecha son completamente protegidos de los conflictos con peatones, un volumen de peatones de 0 deberá ser usado. El factor de volteo a la derecha es 1.0 si el grupo de vías no incluye ningún volteo a la derecha.

Cuando el volteo a la derecha es permitido, el volumen de volteo a la derecha puede ser reducido como se describió en la explicación del módulo de ajuste de volumen.

6.1.8 FACTOR DE AJUSTE DE VOLTEO A LA IZQUIERDA.

El factor de ajuste de volteo a la izquierda, f_{lt} , esta basado en un número de variables similares a los del volteo a la derecha, incluyendo:

1. Los volteos la izquierda son efectuados desde vías exclusivas o compartidas.
2. Tipos de fases (protegida, permitida o protegida más permitida).
3. Proporción de vehículos que voltean a la izquierda usando un grupo de vías compartidas.
4. Tasa de flujo opuesto cuando los volteos son hechos en fases permitidas.

El factor de ajuste de volteo a la izquierda es 1.0, si el grupo de vías no incluye ningún volteo a la izquierda. Cuando el volteo a la izquierda no se opone en ningún momento a un flujo de vehículos que circulan en sentido contrario, pero encuentra conflicto con movimiento peatonal, los volteos a la izquierda podrían ser tratados usando el factor de ajuste para procedimientos de volteo a la derecha. Si no hubiera además conflicto con movimientos peatonales, un ajuste de volteo a la izquierda protegido debería ser considerado.

Básicamente, este factor considera que estos movimientos no pueden ser hechos con la misma tasa de saturación que los movimientos de paso defrente. Ellos consumen más del tiempo que tiene disponible y consecuentemente más de la capacidad disponible del grupo de vías.

Los factores de ajuste de volteo en las tablas 11 y 12 reflejan 7 diferentes condiciones bajo los cuales los volteos pueden ser hechos:

Caso 1: Vía exclusiva con fase protegida

Caso 2: Vía exclusiva con fase permitida.

Caso 3: Vía exclusiva con fase protegida más permitida.

Caso 4: Vía compartida con fase protegida.

Caso 5: Vía compartida con fase permitida.

Caso 6: Vía compartida con fase compartida más permitida.

Caso 7: Aproximación con vía simple (solo factor volteo a la derecha).

6.1.8.1 Procedimiento especial: Factor de ajuste del volteo a la izquierda para fase permitida.

Cuando existen volteos a la izquierda permitidos desde vías permitidas, su impacto sobre la operación de la intersección es bastante complicada, el procedimiento señalado a continuación es explicado para los casos 2, 3 y 5.

Caso básico: Volteos a la izquierda permitidos: el caso básico por el cual este modelo fue desarrollado es uno en el cual hay volteos a la izquierda permitidos simples, desde vías exclusivas o compartidas.

Consideremos la figura 6, la cual muestra un volteo a la izquierda permitido hecho desde un grupo de vías compartidas. Cuando la señal verde inicia, la fila opuesta comienza el movimiento. Mientras la fila opuesta despeja, los volteos a la izquierda son efectivamente bloqueados, la porción bloqueada de efectivo verde por la limpieza de una fila opuesta de vehículos es designada por g_q , durante este tiempo la vía compartida desde la cual los volteos a la izquierda son hechos es bloqueada cuando arriban los vehículos que voltean a la izquierda. Hasta que el primer vehículo que voltea a la izquierda arriba, la vía compartida no es afectada por los volteos a la izquierda. La porción de efectivo verde hasta el arribo del primer vehículo que voltea la izquierda es designada por g_r , cuando la fila opuesta de vehículos despeja, los vehículos que voltean a la izquierda se filtraran a través del flujo opuesto no saturado. La porción de efectivo de verde durante la cual los volteos a la izquierda se filtran a través del flujo opuesto es designada por g_u .

Figura 6.

Porciones de la fase verde

Estas posiciones de la fase efectiva de verde para volteos a la izquierda permitidos, crean tres distintos períodos para los cuales el impacto de volteo a la izquierda sobre vías compartidas o exclusivas deben ser considerados:

- g_f : Hasta el arribo del primer vehículo que voltea a la izquierda, la vía compartida no es afectada por los volteos a la izquierda. Durante este período de tiempo el factor de ajuste de volteo a la izquierda es lógicamente 1.0 porque los volteos a la izquierda no están presentes. Por definición, $g_f = 0.0$ segundos, para las vías de volteo a la izquierda exclusiva permitidas, porque se asume que una fila de autos que voltea a la izquierda esta presente en el comienzo de la fase.
- $g_q - g_f$: Si el primer vehículo arriba antes de que la fila opuesta despeje, este esperará hasta que la vía opuesta despeje, bloqueando la vía compartida y entonces buscará un espacio en el flujo opuesto no saturado para seguir. Durante este período de tiempo no hay un movimiento efectivo en la vía compartida y el factor de ajuste de volteo a la izquierda (f_{LT}) aplicado a la vía compartida es lógicamente 0.0.
Cuando el primer vehículo que voltea a la izquierda arriba después de que la fila opuesta a despejado, este período de tiempo no existe, esto es, $g_q - g_f$, tendrá un valor mínimo práctico de cero. El valor de g_q tiene un rango práctico entre 0.0 y g .
- G_u : Después que la fila opuesta a despejado, los vehículos que voltean a la izquierda seleccionan espacios para pasar en el flujo opuesto no saturado. Esto ocurre en una tasa reducida por la interferencia de vehículos opuestos y esta espera tiene efectos sobre los vehículos en la vía compartida desde la cual los volteos a la izquierda son hechos durante este período, la figura 7

asigna el equivalente de vehículos que pasan por cada de vehículo que voltean a la izquierda. De esto, un factor de ajuste puede ser calculado para este período:

$$1/[1.0+ P_L (E_{L1}- 1)] \quad (12) \quad \text{Ref. [6]}$$

Donde P_L es la proporción de vehículos que voltean a la izquierda en la vía compartida. Para vías de volteo a la izquierda exclusiva - permitidas, $P_L = 1.0$.

Figura 7. Equivalente de vehículos que pasan, E_{L1} para volteos a la izquierda permitidos

| | Flujo Opuesto Efectivo, $v'_o = vo/f_{Luo}$ | | | | | | |
|-------------------|---|-----|-----|-----|-----|------|-------------------|
| | 1 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1200 ^a |
| Compartida | 1.4 | 1.7 | 2.1 | 2.5 | 3.1 | 3.7 | 4.5 |
| Exclusiva | 1.3 | 1.6 | 1.9 | 2.3 | 2.8 | 3.3 | 4.0 |

Fuente:Transportation Research Board/HCM Update 1997

^aUse la formula para valores de flujo opuesto mayores de 1,200; v_o debe ser mayor que cero.

$E_{L1} = s_{TH}/s_{LT}$ (exclusiva)

$E_{L1} = s_{TH}/s_{LT} - 1$ (compartida)

$S_{LT} = [v'_o \exp (-v'_o t_c/3,600)]/[1 - \exp (-v'_o t_c/3,600)]$

Donde:

E_{L1} = Equivalente de autos que pasan para volteos a la izquierda permitidos

S_{TH} = Flujo de saturación del tráfico que pasa, $vphvpv \cong 1,900$

S_{LT} = Flujo de saturación que se filtra para volteos a la izquierda permitidos

T_C = Espacio crítico en seg. = 4.5 seg.

T_f = Tiempo de saturación hacia delante, seg. = 2.5 (exclusiva), 4.5 (compartida)

6.1.8.2 Modelo básico para aproximaciones multivía y vías de volteo a la izquierda exclusiva - permitidas.

Basándose en esta concepción de operaciones de volteo a la izquierda permitidos, el factor de ajuste de volteo a la izquierda, para la vía desde la cual los volteos a la izquierda son efectuados puede ser establecidos como:

$$f_m = (g_f/g) (1.0) + [(g_q-g_f) /g] (0.0) + (g_u/g)[1/1+ P_L(E_{L1}-1)] \quad (13) \quad \text{Ref. [6]}$$

$$f_m = (g_f/g) + (g_u/g)[1/1+P_L(E_{L1}-1)] \quad (13a)$$

Nótese que no hay un término en esta formulación que considere los volteos repentinos, esto es, vehículos que completan volteos a la izquierda durante la porción efectiva de rojo del intercambio de cambio y limpieza.

Esto es porque las mediciones de la tasa de flujo de saturación los vehículos son contados cuando ellos entran en la intersección, no cuando ellos salen de esta. Sin embargo en la práctica hay un número mínimo de volteos a la izquierda que podría ser hechos sobre una fase, definiéndose esto como volteos repentinos.

Para considerar esto, en la práctica un valor mínimo debe ser impuesto sobre f_m . Un volteo repentino por ciclo puede ser asumido por ciclo como un mínimo. La probabilidad que un segundo volteo este en posición en el final de la fase verde sería igual a la proporción de volteos a la izquierda en la vía compartida, P_L . El número estimado de volteos repentinos por ciclo podría ser calculado como $(1 + P_L)$. Asumiendo un tiempo promedio de dos segundos por vehículo en una vía exclusiva sobre una fase protegida, el valor práctico mínimo de f_m , puede ser estimado como $2(1 + P_L)/g$.

Podría asumirse simplemente que el factor para la vía compartida es f_m , y que el factor para los otros grupos de vías es de 1.0, esto asume sin embargo que los volteos a la izquierda afectan solo a la vía desde la cual ellos son hechos. Esta es una suposición incorrecta porque los vehículos maniobran desde una vía a la otra alrededor de la congestión de los volteos a la izquierda.

Estudios de regresión sugieren que la siguiente relación es más realista:

$$F_{LT} = [f_m + 0.91 (N-1)]/N \quad (14) \quad \text{Ref. [6]}$$

donde:

f_{LT} = Factor de ajuste de volteo a la izquierda, aplicado para el total del grupo de vías desde donde los volteos a la izquierda son hechos.

F_m = Factor de ajuste de volteo a la izquierda aplicado solo a la vía desde la cual los volteos a la izquierda son hechos.

Cuando una simple (o doble) vía de volteo a la izquierda exclusiva - permitida está involucrada $f_{LT} = f_m$.

Para implementar este modelo es necesario estimar la subporción de la fase efectiva de verde, g_f , g_q y g_u . Relaciones de regresión se han desarrollado para permitir esto:

1. Cálculo de g_f :

$$g_f = G_{\text{exp}} (-0.882 \text{LTC}^{0.717}) - t_L \quad (15) \quad \text{Ref. [6]}$$

(vías de volteo a la izquierda compartida - permitida)

$$g_f = 0.0 \text{ (vías de volteo a la izquierda exclusiva - permitida)}$$

donde:

G = Actual tiempo de verde para fase permitida, seg.

LTC = Volteos a la izquierda por ciclo, vpc, calculado como $v_{LT} C/3600$

v_{LT} = tasa de flujo ajustado de volteo a la izquierda, vph.

C = Duración del ciclo, seg.

t_L = tiempo perdido del grupo de vías objeto, seg.

2. Cálculo de g_q :

$$g_q = \frac{V_{olc}}{0.5 - [V_{olc} (1 - q_{ro}) / g_o]} - t_L \quad (16) \quad \text{Ref. [6]}$$

$$V_{olc}(1 - q_{ro}) / g_o \leq 0.49$$

$$0.0 \leq g_q \leq g$$

donde:

v_{olc} = Tasa de flujo opuesta ajustada por vía, por ciclo, calculado como $v_o C / (3600 N_o f_{LUo})$, vpl.

v_o = tasa de flujo opuesta ajustada, vph.

f_{LUo} = Factor de ajuste de utilización de la vía para el flujo opuesto.

N_o = Número de vías opuesto.

Q_{ro} = Razón de la vía opuesta que es la proporción de flujo opuesto originado en la vía opuesta, calculado como $1 - r_{po}(g_o/C)$, $g_{ro} > 0$.

R_{po} = Razón de grupo para flujo opuesto obtenido de la tabla 2 sobre la base del tipo de arribo opuesto.

G_o = tiempo efectivo de verde para el flujo opuesto, seg.

t_L = tiempo perdido para el grupo de vías opuesto.

3. cálculo g_u :

$$g_u = g - g_q \quad \text{cuando } g_q \geq g_f$$

$$g_u = g - g_f \quad \text{cuando } g_q < g_f$$

Donde: g = tiempo de verde efectivo el volteo a la izquierda objeto en seg.

NOTA: Cuando $g_q < g_f$, esto es, cuando el primer vehículo que voltea a la izquierda no ha arribado hasta después que la fila opuesta ha despejado, un factor de ajuste efectivo de 1.0 es aplicado durante todo g_f y un factor basado sobre E_{L1} posteriormente.

4. Seleccionar el valor apropiado de E_{L1} , desde la figura 7 sobre la base de la tasa de flujo opuesto, v_o , y el factor de ajuste de utilización de la vía del flujo opuesto f_{LUo} . Para propósitos de determinar el valor de v_o , los volteos a la derecha e izquierda desde vías exclusivas no se incluirán en v_o .

5. Cálculo de P_L (Proporción de volteos a la izquierda en vía compartida)

$$P_L = P_{LT} [1 + ((N - 1)g / (g_f + (g_u/EL1) + 4.24))] \quad (17)$$

Ref. [6]

P_{LT} = Proporción de volteo a la izquierda en el grupo de vías.

N = Número de vías o carriles en el grupo de vías.

NOTA: Cuando una vía de volteo a la izquierda exclusiva - permitida está involucrada $P_L = P_{LT} = 1.0$.

6. Cálculo de f_m , usando la ecuación 13.

7. Cálculo de f_{LT} , usando la ecuación 14.

6.1.8.3 Modelo básico para aproximaciones de vía simple opuestas a aproximaciones de vía simple.

El caso de aproximaciones de simple vía opuesta a otra aproximación de vía simple tienen un número de características únicas que son reflejadas en este modelo. El más crítico de estos es el efecto de volteos a la izquierda opuestos. Un vehículo opuesto volteando a la izquierda crea un espacio a través del flujo opuesto cuando el volteo a la izquierda puede ser efectuado. Esto puede ocurrir cuando la fila opuesta ha despejado durante la porción no saturada de la fase verde.

Así pues, asumir en el modelo multivía que no hay flujo durante el período $g_q - g_f$ donde ($g_q > g_f$) no es aplicable a una aproximación de vía simple opuesta, sobre la cual hay un flujo sobre este período una reducida tasa, reflejando el efecto de bloque de los vehículos que voltean a la izquierda cuando ellos aguardan un volteo a la izquierda opuesto.

Vehículos volteando a la izquierda durante el período $g_q - g_f$, son designados como “equivalentes de vehículos que pasan” con el valor, E_{L2} , basado sobre un simple análisis de filas, el cual puede ser reconvertido a un factor de ajuste para aplicación durante este período de verde.

Como los vehículos no tienen la flexibilidad para seleccionar vías en una aproximación de vía simple, relaciones de regresión para predecir g_f y g_q son diferentes a los casos de multivías.

Por tanto, para las aproximaciones de una vía simple, $f_{LT} = f_m$ y $P_L = P_{LT}$. Como en un caso multivía, el modelo de vía simple opuesto no tienen un término para considerar los volteos repentinos, pero tiene un valor práctico mínimo de $f_{LT} = 2(1 + P_{LT})/g$.

El modelo básico para aproximaciones de vía simple opuesta es el siguiente:

$$f_{LT} = f_m = (g_f/g)(1.0) + (g_{diff}/g) [1/(1 + P_{LT}(E_{L2}-1))] + (g_u/g)[1/(1 + P_{LT}(E_{L1}))] \quad (18)$$

$$f_{LT} = f_m = (g_f/g) + (g_{diff}/g) [1/(1 + P_{LT}(E_{L2}-1))] + (g_u/g)[1/(1 + P_{LT}(E_{L1}))] \quad (18a)$$

Ref. [6]

Donde $g_{diff} = \text{Max}(g_g - g_f, 0)$. Nótese que cuando no hay volteos a la izquierda presentes, el valor de g_{diff} deberá ser 0.0.

Para implementar este modelo es necesario estimar las sub-porciones de la fase efectiva de verde, g_f , g_q y g_u , como sigue.

1. Cálculo de g_f :

$$g_f = G \exp(-0.860LTC^{0.629}) - t_L, \quad 0 \leq g_f \leq g \quad (19) \quad \text{Ref. [6]}$$

donde:

G = Tiempo actual de verde para la fase permitida, seg.

LTC = Volteos a la izquierda por ciclo, VCP, calculando como $v_{LT}C/3000$

v_{LT} = tasa de flujo ajustado a la izquierda, vph.

C = Duración del ciclo en seg.

t_L = Tiempo perdido para el grupo de vías objeto, seg.

2. Cálculo de g_q :

$$g_q = 4.943 V_{olc}^{0.762} q_{ro}^{1.061} - t_L, \quad 0.0 \leq g_q \leq g \quad (20) \quad \text{Ref. [6]}$$

Donde:

V_{olc} = Tasa de flujo ajustada opuesta por vía, por ciclo, calculada como $v_o C/3600 f_{LU}$) vpvpc.

V_o = Tasa de flujo ajustada opuesta vph.

f_{LUo} = Factor de ajuste de utilización de la vía, para el flujo opuesta

q_{ro} = Razón de vía opuesta, que es, la proporción de la tasa de flujo opuesta calculada como $1 - R_{po}(g_o/C)$, $q_{ro} > 0$.

P_{po} = Razón de grupo para el flujo opuesto, obtenido de la tabla 2 sobre la base del tipo de arribo opuesto.

G_o = Tiempo efectivo de verde para el flujo opuesto, seg.

T_L = Tiempo perdido para el grupo de vías opuestas.

3. Cálculo de g_u :

$$g_u = g - g_q \quad \text{cuando} \quad g_q \geq g_f \quad \text{Ref. [6]}$$
$$g_u = g - g_f \quad \text{cuando} \quad g_q < g_f$$

Donde g = es el tiempo efectivo de verde para el volteo a la izquierda permitido en seg.

NOTA: Cuando $g_q < g_f$, esto es, cuando el primer vehículo que voltea a la izquierda no arriba hasta después que la fila opuesta ha despejado, un factor de ajuste efectivo de 1.0 es aplicado completamente g_f y un factor basado en E_{L1} posteriormente.

4. Seleccionar el valor apropiado de E_{L1} desde la figura 7, sobre la base de la tasa de flujo opuesta, v_o y un factor de ajuste de utilización de la vía del flujo opuesto, f_{LUo} .

5. Cálculo de E_{L2} :

$$E_{L2} = (1 - P_{THo}^n) / P_{LT0}, \quad E_{L2} \geq 1.0 \quad (21)$$

Donde:

P_{LT0} = Proporción de volteo a la izquierda en la aproximación opuesta de vía simple.

P_{TH0} = Proporción de vehículos que cruzan de frente y voltean a la derecha en la aproximación opuesta de vía simple calculada como $1 - P_{LTC}$.

n = Máximo número de vehículos opuestos que podrían arribar durante $g_q - g_f$, calculado como $(g_q - g_f) / 2$.

Nótese que esta sujeto a un mínimo valor de cero.

6. Cálculo de f_{LT} usando la ecuación 18.

6.1.8.4 Casos especiales para volteos a la izquierda permitidos.

Dos casos especiales para volteos a la izquierda permitidos pueden ser señalados:

Una aproximación de vía simple opuesta a una aproximación multivía y viceversa. Cuando la vía objeto en este caso es una aproximación de vía simple, esta es opuesta a una multivía con flujo opuesto. Entonces si la aproximación opuesta tiene una vía simple de paso y una vía exclusiva de volteo a la izquierda, los volteos a la izquierda opuestas no encontrarán espacios en el flujo opuesto. Así pues, la estructura especial del modelo de una vía simple no es aplicable. El modelo multivía es aplicable, excepto que $f_{LT} = f_m$, el valor de g_f puede ser calculado usando la ecuación de vía simple, $g_f = G \exp(-0.860LTC^{0.629}) - t_L$.

Cuando la aproximación multivía es considerada, lo contrario también es cierto. El flujo opuesto esta en una vía simple y los volteos a la izquierda opuestos pueden conservadoramente encontrar espacios para los volteos. El modelo de vía simple puede ser aplicado con algunas modificaciones:

- g_f puede ser calculado usando la ecuación de multivía:

$$g_f = G \exp(-0.882 LTC^{0.717}) - t_L \quad \text{Ref. [6]}$$

- P_L , debe ser estimado y sustituido por P_{LT} en el modelo de vía simple. P_L puede ser estimado desde P_{LT} usando la ecuación de multivía.

$$P_L = P_{LT} [1 + ((N-1)g/(g_f + (g_u / E_{L1}) + 4.24))] \quad (17)$$

- f_{LT} no es igual que f_m . Así pues, la conversión debe ser hecha usando la ecuación de multivía, excepto cuando la aproximación objeto es una doble vía de volteo a la izquierda

$$f_{LT} = [f_m + 0.91 (N-1)] / N \quad \text{Ref. [6]}$$

Los cuadros pueden ser usados para asistir en la implementaron de los modelos especiales para movimientos de volteo a al izquierda permitidos, éstos son presentados en la sección de procedimientos más adelante, estos cuadros no consideran las modificaciones de vía simple opuesta a aproximaciones multivía y viceversa.

Sin embargo, estas modificaciones son simples de efectuar siguiendo el procedimiento y formulas señaladas anteriormente.

7.0 MÓDULO DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD.

En el módulo de análisis de la capacidad, los resultados de cálculos de módulos previos son manipulados para calcular las variables de capacidad incluyendo.

1. Razón de flujo para cada grupo de vías
2. La capacidad para cada grupo de vías.
3. La relación volumen - capacidad para cada grupo de vías.
4. La relación volumen capacidad crítica para toda la intersección.

La razón de flujo es calculada por la división de flujo de demanda ajustada v , calculado en el módulo de ajuste de volumen, entre la tasa de flujo de saturación, s , calculado, en el módulo de la tasa de flujo de saturación.

La capacidad de cada grupo de vías es calculada con la ecuación 3:

$$i = s_i (g_i/C)$$

Si el tiempo de la señal no es conocido, un plan de tiempos tendrá que ser estimado o estimados para hacer estos cálculos.

La razón v/c para cada grupo de vías es calculada directamente de la división del flujo ajustado y la capacidad calculada anteriormente (c_i) en la ecuación 4:

$$X_i = v_i / c_i$$

El parámetro de capacidad final de interés, es la razón crítica v/c , X_c , para la intersección. Esta es calculada con la ecuación 5 como se muestra:

$$X_c = \sum (v/s)_{c_i} C / (C-L)$$

La razón indica la proporción de capacidad disponible que puede ser utilizada por los vehículos en el grupo de vías crítico.

Si esta razón excede 1.0, uno o más grupos de vías críticas serán sobre - saturadas. Una razón por encima de 1.0 es un indicativo que el diseño de la intersección, duración del ciclo o el plan de fases es inadecuado, o las tres son inadecuadas para la demanda dada.

Una razón menor que 1.0 indica que el diseño, duración del ciclo y el plan de fases es adecuado para manejar todos los flujos críticos teniendo una capacidad que

excede a la demanda, asumiendo que los tiempos de verde están proporcionalmente asignados. Cuando la división de fases no es proporcional a la razón v/s , algunas demandas de movimiento pueden exceder igualando la capacidad de movimientos donde la razón crítica v/c es menor que 1.0.

El cálculo de la razón crítica v/c , X_c , requiere que los grupos de vías críticos sean identificados. Durante cada fase de señales, uno o más grupos de vías estarán en verde. Un grupo de vías tendrá la mayor intensidad de demanda y será el que determine la cantidad de tiempo de verde necesario.

Este grupo de vías podrá ser el grupo de vías crítico para la fase en cuestión. El grupo de vías crítico para cada fase de señal en efecto controlará el requerimiento de tiempo de la señal ó dará el tiempo de señal, el grupo de vías crítico será el más restringido de estos.

La medición normalizada de la intensidad de la demanda sobre cualquier grupo de vías esta dado por la relación v/s para el grupo de vías.

Cuando no hay traslape de fases en el diseño de la señal, tal como en una señal de dos fases simples, la determinación de dos grupos de vías críticos estará dada: en cada fase separada, el grupo de vías con la relación v/s más alta será la crítica.

Así pues, cuando las fases no se traslapan:

1. Hay un grupo de vías crítico para cada fase de señal.
2. En cada fase, el grupo de vías crítico es el que tiene la más alta relación v/s entre los grupos de vías en movimiento en esa fase.
3. Las razones v/s de los grupos de vías críticos serán sumadas para usarlos en el cálculo de X_c .

Las fases traslapadas son más difíciles de analizar, porque varios grupos de vías pueden estar moviéndose en varias fases de señal y algunos movimientos de volteo a la izquierda pueden operar sobre una fase protegida y permitida basada en varias porciones del ciclo. En tales casos es necesario encontrar la ruta crítica a través del ciclo de la señal, la ruta que tenga la más alta suma de relaciones v/s es la ruta crítica.

Cuando las fases se traslapan, la ruta crítica se conformara por las siguientes reglas.

1. Los tiempos perdidos se excluirán, un grupo de vías crítico deberá estar moviéndose durante todo el tiempo del ciclo de la señal.
2. En ningún momento en el ciclo de la señal, puede haber más de un grupo de vías crítico en movimiento.
3. La ruta crítica tendrá la suma más alta de relaciones v/s.

En algunas situaciones de fases complejas, puede ser que no sea posible identificar los movimientos críticos según lo señalado aquí (por ejemplo en movimientos protegidos y permitidos en vías compartidas bajo volteos a la izquierda, caso 6). En tales casos, el usuario podría necesitar asignar volúmenes de la manera más lógica posible o simplemente omitir la determinación de v/c crítica del análisis.

8.0 MÓDULO DE NIVEL DE SERVICIO

En el módulo de nivel de servicio, el control promedio de demora por vehículo es estimado para cada grupo de vías, y el promedio para todas las aproximaciones y para la intersección como un todo. El nivel de servicio esta directamente relacionado al valor de control de demora, como se muestra en la tabla 1. Ref.[6] Los valores derivados desde las fórmulas representan el control promedio de demora experimentado para todos los vehículos que arriban en el período de análisis, incluyendo las demora incurridas más allá del período de análisis cuando el grupo de vías esta sobre saturado.

El control promedio de demora por vehículo para un grupo de vías dado es:

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (22) \quad \text{Ref. [6]}$$

Donde:

d_1 = Componente del control uniforme de demora
asumiendo arribos uniformes, seg/veh.

PF = Factor de ajuste de progresión uniforme de demora que considera los efectos de la progresión de la señal sobre la demora.

d_2 = Componente incremental de demora para considerar el efecto aleatorio y sobre saturación de filas, ajustado para la duración del período de análisis y el tipo de control de señal; este componente de demora asume que no hay una demanda residual para el grupo de vías en el comienzo del período de análisis, seg/veh.

d_3 = Demora por demanda residual para considerar la sobre saturación de filas que pueden tener existencia antes del período de análisis, seg/veh, este componente es detallado más adelante.

8.1 DEMORA UNIFORME d_1 :

La ecuación 23, da una estimación de la demora sumiendo arribos perfectamente uniformes y flujo estable. Esta basada en el primer término de la formulación de la demora de WEBSTER'S y es ampliamente aceptado como un procedimiento de cálculo de la demora para casos idealizados de arribos uniformes.

Nótese que los valores de X más allá de 1.0 no son usados en el cálculo de d_1 .

$$d_1 = \frac{0.50 C (1 - g / C)^2}{1 - \text{Min}(1, X)g / C} \quad (23) \quad \text{Ref. [6]}$$

Donde:

C = Duración del ciclo en seg. (duración del ciclo en señales preestablecidas, o promedio de duración de ciclo en controles auto ajustables)

g = Tiempo efectivo de verde para el grupo de vías, seg.

X = Razón v/c o grado de saturación para el grupo de vías.

Factor de ajuste de progresión, PF, una buena progresión de señal resultara en una alta proporción de vehículos arribando en verde.

Una mala progresión de señal tendrá un bajo porcentaje de vehículos arribando en verde, el factor de ajuste de progresión, PF, es aplicable a todos los grupos de vías coordinadas incluyendo controles preajustados y grupos de vías en sistemas de control semi – automáticos. En circunstancias donde controles coordinados son explícitamente provistos para grupos de vías con controles auto ajustables, PF puede también ser aplicado a estos grupos de vías. La progresión afecta primariamente a la demora uniforme, y por esta razón el ajuste sólo es aplicado a d_1 . El valor de PF puede ser determinado por:

$$PF = \frac{(1 - P) f_p}{1 - (g/C)} \quad (24) \quad \text{Ref.}[6]$$

Donde:

P = Proporción de vehículos que arriban en verde.

g/C = Proporción de tiempo de verde disponible.

f_p = Factor suplemental de ajuste para cuando el grupo arriba durante el verde.

Los valores de default para f_p son 0.93 para arribos tipo 2, 1.15 para arribos tipo 4 y 1.0 para todos los otros arribos.

El valor de P puede ser medido en el campo o estimado desde el tipo de arribo. Si la medición es hecha en campo, P puede ser determinado como la proporción de vehículos en el ciclo que arriban a la línea de parada o fila junta (estacionaria o en movimiento) mientras la fase verde es mostrada. PF puede ser calculado desde los valores medidos de P ó usando los valores de default de f_p . Alternativamente la tabla 13 puede ser usada para determinar PF como una función del tipo de arribo basados sobre los valores de default de P ($R_p g_i/C$) y f_p , asociado con cada tipo de arribo. Si PF es estimado con la ecuación 24, este valor calculado puede exceder de 1.0, para arribos tipo 4 con valores extremadamente bajos de g/C . Como una manera práctica, PF puede ser asignado a un valor máximo de 1.0 para arribos tipo 4. Esto también deberá ser tomado en consideración en la tabla 13.

TABLA 13. Factores de ajuste de progresión (PF)

| FACTOR DE AJUSTE DE PROGRESIÓN (PF) | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
| PF = (1 - P)f _p /(1 - g/C) | | | | | | |
| | TIPO DE ARRIBO (TA) | | | | | |
| | TA-1 | TA-2 | TA-3 | TA-4 | TA-5 | TA-6 |
| 0.20 | 1.167 | 1.007 | 1.000 | 1.000 ³ | 0.833 | 0.750 |
| 0.30 | 1.286 | 1.063 | 1.000 | 0.986 | 0.714 | 0.571 |
| 0.40 | 1.445 | 1.136 | 1.000 | 0.895 | 0.555 | 0.333 |
| 0.50 | 1.667 | 1.240 | 1.000 | 0.767 | 0.333 | 0.000 |
| 0.60 | 2.001 | 1.395 | 1.000 | 0.576 | 0.000 | 0.000 |
| 0.70 | 2.556 | 1.653 | 1.000 | 0.256 | 0.000 | 0.000 |
| Default, f _p | 1.00 | 0.93 | 1.00 | 1.15 | 1.00 | 1.00 |
| Default, R _p | 0.333 | 0.667 | 1.000 | 1.333 | 1.667 | 2.000 |

Fuente: Transportation Research Board/HCM/Update 1997

NOTA: 1. Tabulación basada en valores de default de f_p y R_p.

2. P = R_pg/C (no debe exceder de 1.0)

3. PF no puede exceder de 1.0 para arribos tipo 3 hasta tipo 6.

La aplicación del factor de ajuste de progresión requiere detallado conocimiento de distancias, velocidad de viaje y señalización de intersecciones. Cuando la demora involucra futuras situaciones, la coordinación debe ser estimada, es viable asumir arribos tipo 4 como una condición base para grupos de vías coordinadas (excepto volteos a la izquierda), en tales casos P puede ser estimado usando los valores por defecto de R_p de la tabla 2 y la ecuación 7 como R_p g_i /C.

Arribos tipo 3 pueden ser asumidos para todos los grupos de vías no coordinadas. Los movimientos hechos desde vías exclusivas de volteo a la izquierda sobre fases protegidas no son usualmente provistas con una buena progresión. Así pues, arribos tipo 3 son usualmente asumidos para volteos a la izquierda coordinados. Cuando el tipo de arribo actual es conocido este debe ser usado. Cuando los volteos a la izquierda coordinados son parte de una fase protegida permitida, sólo el tiempo efectivo de verde debe ser usado para determinar PF, si

la fase protegida es normalmente la fase asociada con la coordinación del grupo. Cuando el grupo de vías contiene movimientos que tiene diferentes niveles de coordinación un promedio ponderado de flujo de P podría ser usado en la determinación de PF.

8.2 DEMORA INCREMENTAL d_2 :

La ecuación 25 estima el incremento de demora debido a arribos no uniformes y fallas temporales de ciclo (demoras aleatorias) así como las causadas por sustanciales períodos de sobre saturación (demora por sobre - saturación). Esto es sensible al grado de saturación del grupo de vías (X), la duración del período de análisis (T), la capacidad del grupo de vías (c) y el tipo de control de señal reflejado por el parámetro de control (K). La fórmula asume que no hay demanda no servida causada por filas residuales en el comienzo del período de análisis (T). Si este no es el caso se podrá consultar el apéndice final para el procedimiento que considera el efecto de una fila inicial sobre la demora.

Finalmente, el término de incremento de demora es válido para todos los valores de X, incluyendo sobre - saturaciones altas en los grupos de vías. La expresión para d_2 es:

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8KIX}{cT}} \right] \quad \text{Ref. [6]}$$

Donde:

- T = Duración del período de análisis, horas.
- k = Factor de demora incremental que es dependiente del ajuste del controlador.
- I = Factor de ajuste de filtrado/medición aguas arriba.
- c = Capacidad del grupo de vías, vph.
- X = Relación v/c del grupo de vías o grado de saturación.

8.2.1 Término de calibración de incremento de demora (K)

El término de calibración (K) esta incluido en la ecuación 25, para incorporar el efecto del tipo de control sobre la demora.

Para señales pre - temporizadas, un valor de $K = 0.50$ es usado en el cálculo. Este valor esta basado sobre un proceso de filas con arribos aleatorios y tiempo de servicio uniforme equivalente a la capacidad del grupo de vías, controles auto - ajustables, por otro lado tienen la capacidad de manejar el tiempo de verde para la demanda cíclica, así pues reduciendo el sobre incremento del componente de la demora.

La reducción de la demora depende en parte de la unidad de extensión del controlador y la relación prevaleciente v/c .

Recientes estudios indican que bajas unidades de extensión resultan en bajos valores de K y d_2 , sin embargo, cuando v/c se aproxima a 1.0 un controlador auto - ajustable proveerá de una manera similar a un controlador preajustado con el máximo ajuste.

Así pues, el parámetro K convergerá para valores preajustados de 0.50 para $X \geq 1.0$. Los valores recomendados de K para grupos de vías con controles preajustados o auto ajustables son dados en la tabla 14.

Para valores de unidades de extensión distintas a los listados en la tabla 14, los valores K pueden ser interpolados. Si la fórmula en la tabla 14 es usada, el valor de K_{min} (el valor de K para $X = 0.5$) primero deberá ser interpolado para la unidad de extensión dada y luego la fórmula será usada.

La tabla 14 puede ser extrapolada para valores de unidades de extensión más allá de 5 seg., pero en ningún caso se extrapolarán valores de K que excedan de 0.5.

TABLA 14. Valores recomendados de k para grupos de vías bajo controles Preajustados o Auto ajustables.

| GRADO DE SATURACIÓN (X) | | | | | | |
|--------------------------------|-------------|------|------|------|------|------------|
| | ≤ 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | ≥ 1.0 |
| ≤ 2.0 | 0.04 | 0.13 | 0.22 | 0.32 | 0.41 | 0.50 |
| 2.5 | 0.08 | 0.16 | 0.25 | 0.33 | 0.42 | 0.50 |
| 3.0 | 0.11 | 0.19 | 0.27 | 0.34 | 0.42 | 0.50 |
| 3.5 | 0.13 | 0.20 | 0.28 | 0.35 | 0.43 | 0.50 |
| 4.0 | 0.15 | 0.22 | 0.29 | 0.36 | 0.43 | 0.50 |

| | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|
| 4.5 | 0.19 | 0.25 | 0.31 | 0.38 | 0.44 | 0.50 |
| 5.0 ¹ | 0.23 | 0.28 | 0.34 | 0.39 | 0.45 | 0.50 |
| Movimientos preajustados o no automáticos | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |

Fuente: Transportation Research Board/HCM/Update 1997

NOTA: Para valores de k_{min} y UE dadas, para $X=0.5$; $k = (1-2 k_{min})(X-0.5) + k_{min}$, $k \geq k_{min}$, $k \leq 0.5$.

¹Para UE > 5.0, extrapolar para encontrar k, teniendo en cuenta que $k \leq 0.5$.

8.2.2 Factor de ajuste de filtrado/medición aguas arriba, I.

El factor de ajuste de incremento de demora, I, incorpora los efectos de medición de arribos desde aguas arriba de la señal, para un análisis de señal aislada, un valor de 1.0 debe ser usado.

8.3 DEMORA POR DEMANDA RESIDUAL d_3 .

Cuando una demanda residual desde un período de tiempo previo causa una fila residual que ocurre en el comienzo del período de análisis (T), una demora adicional es experimentada por los vehículos que arriban en el período, debido a que las filas residuales deberán primero despejar la intersección. Un procedimiento para determinar esta demora suplemental es descrito en detalle en el apéndice final. Si este no es el caso, un valor d_3 de cero debe ser usado.

8.4 DEMORA ESTIMADA TOTAL.

El procedimiento para la estimación de la demora determina el control promedio de demora por vehículo para cada grupo de vía. Esto también puede ser determinado para el promedio de demora de una aproximación de la intersección y para toda la intersección. En general, esto es hecho para calcular promedios ponderados, donde las demoras del grupo de vías son ponderadas para los flujos ajustados en los grupos de vías.

Así pues, la demora para una aproximación es calculada como:

$$d_a = \sum \frac{d_i v_i}{v_i} \quad (26) \quad \text{Ref.}[6]$$

Donde:

d_A = demora para la aproximación A, seg./veh.

d_i = demora para el flujo de vías i (sobre la aproximación A)
seg./veh.

V_i = flujo ajustado para el grupo de vías i , vph.

El control de demora de la aproximación puede entonces ser adicionalmente promediado para determinar la demora promedio de la intersección.

$$d_i = \sum \frac{d_A v_A}{v_A} \quad (27) \quad \text{Ref.}[6]$$

Donde:

d_i = Demora promedio por vehículo para la intersección,
seg/veh

v_A = flujo ajustado para la aproximación A, vph.

8.5 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO.

El nivel de servicio esta directamente relacionado con el control promedio de demora por vehículo. Una vez que la demora ha sido estimada para cada grupo de vía o totalizada para cada aproximación y la intersección total, la tabla 1 es consultada, y el apropiado nivel de servicio es determinado para cada componente.

TABLA 1. Criterio de Nivel de Servicio para Intersecciones Semaforizadas

| NIVEL DE SERVICIO | CONTROL DE DEMORA POR VEHICULO (SEG) |
|--------------------------|---|
| A | ≤ 10 |
| B | $> 10 \text{ y } \leq 20$ |
| C | $> 20 \text{ y } \leq 35$ |
| D | $> 35 \text{ y } \leq 55$ |
| E | $> 55 \text{ y } \leq 80$ |
| F | > 80 |

Fuente:Transportation Research Board/HCM 1997

CAPÍTULO III

9.0 PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

Análisis Operacional.- El análisis operacional se divide en 5 sub módulos de análisis: a) Módulo de Entrada, b) Módulo de Ajuste de volumen, c) Módulo de Flujo de saturación, d) Módulo de Análisis de Capacidad y e) Módulo de Nivel de Servicio.

Un grupo de vías dado pueden tener:

- Vueltas a la izquierda desde una vía exclusiva
- Vueltas a la izquierda desde una vía compartida, ó,
- Ninguna vuelta a la izquierda

Cuando las vueltas a la izquierda están presentes, las fases de señal proveen:

- Permitidas vueltas a la izquierda
- Protegidas vueltas a la izquierda
- Y una combinación de vueltas a la izquierda protegidas y permitidas

9.1 MÓDULO DE ENTRADA DE DATOS

El módulo de entrada es esencialmente un resumen de la geometría, tráfico y características de señalización necesarias que conducirán a otros cálculos.

Cuando un caso existente está bajo estudio, mucha de esta información será obtenida en el campo. Cuando condiciones futuras están bajo consideración, la información de tráfico será proyectada y la geometría y el diseño de señales se harán en condiciones existentes o para un propósito establecido.

El módulo de entrada puede esquematizarse en una hoja de ingreso de datos.

En dicha hoja se ingresará el volumen de tráfico, la geometría, las condiciones de tráfico y de las vías y el diseño de las fases de la señal.

9.1.a Ingreso de los Volúmenes de Tráfico.- Para cada movimiento se ingresarán los flujos de vehículos en (vph) representados por la sumatoria de todos los tipos de vehículos que cruzan la intersección, para períodos de análisis de 15 minutos o volúmenes horarios, se ingresarán en los recuadros mostrados en cada esquina del diagrama de la intersección. Asimismo, se colocarán los flujos de vueltas a la izquierda, paso de frente y vueltas a la derecha, debajo de cada flecha o dirección señalada para cada recuadro.

La sumatoria de los volúmenes en cada dirección será igual al total de flujo en esa aproximación.

9.1.b Información Geométrica.- Los detalles de la geometría de las vías deben ser mostrado dentro del diagrama de la intersección que se encuentra en la misma hoja de ingreso de datos. Los detalles incluirán:

- Número de vías

- Ancho de vía.
- Movimientos del tráfico para cada vía, señalándolo con flechas.
- Existencia y localización de vías de estacionamiento.
- Localización de paraderos de ómnibus o transporte público.
- Localización de zonas de carga o almacenaje.
- Otras características con canalización.

Cuando las condiciones geométricas no son conocidas, se podrá tomar basándose en una propuesta.

9.1.c Ingreso de las Condiciones de Tráfico y Condiciones de Vía.- Se ingresarán una serie de parámetros requeridos para cada aproximación.

- a) El grado de aproximación o pendiente se ingresa en la primera columna, un signo positivo indica subida y el negativo significa bajada.
- b) El porcentaje de vehículos pesados es ingresado en la segunda columna. Normalmente se usará el promedio en valor entero, cuando el porcentaje de vehículos pesados varíe significativamente entre movimientos, porcentaje separados, deberán ser usados para cada movimiento (izquierda, paso de frente, a la derecha). Un vehículo pesado para el caso de Lima - Perú se define como cualquier vehículo con más de 4 llantas tocando el pavimento, no debiéndose considerar las llamadas Combis o Custer que se encuentren bajo esta condición.
- c) La tercera y cuarta columna describen las características de estacionamiento en la aproximación. La tercera columna indica la presencia de una vía de estacionamiento adyacente a la intersección "S" o "N", se ingresa según corresponda.

La cuarta columna indica el número de maniobras de estacionamiento por hora dentro y fuera de la vía de estacionamiento, hasta una distancia de 70 metros de la línea de parada de la intersección.

- d) El número de paradas de ómnibus por hora para carga y descarga de pasajeros entre los con fines de la intersección, se ingresan en la cuarta columna, cualquier parada de ómnibus hasta 70 m. Sobre y antes de la línea de parada es considerada como dentro de los con fines de la intersección.
- e) El factor de hora pico es ingresado en la sexta columna, este será usado para convertir valores horarios a relaciones de flujo de 15 minutos, en los casos que los flujos de 15 minutos hallan sido ingresados el valor de PHF será de 1.0.
- f) El número de peatones por hora que tienen un conflicto con los vehículos en cada dirección de la aproximación, este valor es ingresado en la séptima columna. Para la aproximación desde el Norte corresponderá los que cruzan al Este, para la aproximación desde el Sur los que cruzan al Oeste, para la aproximación desde el Este los que cruzan al Sur y para la aproximación desde el Oeste los que cruzan al Norte.
- g) La octava y novena columna describe la existencia de control de señales para el cruce de peatones, es decir semáforos peatonales en la intersección.

En la columna octava se colocara "Si" o "No" según corresponda la existencia de botones controladores para cruce de peatones. En la columna nueve, se indica el mínimo tiempo de verde necesario para que un peatón cruce la calle (G_p).

- h) La décima y última columna es usada para indicar la calidad de la progresión de la señal. También puede ser el valor de P, la proporción de vehículos que arriban en verde o también el tipo de arribo (1 – 6) se puede ingresar aquí.

9.1.d Ingreso del diseño de fases de la señal

La secuencia de fases de señal es diagramada en 8 recuadros al final de la hoja de entrada de datos. Cada recuadro es usado para mostrar una fase simple o sub fase durante la cual los movimientos permitidos se mantienen constantes.

- a) Para cada fase, los movimientos permitidos son dibujados con flechas. Las vueltas permitidas son dibujadas con flechas punteadas y los volteos protegidos con flechas sólidas, los flujos de peatones pueden ser dibujados con líneas punteadas.
- b) Para cada fase, el actual tiempo de verde (G) y el actual tiempo de amarillo más todo rojo (Y) serán señalados en segundos en la fila etiquetada como "Tiempo".
- c) Cada fase será identificada como pretemporizada (P) o en movimiento (A) en sus respectivos recuadros.

Cuando el diseño de señales no es conocido, se podrá tomar entre dos decisiones: que tipo de controles se asumirá para el análisis y que secuencia de fases se usará. Estas dos preguntas son importantes porque ellas influirán en la determinación del grupo de vías para el análisis. Este punto del diseño de señales podrá ser proyectado basándose en la localidad o a la práctica local.

El establecimiento de señales temporizadas usualmente involucra cálculos iterativos, por este motivo es preferible para simplificar el análisis de temporalización de señales usar cálculos de prueba y error para determinar una temporalización final aprobada.

Si se requiere implementar un plan completo de temporización de señales, existe una variedad de modelos de optimización profesionales de temporización de señales que puedan ser usados para este propósito.

9.2 MÓDULO DE AJUSTE DE VOLUMEN

El segundo módulo de análisis está enfocado en a) ajuste de volúmenes de movimiento horario a cantidades de flujo para períodos pico de 15 minutos dentro de la hora y b) establecimiento de grupos de vías para el análisis. El módulo de ajuste de volumen proporcionará los flujos de demanda en forma adecuada para el análisis y proveerá valores para ser usados en subsecuentes módulos de análisis. Este módulo puede ser sintetizado en una hoja en la cual se pueden ingresar los datos necesarios.

En la señalada hoja se ingresarán los datos en cada columna tal como a continuación se detalla:

9.2.a Ingreso de Volúmenes Horarios

El volumen horario de movimientos o flujos de 15 min. En (vph) se ingresan en la columna 3 de la hoja de módulo de ajuste de volúmenes. Estos valores se toman directamente del diagrama de intersección que se encuentra en la hoja de módulo de entrada.

9.2.b Conversión de Volúmenes Horarios a cantidades de flujo pico

Si se han usado volúmenes horarios, el factor de hora pico (PHF) para cada movimiento se ingresa en la columna 4. Si los valores de flujo usados han sido los de períodos de 15 minutos, entonces PHF= 1.0. Los volúmenes horarios se dividen entre PHF para el cálculo de los flujos picos.

$$V_p = V/PHF$$

Donde V_p es la cantidad de flujo para períodos de análisis de 15 min, este resultado se ingresará en la columna 5.

9.2.c Establecimiento de los grupos de vías para el análisis.

Los grupos de vías son establecidos sobre la base de las recomendaciones señaladas a continuación.

Las vías de volteo exclusivas son establecidas siempre como grupo de vías separadas, donde las vías de vueltas a la izquierda y continuas existen en una aproximación con vías adicionales de tráfico continuo, ellas deben ser chequeadas para determinar si ellas operan en un modo de equilibrio compartido o con un exceso de volteos a la izquierda.

Este chequeo involucra la determinación de la proporción de vueltas a la izquierda en la vía separada. Si estos valores son iguales o exceden de 1.0, la vía separada será considerada como una vía exclusiva de volteo a la izquierda. La proporción de vueltas a la izquierda en vías separadas será determinada posteriormente como parte del módulo de flujo de saturación.

Los grupos de vías son dibujados en la columna 6 de la respectiva hoja y se ilustrarán con flechas las vías y movimientos incluidos en el grupo.

Los movimientos de volteo permitido serán dibujados con líneas punteadas, y los movimientos de volteo protegidos serán dibujados con flechas sólidas. Cuando exista volteo protegido y permitido se usarán ambos tipos de flechas.

9.2.d Cantidad de flujo ajustada en el flujo de vías

Luego de establecerse los grupos de vías, la cantidad de flujo para todos los movimientos se ingresarán en la columna 7 como la cantidad de flujo ajustada al grupo de vías "v", la cual se obtiene de la suma de los valores de flujo en cada dirección.

9.2.e Ingreso de la proporción de volteos a la izquierda y derecha en el grupo de vías.

La proporción de vueltas a la izquierda y derecha en el grupo de vías se ingresará en la columna 8, estos valores serán calculadas como sigue:

$$P_{lt} = V_{lt}/v$$

$$P_{rt} = V_{rt}/v$$

Donde P_{lt} y P_{rt} son las proporciones de volteos a la izquierda y derecha efectuada por los vehículos usando el grupo de vías, este valor se expresará en valores decimales. Los flujos de volteo a la izquierda y derecha se obtendrán de la columna 5 y el flujo total del grupo de vías se obtendrá de la columna 7.

9.3 MÓDULO DE FLUJO DE SATURACIÓN

En el módulo de flujo de saturación, se calcula el flujo de saturación total que pueda ser acomodado en el grupo de vías bajo las condiciones prevalecientes. Para este módulo también se usa una hoja de trabajo con un cuadro en el cual se ingresaron los valores que correspondan, tal como a continuación se describe:

9.3.a Descripción del grupo de vías

En la columna 1 del cuadro del módulo de flujo de saturación se señala las direcciones de la intersección.

La columna 2 es usada para identificar las vías y los movimientos de cada una de ellos. Estos gráficos son los mismos que se usarán en la columna 6 de la hoja del módulo de ajuste de volumen.

9.3.b Ingreso del flujo ideal de saturación

El flujo ideal de saturación es ingresado en la columna 3 para cada vía. En la mayor parte de cálculos este valor puede ser tomado como 1,800 a 2,000

autos que viajan por hora en tiempo de verde por vía (vphvpv), a menos que información local indique otro valor.

9.3.c Ingreso de los Factores de Ajuste

El flujo ideal de saturación es multiplicado por el número de vías en el grupo de vías considerado y por nueve factores de ajuste, los cuales se indican a continuación.

- c.1 En la columna 4 ingresar el número de vías del grupo.
- c.2 Ingresar el factor ancho de vía, f_w obtenido de la tabla 5, en la columna 5.
- c.3 Ingresar el factor de vehículos pesados, f_{hv} , obtenido de la tabla 6, en la columna 6.
- c.4 Ingresar el factor de pendiente f_g , obtenido de la tabla 7, en la columna 7.
- c.5 Ingresar el factor de parqueo, f_p obtenido de la tabla 8 en la columna 8.
- c.6 Ingresar el factor de bloqueo por ómnibus, f_{bb} , obtenido de la tabla 9 en la columna 9.
- c.7 Ingresar el factor de tipo de área, f_a obtenido de la tabla 10 en la columna 10.
- c.8 Ingresar el factor de ajuste de utilización de la vía, f_{LU} , calculada usando la Ecuación 11, en la columna 11.
- c.9 Ingresar el factor de volteo a la derecha, f_{rt} , obtenido de la tabla 11, en la columna 12.
- c.10 Ingresar el factor de volteo a la izquierda, f_{LT} , obtenido de la tabla 12 o calculado usando el procedimiento especial descrito en la sección de Metodología, para volteos a la izquierda permitidos hechos desde vías exclusivas o separadas, en la columna 13.

Los factores para cada grupo de vías son determinados separadamente para las condiciones prevalecientes de cada grupo de vías. Información para estas determinaciones es tomada de la hoja de módulo de entrada.

La proporción de vueltas a la izquierda, derecha o ambas es tomada de la última columna del módulo de ajuste de volumen.

La determinación de factores de volteos a la derecha para fases protegidos más permitidos, requerirán de asumir que los vehículos que voltean a la derecha usan la parte o porción protegida de la fase. Esta es una consideración básica y servirá de guía para observaciones de campo donde sea posible.

9.3.d Procedimiento especial para estimación de factores de ajuste de volteo a la izquierda, para volteos a la izquierda permitidos.

Los cuadros 17 y 18 son usados en el cálculo de los factores de ajuste de volteo a la izquierda, cuando volteos a la izquierda permitidos son efectuados. Estos cuadros son aplicados para la porción permitida de vueltas a la izquierda, incluyendo las fases sólo permitida y permitida más protegida, si son hechos desde una vía exclusiva o compartida para los casos 2, 3 y 5.

El cuadro 17 es usado en los casos en los cuales la aproximación objeto es opuesta a una aproximación con más de una vía.

El cuadro 18 es usado en los casos en el cual la aproximación objeto es opuesta a una aproximación de vía simple.

La metodología básica para cada cuadro asume que la aproximación objeto es una aproximación de multi-vías, si la aproximación opuesta es también multi-vía se usará el cuadro 17 y que la aproximación objeto es una aproximación de vía simple si la aproximación opuesta es también de vía simple, se usará entonces el cuadro 18.

Para casos en los cuales las dos aproximaciones no son del mismo tipo como en casos de fases permitidas más protegidos y en fases en la cual el

movimiento opuesto tiene una fase dirigida, los cuadros podrían ser aún usados, pero las instrucciones especiales citados en la sección de Metodología debe ser cuidadosamente seguidas.

Existe una columna para cada dirección de aproximación en los cuadros, aunque sólo aproximaciones con condiciones de volteo a la izquierda permitida deberían ser incluidas.

Ya que los cuadros 17 y 18 son bastante similares, ambos serán discutidos en conjunto, haciendo notar las excepciones y diferencias necesarias.

El primer grupo de valores a ingresar debe ser formado directamente de los valores que aparecen en cuadros previos, los cuales son los siguientes:

- d.1 La duración del ciclo es ingresado desde el cuadro del Módulo de Ingreso.

- d.2 El tiempo de verde para la fase permitida es tomada del cuadro Módulo de Entrada. Si la fase permitida es parte de una fase permitida más protegida o la aproximación opuesta tiene una fase dirigida, se debe ver las instrucciones especiales de la sección de Metodología.

- d.3 Tiempo efectivo de verde para fases permitidas también es ingresado. Este es generalmente el tiempo de verde citado anteriormente del cuadro de Módulo de Entrada más el amarillo más todo el rojo intervalos de cambio y limpieza, menos los movimientos de tiempos perdidos. Si la fase permitida es parte de una fase permitida más protegida o la aproximación opuesta tiene una fase dirigida, se debe ver las instrucciones especiales de la sección de Metodología.

- d.4 El tiempo efectivo de verde para la aproximación opuesta es ingresado para la fase permitida. Este es generalmente el tiempo de verde del cuadro Módulo de Entrada más el amarillo, más todo rojo intervalo de cambio y limpieza, menos los movimientos de tiempos perdidos. Si la fase

permitida es parte de una fase permitida más protegida o la aproximación opuesta tiene una fase dirigida, se debe ver las instrucciones especiales de la sección de Metodología.

d.5 El número de vías en el grupo de vías seleccionado es tomado del cuadro Módulo de Entrada, si el volteo a la izquierda está opuesto a una aproximación de multivías (cuadro 17), el número de vías en el grupo de vías opuestas es ingresado desde el cuadro Módulo de Entrada.

Si los volteos a la izquierda y derecha son hechos desde vías exclusivas de volteo sobre la aproximación opuesta, esas vías no serán incluidas en el número de vías opuestas.

d.6 El flujo ajustado de volteo a la izquierda es ingresado desde el cuadro del Módulo de ajuste de volumen.

d.7 La proporción de volteos a la izquierda en el grupo de vías es tomado del cuadro del módulo de ajuste de volumen, cuando un grupo de vías de volteo exclusivo a la izquierda está involucrado, $P_{LT} = 1.0$. Si el volteo a la izquierda está opuesto a una aproximación de vía simple (cuadro 18), la proporción de volteos a la izquierda en el flujo opuesto es ingresado desde el cuadro del módulo de ajuste de volumen.

d.8 Cantidad de flujo ajustado opuesto es ingresado desde el cuadro del módulo de ajuste de volumen, si los volteos a la izquierda y derecha son efectuados desde vías exclusivas de volteo sobre la aproximación opuesta, esos volúmenes ajustados no serán incluidos en la cantidad de flujo opuesto.

d.9 Los tiempos perdidos para el grupo de vías es ingresado tal como se determinó en el cuadro del módulo de entrada.

Las ecuaciones usadas en cálculos subsecuentes son mostradas en el mismo cuadro, estas ecuaciones están basadas en los datos ingresados anteriormente. Algunos de éstos cálculos se explicarán a continuación:

- La razón de grupo opuesto R_{po} puede ser determinado por dos caminos. Si el tipo de arribo de tráfico opuesto se ha determinado en el cuadro del Módulo de Entrada, se pueden usar las razón de grupo de default señalados en la tabla 2. Si la proporción de arribos se determinó en el cuadro del Módulo de Entrada, se puede usar la ecuación 7.
- La ecuación mostrada para gf en cuadro 17, asume que la aproximación es multivía semejante a la aproximación opuesta. Si la aproximación objeto es una aproximación de simple vía, la ecuación gf del cuadro 18 puede ser usada. La ecuación para gf en el cuadro 18 asume que la aproximación objeto es una aproximación de simple vía semejante a la opuesta. En otros casos, si el grupo de vías objeto es una vía exclusiva de volteo a la izquierda, entonces $gf = 0$.
- Para grupo de vías multivía (Fig – 17), P_L es calculado como la proporción de volteos a la izquierda sobre la mano izquierda del señalado grupo de vías. Si el valor determinado es 1.0 ó mayor los grupos de vías de la aproximación pueden ser reasignados, mostrándolos sobre la mano izquierda de la vía, como vía exclusiva de volteo a la izquierda, siempre que esta esté ocupada totalmente por vehículos que volteen a la izquierda. De ser así será necesario efectuar un recálculo de todos los cálculos para esta aproximación.

Si un grupo de vía multivía es opuesto a una aproximación de simple vía, el cuadro 18 puede ser usado para estimar el valor de P_L y sustituirlo por P_{LT} .

- El cuadro 7 es usado par determinar el valor de E_{I1} basado en la cantidad de flujo opuesto y el factor de utilización de la vía del flujo opuesto. Para aproximaciones de simple vía usaremos el cuadro 18, el valor de E_{I2} se calculará mediante su fórmula.
- El valor de f_m es calculado según su propia fórmula. El máximo valor que toma es 1.0 y el mínimo es $2(1+P_L)/g$. Estos límites serán usados si los valores calculados caen fuera de este rango.
- El factor de ajuste de volteo a la izquierda, f_{LT} se calcula de la siguiente manera:

Para un grupo de vía de vía simple, $f_{LT} = f_m$, si un grupo de vía multivías es opuesto a una aproximación de simple vía, debe usarse el cuadro 18, pero si f_{LT} es calculado en base de f_m deberá usarse el cuadro 17, excepto cuando el grupo de vías objeto contiene multiples vías de volteo exclusivas a la izquierda.

9.3.e Cálculo del Flujo de Saturación Ajustado

El flujo de saturación ajustado para cada grupo de vías se calcula multiplicando el flujo de saturación ideal por el número de vías y por los nueve factores determinados en los puntos c y d de acuerdo a la siguiente formula.

$$s = s_o N f_w f_{nv} f_g f_p f_{bb} f_{LU} f_{RT} f_{LT} \quad \text{Ref.}[6]$$

9.4 MÓDULO DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD

En el Módulo de Análisis de Capacidad, la información y resultados de cálculo del primero de los tres módulos son combinados para calcular la capacidad de cada grupo de vía y la relación v/c (volumen – capacidad) de cada una de ellas y de la intersección como un todo. Para efectuar los cálculos correspondientes se usará el cuadro 19.

9.4.a Ingreso de la Descripción del Grupo de Vía

En la columna 1 del cuadro 19 se ingresará la descripción del grupo de vía. Las vías y sus movimientos serán señalados tal como se hizo en el cuadro del Módulo de Flujo de saturación.

9.4.b Ingreso del Tipo de Fase

La columna 2 ha sido prevista para colocar el tipo de fase para vías exclusivas de volteo a la izquierda que tengan fases protegidas y permitidas. En este caso la fase protegida será la fase primaria y la fase permitida la secundaria. La fase primaria y secundaria se representarán en filas separadas, cantidades seguras tal como la capacidad del grupo de vía, será calculada como la suma de los valores de la fase primaria y secundaria. La fase primaria puede ser designada por “P” en esta columna, la fase secundaria por “S” y la fila correspondiente contendrá el valor total que podría ser designada por “T”. Nótese que los grupos de vía con vías compartidas de volteo a la izquierda tendrá sólo una fase primaria, como grupos de vía con sólo fases protegidas o sólo permitidas.

9.4.c Ingreso de la cantidad de flujo ajustado para cada grupo de vía

La cantidad de flujo ajustado para cada grupo de vía es obtenida del Módulo de Ajuste de Volumen y se ingresará en la columna 3.

En el caso de grupos de vías que tengan las fases primaria y secundaria, la cantidad de flujo para el grupo de vía será ingresada en la fila identificada con "T" en la columna 2.

Para cálculos de la relación crítica v/c , X_c , dividir o repartir la cantidad de flujo total entre la fase primaria y secundaria como se indicó en la sección de Metodología, es apropiado considerar cual fase será mostrada primero siendo saturada totalmente por el tráfico que voltee a la izquierda y para aplicar el resto del flujo a la fase que es mostrada en segundo lugar.

9.4.d Ingreso del flujo de saturación ajustado para cada grupo de vía

El flujo de saturación ajustada para la fase primaria para cada grupo de vía es obtenido directamente del cuadro del módulo de flujo de saturación e ingresado en la columna 4. No es necesario ingresar un flujo de saturación en la fila T cuando existe una fase secundaria, toda vez que este valor no es significativo.

9.4.e Cálculo de la Razón del Flujo para cada grupo de vía

La tasa de flujo para cada grupo de vía es calculada del cociente de v/s e ingresado en la columna 5. Es decir del cociente de la columna 3 entre la columna 4.

9.4.f Ingreso de la razón de tiempo de verde

La razón g/c para cada grupo de vías, es calculada como el tiempo efectivo de verde dividido por la duración del ciclo e ingresado en la columna 6. El actual tiempo de verde y la longitud del ciclo puede ser obtenido del cuadro del Módulo de Entrada. El tiempo de verde efectivo puede ser tomado como el actual tiempo de verde más el intervalo de cambio y limpieza menos los tiempos perdidos de los movimientos determinados en el Módulo de Entrada.

9.4.g Cálculo de la Capacidad para cada grupo de vías

La capacidad para cada grupo de vías es calculado con la ecuación 3 con el flujo de saturación y la razón de tiempo de verde. El resultado es ingresado en la columna 7. El valor puede ser calculado para la fase primaria y secundaria y la suma de los valores de cada fase podría ingresarse en la fila designada como "T" en la columna 2.

Un valor mínimo de capacidad basado en escapes por ciclo debe ser impuesto como una cosa práctica para todos los movimientos de volteo a la izquierda permitidos. Este valor puede ser calculado como:

$$\frac{3,600 (1 + P_L)}{C} \quad \text{Ref.}[6]$$

9.4.h Cálculo de la relación v/c para cada grupo de vía

La relación v/c para un grupo de vías es el cociente del flujo ajustado sobre la capacidad.

$$X_i = v_i/c_i \quad \text{Ref.}[6]$$

Estos valores son calculados e ingresados en la columna 8.

9.4.i Identificación del grupo de vías crítico

En este punto ya se puede identificar el grupo de vías crítico y los tiempos perdidos por ciclo. Un grupo de vías crítico, es definido como el grupo de vías con la más alta tasa de flujo en cada fase o grupo de fases.

El grupo de vías crítico se identificará con una marca (*) en la columna 9. El tiempo perdido por ciclo es identificado como el valor L y se coloca en la parte inferior del cuadro 19.

9.4.j Cálculo de la tasa de flujo para el grupo de vías crítico

La cantidad de flujo para el grupo de vías críticas es obtenida de la suma de los valores de la columna 5 para los correspondientes, grupos de vías críticos.

El resultado de la suma será asignado como Y_c y colocado en la parte inferior del cuadro 19.

La relación crítica v/c , X_c , el cual indica el grado de saturación asociado con la geometría, volúmenes y las fases de señal es calculada con la siguiente relación:

$$X_c = Y_c [C \div (C - L)] \quad \text{Ref.}[6]$$

El resultado es ingresado en la parte inferior del señalado cuadro.

9.5 MÓDULO NIVEL DE SERVICIO

El Módulo de Nivel de Servicio combina los resultados de los módulos de Volumen Ajustado, Flujo de Saturación y Análisis de Capacidad para encontrar el control promedio de demora por vehículo en cada grupo de vías. El nivel de servicio está directamente relacionado con la demora y está señalado en la tabla 1.

El cuadro 20 se usará para el trabajo de este módulo. La demora se encuentra a partir de las ecuaciones 22, 23 y 5 presentadas anteriormente. Estas ecuaciones son nuevamente señalados a continuación por conveniencia:

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (22) \quad \text{Ref.}[6]$$

$$d_1 = \frac{0.50 C (1 - g / C)^2}{1 - \text{Min}(1, X) g / C} \quad (23) \quad \text{Ref.}[6]$$

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8KIX}{cT}} \right] \quad (25) \quad \text{Ref.}[6]$$

El cuadro ha sido diseñado para calcular de manera uniforme e incremental la demora en términos separados. La demora es luego multiplicada por el factor de progresión (PF) para considerar el impacto de la progresión sobre la demora.

Los valores de PF y K se obtienen de las tablas 15 y 14 respectivamente.

Para propósitos de este análisis, el factor de ajuste de medición aguas arriba (I) es considerado igual a 1.0 para el análisis de una señal aislada.

Cuando no existe una demanda de servicio para un período de tiempo previo, la demora residual d_3 , es igual a cero, cuando una fila inicial de vehículos existe en el comienzo del período de análisis (obsérvese al comienzo del rojo), el procedimiento señalado en el Apéndice final I será usado para modificar el cálculo de d_1 , calculando un valor para d_3 y determinar la demora y el nivel de servicio.

9.5.a Ingreso de la descripción del grupo de vías

Como en casos anteriores, en la columna 1 se ingresarán la descripción de las vías y sus movimientos, para cada grupo de vías. Tal como se efectuó en el cuadro del Módulo de Ajuste de Volumen.

9.5.b Determinación de la demora uniforme

El primer término de la ecuación de la demora (Ec. 23), determina una demora uniforme, que es, la demora que resulta en un grupo de vías si los arribos están uniformemente distribuidos y no se experimentan ciclos de sobre saturación.

Este depende de la relación v/c (X) para el grupo de vías, la relación de verde (g/C) para el grupo de vías y la duración del ciclo (C) el cual es ingresado en el cuadro, y calculado de la siguiente manera:

1. Se ingresa la relación v/c para cada grupo de vías en la columna 2. Este valor es obtenido del Módulo de Análisis de la capacidad.
2. En la columna 3 se ingresa la tasa efectiva de verde para cada grupo de vías, obtenido también del módulo de análisis de capacidad.
3. Se calcula el primer término de la demora y el resultado se coloca en la columna 4.

- a) Para grupo de vías que tenga solo fase primaria, la cual está indicada en el Módulo de Análisis de Capacidad, el cálculo de este valor se hará en concordancia con la ecuación 23.
- b) Para grupo de vías con fases primaria y secundaria indicando también en el módulo de análisis de capacidad se usará el cuadro adicional para grupo de vías con fases primaria y secundaria, número 21.

9.5.c Determinación de la Progresión Ajustada.

El factor ajustado de progresión, PF, se encuentra indicado en la Tabla 13, es una función del tipo de arribo y la relación g/C. Si el valor de P (la proporción de vehículos que arriban en verde) es usado en lugar del tipo de arribo, PF puede ser calculado como:

$$PF = \frac{(1-P)f_p}{1-(g/C)} \quad (24) \quad \text{Ref.[6]}$$

Donde $f_p = 0.93$ para arribos tipo 2, 1.15 para arribos tipo 4 y 1.0 para los demás tipos de arribo. Para este propósito primero deberá ser determinado el tipo de arribo con la tabla 2, para luego efectuar el cálculo de $R_p = P(C/g.)$

Como f_p es mayor que 1.0 para arribos tipo 4, es posible que el valor de PF sea mayor que 1.0 usando esta ecuación cuando g/c es muy baja. Como los arribos tipo 4 reflejan una “progresión favorable”, el valor de PF debería ser reducido a 1.0 para este tipo de condiciones. El valor obtenido para PF será colocado en la columna 5.

9.5.d Incremento de Demora

El segundo término de la ecuación de demora determina el “incremento de demora”, que es una demora sobre la demora uniforme debido a arribos aleatorios y debido también a ciclos que fallan.

Este valor está basado en la relación $v/c(x)$ y la capacidad (c) para el grupo de vías. Este incremento de demora es determinado de la siguiente manera:

- d.1 Ingresar la capacidad del grupo de vías en la columna 6.
- d.2 Determinar el factor de calibración de incremento de demora (k) de la tabla 14, este valor es una función del tipo de controlador y el grado de saturación. El valor de k se coloca en la columna 7.
- d.3 Cálculo del segundo término de la demora con la ecuación 25 e ingresar el valor en la columna 8.

9.5.e Determinación de la demora y el nivel de servicio para cada grupo de vías

La demora y el nivel de servicio son obtenidos del producto de la demora uniforme por el factor de progresión y sumándole el resultado del incremento de la demora, de acuerdo con la ecuación 22 colocando este resultado en la columna 9, el nivel de servicio correspondiente a esta demora la obtenemos de la tabla 1 y se ingresa en la columna 10.

En el caso que el período de análisis comience con una fila inicial, el procedimiento señalado en el apéndice final deberá ser usado par modificar el cálculo de d_1 y para calcular el término adicional d_3 .

Más aún, si el período de análisis es sobre saturado o resulta en una demanda final no servida en el término del período de análisis, debería efectuarse un análisis adicional subsecuente al período de análisis para determinar de demora.

9.5.f Determinación de la demora y el nivel de servicio para cada aproximación.

El promedio de demora por vehículo es determinado para cada aproximación, multiplicando la cantidad de flujo del grupo de vías por la respectiva demora y dividido por la cantidad total de flujo en la aproximación. El promedio de demora es colocado en la columna 11 para cada aproximación. El nivel de servicio es determinado con la tabla 1 y colocado en la columna 12.

Como en el paso 5, si el período de análisis comienza con una fila inicial, la demora y el nivel de servicio para cada aproximación deberá ser determinado incluido el procedimiento establecido en el apéndice final.

9.5.g Determinación de la Demora y el Nivel de Servicio para la Intersección.

El promedio de demora por vehículo para toda la intersección se determinará por la sumatoria de los productos de los flujos en cada aproximación por la demora de cada aproximación, dividido por la suma total de flujos en la intersección. Este promedio ponderado de demora se coloca en la parte inferior del cuadro. El nivel de servicio de toda la intersección se obtiene de la tabla 1 y es ingresado en su respectivo espacio.

Como en el paso 6, si el período de análisis comienza con una fila inicial, la demora y el nivel de servicio de la intersección será determinado usando el procedimiento señalado en el apéndice final.

El resultado de este módulo es una estimación del promedio de demora por vehículo en cada grupo de vías así como el valor promedio para cada

aproximación y para toda la intersección. El nivel de servicio está directamente relacionado con los valores de demora y es asignado sobre esta base.

Los valores de nivel de servicio y demora deben ser analizados conjuntamente con los resultados del módulo de análisis de capacidad. Seguidamente se efectúan comentarios sobre situaciones que comúnmente se presentan:

1. El nivel de servicio es un indicativo de la aceptación general de la demora por parte de los conductores. Se debe notar que esta es algunas veces subjetiva: que sea aceptable en un gran distrito central de comercio, no quiere decir que sea necesariamente aceptable en una cercanía menos densa.
2. Cuando los niveles de demora son aceptables para toda la intersección pero es inaceptable para cierto grupo de vías, el plan de fases, el tiempo de verde o ambos podrían ser examinados para proporcionar un manejo más eficiente del movimiento en desventaja o los movimientos involucrados.
3. Cuando los niveles de demora son inaceptables pero la relación v/c es relativamente baja (Módulo de Análisis de Capacidad), la duración del ciclo podría ser demasiado larga por las condiciones prevalecientes, el plan de fases podría ser ineficiente o ambos aspectos. Debe notarse, sin embargo, que cuando las señales son parte de un sistema coordinado, la duración del ciclo en una intersección individual estará determinada por las condiciones del sistema y alteraciones en una localización aislada podría no ser práctico.
4. Cuando, tanto los niveles de demora y la relación v/c son inaceptables, la situación es crítica, la demora será alta y la demanda estará cerca o habrá superado la capacidad. En tales situaciones la demora se incrementará rápidamente cuando existan pequeños cambios en la demanda. En estos casos debe considerarse una mejora total en el diseño geométrico y de señales para alcanzar los objetivos.

La demora y el nivel de servicio, así como la capacidad, son variables complejas que dependen de las condiciones de tráfico, la carretera o vía y las condiciones de señalización.

Las técnicas de análisis operacional presentados aquí son usadas en la estimación de la performance y características de la intersección y proporciona discernimientos básicos dentro de los factores de causa probables.

Esos procedimientos, no obstante no cuentan todas las posibles condiciones. La influencia de aquellas características específicas como orillas de aceras en las esquinas, ángulo de intersección, combinaciones de varias pendientes en una aproximación, características geométricas (distancia de intersecciones, estrechamiento en las vías de partida, etc.) y otras inusuales condiciones no son tratadas en la metodología. Estudios de campo podrían conducir en aquellos casos a la determinación directamente de la demora y/o para calibrar la cantidad de flujo de saturación prevaleciente.

Demoras inusuales pueden resultar también por bloqueos, tal como parqueo ilegales o parada de vehículos u otros factores. El analista debería efectuar también observaciones en el campo para buscar operaciones ocultas dentro de la intersección y ayudar como complemento en el análisis y aplicación de este método. Hay también un número mayor de problemas complejos y técnicos de modelamiento más puntuales que podrían proveer un análisis suplementario de los problemas que están más allá del campo de acción de este método.

9.6 CUADRO SUPLEMENTARIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DEMORA UNIFORME

Volteos a la izquierda desde vías exclusivas que tienen permitido proseguir sobre las fases protegidas y permitidas en la secuencia de la señal deberá ser tratada como un caso especial para propósitos del cálculo de la demora uniforme. Tales movimientos son analizados para ambas fases en el cuadro del módulo de análisis de la capacidad, en donde la fase protegida es identificada como la fase primaria y la fase permitida está identificada como la fase secundaria. Esta terminología será

usada en la descripción del cuadro suplementario del cálculo de la demora uniforme, el cual muestra los procedimientos no incluidos en la sección de metodología.

El cuadro suplementario está referido con el número 21. El ingreso de datos en este cuadro deberá ser obtenido en primer lugar desde los cuadros determinados anteriormente y colocados donde corresponda, particularmente el volumen ajustado de vueltas a la izquierda obtenido del cuadro 15 del módulo de ajuste de volumen y la relación v/c , X , para el grupo de vías, obtenido de la fila T, columna 8, del módulo de análisis de capacidad (cuadro 19).

Los siguientes intervalos de tiempos de señales también serán obtenidos desde cálculos previos:

1. Tiempo de verde efectivo, g , en fase primaria, obtenido desde el módulo de análisis de capacidad (cuadro 19).
2. Intervalo de tiempo efectivo de verde en fase secundaria, g_q y g_u , desde los cuadros suplementarios para volteos a la izquierda permitidos (Cuadro 17 ó 18).
3. Tiempo de Rojo en segundos, r , calculado como $C - (g + g_q + g_u)$, donde C , es la duración del ciclo en segundos.

Estos valores son ingresados en sus correspondientes filas del cuadro 21.

Nótese que tráfico opuesto extremadamente pesado podría reducir g_u a cero, lo cual implica que todos los volteos a la izquierda en la fase permitida deberán ser considerados como mínimos. Este efecto impondrá en el módulo de flujo de saturación un límite bajo en el valor de f_{LT} al imponer un menor límite en el valor de f_{LT} , un menor límite deberá ser impuesto también en el valor de g_u el cual se ingresará en el cuadro suplementario de la demora uniforme. El tiempo necesario debería ser transferido desde g_q a g_u para garantizar que el valor de g_u no sea menor de 4 segundos.

Los cálculos de la demora están relacionados con la cantidad de arribos y partidas en unidades de vehículos por segundo para compatibilizar con el resto de cálculos en el cuadro. La cantidad de arribos es determinada por la división del volumen de volteos a la izquierda, v , entre 3,600. Este valor deberá ser ajustado para garantizar que en el cálculo de la demora uniforme, los arribos no excedan la capacidad de la intersección. Si la relación v/c , X , excede de 1.0, la cantidad de arribos deberá ser dividido por X .

Dos cantidades de partida deberán ser determinadas:

1. La cantidad de partida en la fase primaria, $s_p = S/3,600$, donde S es el flujo de saturación ajustado para la fase primaria y es obtenido del cuadro 19 del Módulo de Análisis de Capacidad; y,
2. La cantidad de partida en la fase secundaria, s_s , deberá ser calculada como:

$s_s = s (g_q + g_u) / g_u \times 3,600$), donde s es el flujo de saturación ajustada para la fase secundaria obtenido del Módulo de Análisis de Capacidad (cuadro 19) y los demás valores se obtienen tal como se describieron anteriormente.

Cuando g_u es muy corta, las partidas en la fase secundaria serán mayormente de agrupamientos. Desde que estos se mueven con poco espacio entre sí, es posible tener valores muy grandes de s_s . Como una práctica de cálculo, el valor de s_s por vía, no debería exceder la cantidad de flujo de saturación por grupo de vías dividido por 3,600.

A continuación, la relación v/c para la fase primaria y secundaria, x_{prot} y x_{perm} , deberán ser calculadas con las ecuaciones señaladas en el cuadro 21. Nótese que ecuaciones diferentes son usadas para fases de volteo a la izquierda inicial y retardadas.

Los valores de x_{prot} y x_{perm} , en conjunto no pueden ser mayores que 1.0. Pero es posible que uno de ellos si lo fuese.

Es posible definir cinco casos separados para el cálculo de la demora, dependiendo de cual de los valores de X excede de 1.0 y de las fases de

volteo a la izquierda (iniciales o retardadas). Los casos numerados del 1 al 5 están determinados y son mostrados en el cuadro 21.

Cuando el número del caso ya es conocido, el tamaño de la fila en 3 puntos de transición Q_a , Q_u y Q_r pueden ser determinados con las fórmulas señaladas en el cuadro. Cuando estos valores han sido calculados y colocados en sus respectivos lugares, es posible determinar la demora uniforme, d_1 , usando las fórmulas señaladas en la parte inferior del cuadro.

APÉNDICE

9.7 Extensión para el cálculo de la demora incorporando el efecto de una fila inicial.

El modelo de demora representado por la ecuación 22 hasta la 25 está basado asumiendo que no hay una fila inicial en el comienzo de un período de análisis de duración T . En algunos casos el período de análisis comienza con una demanda residual que no se limpio en el período previo. Esta demanda no atendida será designada como Q_b en vehículos. Q_b es observada al inicio del período rojo y excluye cualquier vehículo presente por fluctuaciones aleatorias de ciclos o sobre flujos por fallas en el ciclo. Cuando $Q_b \neq 0$, los vehículos que arriban en períodos T experimentarán una demora adicional debido a la presencia de una fila. La magnitud de esta demora adicional depende de varios factores, particularmente, el tamaño inicial de la fila, la duración del período de análisis, y la prevaleciente relación volumen/capacidad en el período T . Esta demora adicional será referida con el término d_3 .

Cinco escenarios emergen cuando el control de demora es estimado. Éstos son llamados casos I al V. Los casos I y II ocurren cuando no hay una fila inicial y el período está no saturado (caso I) o sobre saturado (caso II), en ambos casos $d_3 = 0$ y la demora está dada por la ecuación 22. El caso III ocurre cuando la demanda no atendida Q_b puede ser servida totalmente en el período de tiempo T . El caso IV ocurre cuando hay demanda no servida en el final del período T , pero el tamaño de la demanda no servida es decreciente. Para que esto ocurra, de demanda en T , qT , debería ser menos que la capacidad, cT . Finalmente, el caso V ocurre cuando la

demanda en T, qT , excede la capacidad, cT . Aquí la demanda no servida se incrementará en el final del período T.

9.7.1 Estimación de d_3 :

En forma general d_3 está definida como el promedio adicional de demora por vehículo en segundos cuando un tamaño de fila inicial Q_b está presente en el inicio del período de análisis T, el cual ha sido desarrollado en un proyecto reciente auspiciado por la FHWA. Este es un término adicional en el modelo de demora dado en la ecuación 22 y expresado de la siguiente manera:

$$d_3 = \frac{1,800 Q_b (1 + u) t}{cT} \quad (\text{a. - 1}) \quad \text{Ref.}[6]$$

- Donde: Q_b = demanda inicial no servida en el comienzo del período T, Veh;
 c = capacidad ajustada del grupo de vías, Veh/hr;
 T = duración del período de análisis en, hr;
 t = duración de la demanda no servida en T, hr; y
 u = parámetro de demora

Tabla Apéndice - 1 Selección de variables de demora.

| Caso | X | Q_b | d_1 | d_2 | T | u | d_3 | T_c |
|------|------------|-------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|
| I | ≤ 1.0 | 0 | Eq. 9-23 | Eq. 25 | 0 | 0 | 0 | T |
| II | > 1.0 | 0 | Eq. 9-23 | Eq. 25 | 0 | 0 | 0 | TX |
| III | ≤ 1.0 | > 0 | Eq. I.-5 | Eq. 25 | Eq. I.-2 | 0 | Eq. I.-1 | T |
| IV | ≤ 1.0 | > 0 | Eq. I.-5 | Eq. 25 | T | Eq. I.-3 | Eq. I.-1 | Eq. I.-4 |
| V | > 1.0 | > 0 | Eq. I.-5 | Eq. 25 | T | 1 | Eq. I.-1 | Eq. I.-4 |

Fuente: Transportation Research Board/HCM/1997

Los parámetros t y u son determinados de acuerdo con los prevalecientes casos (III, IV ó V). Las siguientes dos ecuaciones pueden ser usadas para determinar estos valores:

$$t = 0 \text{ si } Q_b = 0, \text{ sino } t = \text{MIN} \left[T, \frac{Q_b}{c[1 - \text{MIN}(1, X)]} \right] \quad (\text{a. -2}) \quad \text{Ref.}[6]$$

$$u = 0 \text{ si } t < T, \text{ sino } u = 1 - \frac{cT}{Q_b} [1 - \text{MIN}(1, X)] \quad (\text{I.} - 3)$$

Donde X es el grado de saturación del grupo de vías (v/c).

En adición al término suplemental de demora, el analista podría interesarse en el cálculo del tiempo en que el último vehículo arriba en el tiempo de limpieza en la intersección (calculado desde el comienzo del período de análisis), también afectado por la presencia de una fila inicial de longitud Q_b .

Este tiempo será referido como un tiempo de limpieza adicional T_c .

En los casos I – III, es evidente que todos los vehículos despejarán sobre el final del período T (por adición para la demora normal $d_1 + d_2$). Para los casos IV y V, el último vehículo que arriba en T despejará la intersección en un tiempo $T_c > T$ (adicionalmente a $d_1 + d_2$). Así pues, en general la fórmula de tiempo de limpieza adicional en el caso de una fila inicial, calculada desde el inicio del período de análisis T, es:

$$T_c = \text{Max} \left(T, \frac{Q_b}{c} + TX \right) \quad (\text{a.} - 4) \quad \text{Ref.}[6]$$

Para sumarizar el procedimiento de estimación del control de demora, la tabla apéndice -1 proporciona una comparación del modelo de parámetros para los casos I – V. Nótese que para decidir si se aplica el caso III ($t < T$) o IV ($t = T$), el valor de t deberá ser primero calculado en la ecuación apéndice 2.

Para los casos III, IV y V, el componente de demora uniforme (d_1) debe ser evaluado usando $X = 1.0$ para el período cuando existe una fila sobre saturada (t) y usando el valor actual de X para el resto del período de análisis ($T - t$). Por consiguiente, en esos casos, un valor mayor de tiempo de d_1 es usado, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$d_1 = d_s \times t/T + d_u \times \text{PF} \times (T - t) / T \quad (\text{a.} - 5) \quad \text{Ref.}[6]$$

Donde: d_s = es la demora saturada (d_1 evaluada para $X = 1.0$), y

d_u = es la demora no saturada (d_1 evaluada para el actual valor de X)

En la ecuación apéndice – 5 para los casos IV y V, el término d_u desaparece porque $t = T$ y no necesita calcularse. La ecuación 23 puede ser usada para evaluar los componentes d_s y d_u en todos los casos, excepto para vueltas a la izquierda con componentes de volteo a la izquierda protegido (protegido – permitido y permitido – protegido), usando $X = 1.0$ en la ecuación para calcular d_s y usando el valor actual de X para calcular d_u .

Para componentes de volteo a la izquierda protegido, el cuadro de demora uniforme suplementario 21 deberá ser usado como una manera de aproximar los componentes d_s y d_u . Cuando se use $X = 1.0$ para el componente d_s en el cuadro 21 el volumen de volteo a la izquierda usado (v) también deberá ser ajustado para el valor actual de X (usando $v' = v/x$) para encontrar la asunción básica del cuadro suplemental de demora uniforme.

Nótese que el único lugar donde PF es usado en el análisis de una fila inicial, es para la porción no saturada d_u del caso III. Esto es porque la existencia de una fila inicial anula el valor de la progresión bajo todas las otras condiciones. El analista deberá advertir de ser cuidadoso de una correspondencia similar en el uso de PF en un análisis de caso II (sobre saturado) usando la ecuación 22 porque todos, así como el primer ciclo será bloqueado por la fila inicial debido a la condición de sobre saturación.

9.7.2 Procedimiento de Cálculo para determinar la Demora y el Nivel de Servicio con una Fila inicial de Vehículos

El cuadro apéndice -6 puede ser usado para determinar la demora y el nivel de servicio en una intersección considerando que existe una fila inicial de vehículos.

1. Ingreso del período de tiempo y duración

Cada período de tiempo necesitará de un cuadro independiente para calcular la demora cuando algún movimiento en la intersección comienza con una fila inicial durante el período de tiempo. Cada período debe ser numerado e ingresado en la esquina superior del cuadro. La duración del período de

tiempo, en horas deberá ser también ingresada. Deberá notarse que en un análisis multi período la duración de todos los períodos de tiempo deberán ser iguales.

2. Identificar los grupos de vías para el análisis

En la columna 1, se nombrarán cada grupo de vías a ser analizados de acuerdo a los usados en el cuadro de Nivel de Servicio (cuadro 20). Los grupos de vías que no tienen una fila inicial pueden aparecer en este cuadro pero sus valores de demora pueden ser promediados con los grupos de vías sobre saturados. En este caso, sus valores d_1 y d_2 no serán cambiados y d_3 será cero en este cuadro.

3. Ingreso de información para el primer y segundo término de la demora

En las columnas 2, 3, 6 y 8 se ingresa la relación v/c , la capacidad, la demora uniforme no ajustada y el incremento de la demora desde las columnas 2, 6, 4x5 y 8 respectivamente, del cuadro del Módulo de Nivel de Servicio.

4. Ingreso de la demanda inicial no servida

En la columna 4, se ingresará la demanda inicial no servida para cada grupo de vías. Este valor puede ser la fila inicial observada en el comienzo del período rojo (excluyendo cualquier vehículo que llegue aleatoriamente) ó podría ser la demanda no servida del grupo de vías estimado en la columna 10 de un período de análisis previo.

5. Cálculo de la duración de la demanda no servida

En la columna 5, se calcula la duración de la demanda no servida, t , usando la ecuación a. -2. Si no hay una fila inicial ($Q_b = 0$), entonces $t = 0$, y el valor de t está limitado a ser no mayor que la duración del período de tiempo T .

6. Cálculo de la demora uniforme ajustada

En la columna 7, se calcula el término de la demora uniforme ajustada, d_1 , usando la ecuación a. - 5.

Cuando $t = 0$ el resultado es el mismo que el valor no saturado de d_1 . El efecto de la progresión es incluido, siendo apropiado en este resultado de la demora uniforme ajustado.

Los valores de g y C para el grupo de vías deberá ser tomado del cuadro de Módulo de Nivel de Servicio. Deberá notarse que el valor no ajustado de d_2 será usado del cuadro del Módulo de Nivel de Servicio en el cálculo de la demora final y que este valor de demora incluye la demora sobre saturada cuando $v/c > 1$.

7. Cálculo del parámetro de fila inicial

En la columna 9, se calcula el parámetro de fila inicial, u , usando la ecuación a. – 3.

Cuando $t < T$, $u = 0$ (casos I al III), En otros casos la ecuación a. – 3 se usa en (caso IV) ó cuando $u = 1$ (caso V).

8. Cálculo de la demanda final no servida

En la columna 10, se calcula la demanda final no servida usando la ecuación a. – 6.

Esta puede ser estimada del número de vehículos en fila en el final del período de análisis. Si este valor no es cero, esto indica que el período de análisis subsecuente debería ser analizado para determinar el promedio de demora por vehículo que resulta por causa de esta fila inicial para ese período de tiempo.

9. Cálculo de la demora suplementaria

En la columna 11, se calcula la demora suplemental (por la fila inicial), d_3 , usando la ecuación a. -1. Esta es la demora adicional que resulta de la existencia de la fila inicial.

10. Búsqueda de la demora y el nivel de servicio de cada grupo de vías

La demora y el nivel de servicio, se encuentra de la suma de los tres términos de demora de las columnas 7, 8 y 11 para cada grupo de vías. Debe notarse que el valor d_1 en la columna 7 incluye los efectos de PF sobre el término d_1 . El resultado de la suma es ingresado en la columna 12. El nivel de servicio correspondiente a esta demora, es obtenido de la tabla 1 y colocado en la columna 13.

11. Búsqueda de la demora y el nivel de servicio para cada aproximación

La demora promedio por vehículo se obtiene de la sumatoria del producto de la tasa de flujo del grupo de vías y la demora para cada grupo de vías sobre la aproximación, dividiendo la suma por la tasa de flujo total de la aproximación. La demora promedio ponderada es ingresada en la columna 14 para cada aproximación. El nivel de servicio es determinado de la tabla 1 e ingresado en la columna 15.

12. Búsqueda de la demora y el nivel de servicio de la intersección

El promedio de demora por vehículo de la intersección es encontrado por la sumatoria del producto del flujo de la aproximación y la demora de la aproximación de todas las aproximaciones y dividiendo esta suma por el flujo total de la intersección. Este promedio ponderado es colocado en la parte inferior del cuadro. El nivel de servicio de intersección se determina en base de este valor y la tabla 1, el nivel de servicio determinado se ingresará también en la parte inferior del cuadro.

CAPÍTULO IV

10. ESTUDIOS REALIZADOS PARA LA MODIFICACIÓN DE COMPONENTES DE LA METODOLOGÍA

Para efectos de que el resultado del análisis se ajuste a la realidad nacional del transporte en general, se han efectuado los siguientes estudios:

1. Estudio para determinar la Tasa de Flujo de Saturación Actuante.
2. Estudio para determinar la Tasa de Flujo de Saturación Ideal.
3. Estudio de Tiempos Perdidos en la Partida.
4. Estudio de Tiempo de Servicio de recojo y descarga de pasajeros de Transporte Público y modificación del Factor de Bloqueo por Transporte Público.
5. Modificación del Factor de ajuste por Ancho de Vía.
6. Determinación de la velocidad peatonal en la intersección.

10.1 Estudio para determinar la Tasa de Flujo de Saturación Actuante.

De acuerdo con la literatura referida del Instituto de Investigación del Transporte de los Estados Unidos de América, la Tasa de Flujo de Saturación Ideal en intersecciones semaforizadas puede variar de 1800 a 2800 vphvpv, sin

embargo, la base teórica señala que es conveniente efectuar estudios en la localidad donde se efectúa el análisis de manera de calibrar el valor de la Tasa de Flujo de Saturación. Una vez obtenido este valor de estudios de campo, el resultado puede ser usado como un parámetro básico para usarlo en la ecuación 21.

El estudio se realizó en la intersección de la Av. Elmer Faucett y Venezuela sobre 24 ciclos de señal tomando en cuenta los 15 primeros vehículos de donde se obtuvieron 200 registros válidos. El presente estudio se realizó considerando condiciones ideales, tanto en la geometría, y en lo referente a la interferencia de vehículos pesados o por volteos.

El período de análisis se efectúa durante la hora punta que se determinó de 8:00 a 9:00 de la mañana durante día laboral. Los tiempos tomados involucraron a los 12 primeros vehículos. Los cuadros en los cuales se registran los tiempos y vehículos tomados, señalan 6 ciclos por aproximación. Sin embargo, el registro de cada uno de los 6 ciclos duro 2 horas continuas de tomas y descarte de resultados.

Para llevar a cabo el estudio, se contrató un número de 16 personas, las cuales fueron entrenadas y se efectuaron prácticas de campo para la correcta toma de datos, a pesar de ello aproximadamente el 50% del total de valores registrados fueron descartados por no brindar los valores esperados.

El procedimiento consistió en tomar los tiempos entre vehículos consecutivos respecto de un punto fijo de la vía. Como punto de referencia se asumió la línea de parada de cada aproximación a la intersección, los tiempos empezaron a correr a partir del cambio de señal a verde hasta que el vehículo número 12 cruza la línea de parada dentro de esta fase. El tiempo promedio de saturación es obtenido del cociente de la sumatoria de los tiempos registrados y la sumatoria del número de registros, la tasa de flujo de saturación es finalmente obtenida del cociente de 3600 y el tiempo promedio de saturación; donde 3600 representa el número de segundos disponibles en una hora para el cruce de vehículos.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: Av. Faucett sentido Sur – Norte, la Tasa de Flujo de Saturación Actuante se estableció en 1644 vphvpv; Av. Faucett sentido Norte – Sur, la Tasa de Flujo de Saturación Actuante se

estableció en 1731 vphvpv; Av. Venezuela sentido Este – Oeste, la Tasa de Flujo de Saturación Actuante se estableció en 1353 vphvpv; Av. Venezuela sentido Oeste – Este, la Tasa de Flujo de Saturación Actuante se estableció en 1324 vphvpv. Los resultados demuestran que la tasa de flujo de saturación actuante es diferente en cada aproximación a la intersección y esto se debe a que los tiempos de saturación no son iguales por estar relacionados con la reacción de cada conductor y su vehículo al momento de emprender la marcha. Los cuadros de cálculo en los cuales se determinaron estos valores se encuentran a continuación.

TASA DE FLUJO DE SATURACION ACTUANTE

AV. FAUCETT SUR - NORTE

Fecha 22 Mar 04

| Vehiculos en Fila | Observaciones del Tiempo de Saturación (Seg.) | | | | | | Sumatoria Saturación | No. Registros |
|---|---|--------|------|------|---------|---------|---|----------------------------------|
| | Numero de Ciclos | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| 1 | 3.55 | 2.77 | 2.79 | 1.94 | 2.67 | 1.99 | 0.00 | 0 |
| 2 | 2.17 | 3.31 | 2.24 | 1.94 | 2.43 | 2.10 | 0.00 | 0 |
| 3 | 3.44 | 2.78 | 2.81 | 2.22 | 1.53 | 3.31 | 0.00 | 0 |
| 4 | 1.81 | 1.41 | 2.50 | 1.53 | 2.28 | 3.72 | D 13.25 | 6 |
| 5 | 3.53 | 1.91 | 2.50 | 1.91 | 2.91 | 2.12 | 14.88 | 6 |
| 6 | 2.80 | 2.39 | 1.80 | 2.28 | 3.12 | VP 3.20 | 15.59 | 6 |
| 7 | 2.75 | C 2.82 | 2.08 | 1.11 | 2.65 | 4.41 | C 15.82 | 6 |
| 8 | 2.48 | 1.15 | 1.78 | 1.65 | 1.85 | 1.00 | 9.91 | 6 |
| 9 | 2.2 | 1.42 | 1.2 | 1.98 | D 1.55 | C 1.12 | 9.47 | 6 |
| 10 | 1.98 | 2.35 | 1.48 | 2.68 | VP 2.03 | 1.84 | 4.38 | 2 |
| 11 | 2.36 | 1.65 | 1.63 | 1.41 | 1.64 | 1.66 | 0 | |
| 12 | 2.02 | 2.33 | | 2.21 | 1.23 | 2.77 | 0 | |
| 13 | | 2.42 | | | 1.41 | | 0 | |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | |
| D=Demora C=Combi VP=Vehiculo Pesado | | | | | | | Sumatoria = 83.30 Tiempo Promedio de Saturación = 2.19 Tasa de flujo de Saturación act. 3.600 | 38.00 2.19 1.644 vphvpv |

Cuadro. Fuente propia/Datos de campo

TASA DE FLUJO DE SATURACION ACTUANTE

AV. FAUCETT NORTE - SUR
 Fecha: 23 Mar 04

| Vehiculos en Fila | Observaciones del Tiempo de Saturación (Seg.) | | | | | | Sumatoria Saturación | No. Registros | |
|---|---|--------|---------|---------|--------|------|----------------------------------|---------------|--------|
| | Numero de Ciclos | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| 1 | 3.09 | 4.49 | 3.27 | 3.42 | 4.84 | 2.56 | 0 | 0 | |
| 2 | 3.18 | 3.68 | 4.29 | 2.12 | 2.52 | 1.8 | 0 | 0 | |
| 3 | 3.37 | 2.41 | 2.57 | 2.78 | 2.25 | 2.07 | 0 | 0 | |
| 4 | 3.04 | C 1.56 | 2.00 | 1.38 | 2.03 | 1.60 | 11.61 | 6 | |
| 5 | 2.00 | 1.63 | 2.84 | 3.68 | D 2.12 | 2.09 | 14.36 | 6 | |
| 6 | 3.00 | 1.55 | 2.44 | 1.88 | 2.80 | 1.65 | 13.32 | 6 | |
| 7 | 1.43 | 2.10 | 2.70 | 2.31 | 2.31 | 1.73 | 12.58 | 6 | |
| 8 | 2.12 | 1.33 | 1.46 | 2.68 | 1.04 | 1.00 | 9.63 | 6 | |
| 9 | 2.77 | C 2.84 | VP 1.84 | 2.41 | 1.25 | 1.53 | 7.02 | 3 | |
| 10 | 1.85 | 2.02 | 2.68 | VP 2.46 | 3.51 | 1.76 | 0 | | |
| 11 | 2.56 | 1.87 | 2.12 | 2.31 | 1.56 | 2.11 | 0 | | |
| 12 | 2.10 | | 1.89 | 1.56 | 2.41 | | 0 | | |
| 13 | | | 1.74 | | | | 0 | | |
| 14 | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | |
| D=Demora C=Combi VP=Vehiculo Pesado | | | | | | | Sumatoria = | 68.52 | 33.00 |
| | | | | | | | Tiempo Promedio de Saturación = | | 2.08 |
| | | | | | | | Tasa de flujo de Saturación act. | 3.600 | 1.731 |
| | | | | | | | | 2.08 | vphvpv |

Cuadro: Fuente propia/Datos de campo

TASA DE FLUJO DE SATURACION ACTUANTE

AV. VENEZUELA ESTE - OESTE

Fecha: 24 Mar 04

| Vehiculos en Fila | Observaciones del Tiempo de Saturación (Seg.) Numero de Ciclos | | | | | | Sumatoria Saturación | No. Registros |
|----------------------------------|---|------|------|---|---|---|-------------------------|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| 1 | 3.47 | 6.17 | 6.73 | | | | 0 | 0 |
| 2 | 2.6 | 7.57 | 2.38 | | | | 0 | 0 |
| 3 | 3.69 | 3.59 | 1.82 | | | | 0 | 0 |
| 4 | 2.12 | 2.87 | 4.09 | | | | 9.08 | 3 |
| 5 | 1.41 | 4.47 | 1.56 | | | | 7.44 | 3 |
| 6 | 1.6 | 4.67 | 1.92 | | | | 8.19 | 3 |
| 7 | 1.1 | 3.8 | 2.34 | | | | 7.24 | 3 |
| 8 | | | 3.41 | | | | 0 | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | |
| Sumatoria = | | | | | | | 31.95 | 12.00 |
| Tiempo Promedio de Saturación = | | | | | | | | 2.66 |
| Tasa de flujo de Saturación act. | | | | | | | 3.600 | 1,353 |
| | | | | | | | 2.66 | vphvpv |

Cuadro: Fuente propia/Datos de campo

TASA DE FLUJO DE SATURACION ACTUANTE

AV. VENEZUELA OESTE - ESTE

Fecha: 25 Mar 04

| Vehiculos en Fila | Observaciones del Tiempo de Saturación (Seg.) Numero de Ciclos | | | | | | Sumatoria Saturación | No. Registros |
|----------------------------------|---|------|------|------|---|---|-------------------------|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| 1 | 4.79 | 5.43 | 1.43 | 4.72 | | | 0 | 0 |
| 2 | 2.28 | 3.48 | 3.67 | 2.42 | | | 0 | 0 |
| 3 | 2.53 | 2 | 2.25 | 2.41 | | | 0 | 0 |
| 4 | 3.62 | 1.62 | 2.03 | 4.63 | | | 11.9 | 4 |
| 5 | 1.84 | | 2.43 | | | | 4.27 | 2 |
| 6 | | | 2.25 | | | | 2.25 | 1 |
| 7 | | | 3.31 | | | | 3.31 | 1 |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | |
| Sumatoria = | | | | | | | 21.73 | 8.00 |
| Tiempo Promedio de Saturación = | | | | | | | | 2.72 |
| Tasa de flujo de Saturación act. | | | | | | | 3.600 | 1.324 |
| | | | | | | | 2.72 | vphvpv |

Cuadro: Fuente propia/Datos de campo

10.2 Estudio para determinar la Tasa de Flujo de Saturación Ideal.

Para efectos de determinar la Tasa de Flujo de Saturación Ideal se consideró condiciones ideales en las vías en el mismo lugar de estudio, en lo referente a la geometría se asumió a la actual como la ideal, así mismo se ha considerado la no interferencia de vehículos pesados ni por volteos efectuados por los vehículos dentro de la intersección dentro del periodo de registro de datos. Bajo estas consideraciones los resultados obtenidos fueron los siguientes: Av. Faucett sentido Sur – Norte, la Tasa de Flujo de Saturación Ideal se estableció en 2022 vphvpv; Av. Faucett sentido Norte – Sur, la Tasa de Flujo de Saturación Ideal se estableció en 2034 vphvpv; ; Av. Venezuela sentido Este – Oeste, la Tasa de Flujo de Saturación Ideal se estableció en 2308 vphvpv; Av. Venezuela sentido Oeste – Este, la Tasa de Flujo de Saturación Ideal se estableció en 1434 vphvpv. La interpretación de estos valores es la misma que la señalada en el numeral 10.3, con la diferencia de que en la obtención de estos valores se consideraron condiciones ideales. Para efectos de determinar un solo valor de la Tasa de Flujo de Saturación Ideal dentro de las aproximaciones a la intersección se obtuvo un promedio que arrojó un resultado de 1950 vphvpv tomando este valor como parámetro en el Cuadro de Análisis de la Tasa de Flujo de Saturación, para el análisis de la intersección antes referida.

Las diferencias entre los valores de Tasa de Flujo de Saturación Ideal obtenidos en la intersección se deben básicamente a la diferencia entre los tiempos de saturación encontrados para cada aproximación, dado que estos no pueden ser iguales.

Considero necesario resaltar que, si bien la metodología desarrollada por el HCM para el análisis de intersecciones viales semaforizadas proporciona valores estándar o por defecto determinados de numerosos estudios, es conveniente, de ser posible la menor utilización de ellos, pues introducirán mayores errores en el resultado final.

TASA DE FLUJO DE SATURACION IDEAL

AV. FAUCETT SUR - NORTE

Fecha: 22 Mar 04

Tiempos Observados en Seg.

| Vehiculos en Fila | CICLOS | | | No. de Registros |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| | 2 | 3 | 4 | |
| 4 | 1.41 | 1.53 | 1.53 | 3 |
| 5 | 1.91 | 1.91 | 1.91 | 3 |
| 6 | 2.39 | 2.28 | 2.28 | 3 |
| 7 | 2.82 | 1.11 | 1.11 | 3 |
| 8 | <u>1.15</u> | <u>1.65</u> | <u>1.65</u> | 3 |
| Sumatoria | <u>9.68</u> | <u>8.48</u> | <u>8.48</u> | 15 |
| Sumatoria | 26.64 | | | |

Tiempo Promedio de Saturación $\frac{26.64}{15} = 1.78$ Seg.

15

Tasa ideal de flujo de Saturación $S_0 = \frac{3,600}{1.78} = 2,022$ vphvpv

Cuadro: Fuente propia/Datos de campo 1.78

TASA DE FLUJO DE SATURACION IDEAL

AV. FAUCETT NORTE - SUR

Fecha: 23 Mar 04

Tiempos Observados en Seg.

| Vehiculos en Fila | CICLOS | | | No. de Registros |
|-------------------|--------|-------|------|------------------|
| | 2 | 5 | 6 | |
| 4 | 1.56 | 2.03 | 1.60 | 3 |
| 5 | 1.63 | 2.12 | 2.09 | 3 |
| 6 | 1.55 | 2.80 | 1.65 | 3 |
| 7 | 2.10 | 2.31 | 1.73 | 3 |
| 8 | 1.33 | 1.04 | 1.00 | 3 |
| Sumatoria | 8.17 | 10.30 | 8.07 | 15 |
| Sumatoria | 26.54 | | | |

Tiempo Promedio de Saturación $\frac{26.54}{15} = 1.77$ Seg.

15

Tasa ideal de flujo de Saturación $S_o = \frac{3,600}{1.77} = 2,034$ vphvpv

Cuadro: Fuente propia/Datos de campo 1.77

TASA DE FLUJO DE SATURACION IDEAL

AV. VENEZUELA ESTE - OESTE

Fecha: 24 Mar 04

Tiempos Observados en Seg.

| Vehiculos en Fila | CICLOS | | | No. de Registros |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| 4 | 2.12 | | | 1 |
| 5 | 1.41 | | | 1 |
| 6 | 1.6 | | | 1 |
| 7 | 1.1 | | | 1 |
| Sumatoria | <u>6.23</u> | <u>0.00</u> | <u>0.00</u> | 4 |
| Sumatoria | <u>6.23</u> | | | |

Tiempo Promedio de Saturación $\frac{6.23}{4} = 1.56$ Seg.

4

Tasa ideal de flujo de Saturación $S_o = \frac{3,600}{1.56} = 2,308$ vphvpv

Cuadro: Fuente propia/Datos de campo 1.56

TASA DE FLUJO DE SATURACION IDEAL

AV. VENEZUELA OESTE - ESTE

Fecha: 25 Mar 04

Tiempos Observados en Seg.

| Vehiculos en Fila | CICLOS | | | No. de Registros |
|-------------------|-------------|--------------|-------------|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| 4 | | 2.03 | | 1 |
| 5 | | 2.43 | | 1 |
| 6 | | 2.25 | | 1 |
| 7 | | 3.31 | | 1 |
| Sumatoria | <u>0.00</u> | <u>10.02</u> | <u>0.00</u> | 4 |
| Sumatoria | | 10.02 | | |

Tiempo Promedio de Saturación $\frac{10.02}{4} = 2.51$ Seg.

4

Tasa ideal de flujo de Saturación $S_o = \frac{3,600}{2.51} = 1,434$ vphvpv

Cuadro: Fuente propia/Datos de campo 2.51

10.3 Estudio de Tiempos perdidos en la Partida.

El tiempo perdido en la partida puede ser definido como el tiempo que pierde un vehículo cuando se encuentra parado en una aproximación de la intersección y parte por el cambio de la señal. Este tiempo refleja la reacción del conductor y la aceleración del vehículo. El tiempo perdido en la partida está relacionado con el tiempo de saturación el cual se mide sobre los vehículos parados en fila y que parten por el cambio de señal a verde hasta que el tiempo se estabiliza entre estos.

De acuerdo con los estudios realizados por la Dirección de Investigación del Transporte (USA), estos establecieron en el Highway Capacity Manual '85/'97 un valor por defecto para el tiempo perdido en la partida de 3.0 seg/fase, sin embargo, se debe tener en cuenta que este parámetro se mide también sobre las mismas condiciones ideales señaladas en el estudio de tasa de flujo de saturación ideal señalado precedentemente.

A efectos de obtener un valor acorde con las características de nuestro parque automotor, se consideró efectuar un estudio para determinar el tiempo perdido en la partida para la intersección en análisis. Para dicho efecto se realizaron mediciones de campo del tiempo de saturación en cada una de las aproximaciones de la intersección de la Avenida Elmer Faucett y Avenida Venezuela. Así mismo, y con la finalidad de obtener registros del tiempo perdido en otra zona de la ciudad de Lima se efectuó un estudio en el distrito de San Borja sobre la Avenida San Borja Norte en la cual las condiciones de ideales son más uniformes por no encontrar vehículos pesados ni vehículos de transporte o volteos que interfieran con el registro de datos.

El estudio comprendió un total de 288 registros de observaciones de tiempos en campo, con los cuales se determinaron los Tiempos Perdidos en la Partida en cada aproximación de la intersección, en los cuadros denominados Estudio de Tiempos Perdidos en la Partida se pueden apreciar los señalados registros y los cálculos para determinar los tiempos perdidos. En vista que las condiciones ideales para la determinación de este parámetro no eran iguales en todas las aproximaciones se optó por no promediar los resultados, aplicando sus respectivos valores a cada una de las aproximaciones en el análisis de la intersección. Los valores obtenidos para la Av. Faucett en el sentido Sur –

Norte 2.72 seg., Norte – Sur 3.02 seg., Av. Venezuela sentido Este – Oeste 4.06 seg., y Oeste – Este 3.26 seg.

Así mismo los valores obtenidos en la Av. San Borja Norte determinaron los siguientes valores en el sentido Este – Oeste 2.45 seg. y Oeste – Este 2.68 seg. Se ha podido observar en campo que los tiempos perdidos en la partida son más parejos cuando las condiciones actuantes en las vías se acercan más a la ideal. Para efectos de determinar un único valor que pueda ser utilizado para el análisis de cualquier intersección en la ciudad de Lima, recomiendo que se debería realizar un estudio más amplio que el realizado en el presente trabajo y que involucre distintas zonas de la ciudad capital, para lo cual se debe contar con suficiente financiamiento que permita cubrir los costos de tiempo y personal.

A continuación se presentan los cuadros con los valores registrados y cálculos respectivos.

ESTUDIO DE TIEMPOS PERDIDOS EN LA PARTIDA

W. FAUCETT SUR - NORTE

Fecha: 22 Mar 04

| Vehiculos en Fila | Observaciones del Tiempos (Seg.) | | | | | | Sumatoria Tiempos | No. Registros | Prom. | Tiempo de Saturación | |
|-------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|-------------------------------------|---------------|-------|----------------------|------|
| | Numero de Ciclos | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | |
| 1 | 3.55 | 2.77 | 2.79 | 1.94 | 2.67 | 1.99 | 15.71 | 6 | 2.62 | 1.65 | 0.97 |
| 2 | 2.17 | 3.31 | 2.24 | 1.94 | 2.43 | 2.10 | 14.19 | 6 | 2.37 | 1.65 | 0.72 |
| 3 | 3.44 | 2.78 | 2.81 | 2.22 | 1.53 | 3.31 | 16.09 | 6 | 2.68 | 1.65 | 1.03 |
| 4 | 1.81 | 1.41 | 2.50 | 1.53 | 2.28 | 3.72 | Tiempo perdido en la Partida = 2.72 | | | | |
| 5 | 3.53 | 1.91 | 2.50 | 1.91 | 2.91 | 2.12 | | | | | |
| 6 | 2.80 | 2.39 | 1.80 | 2.28 | 3.12 | 3.20 | | | | | |
| 7 | 2.75 | 2.82 | 2.08 | 1.11 | 2.65 | 4.41 | | | | | |
| 8 | 2.48 | 1.15 | 1.78 | 1.65 | 1.85 | 1.00 | | | | | |

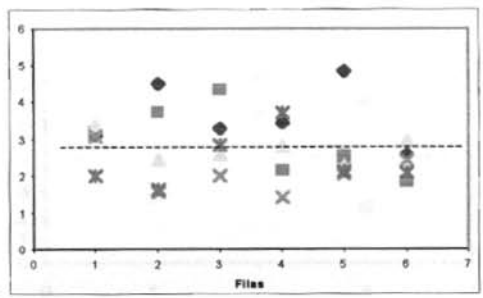
Cuadro: Fuente propia/Datos de campo

ESTUDIO DE TIEMPOS PERDIDOS EN LA PARTIDA

AV. FAUCETT NORTE - SUR

Fecha: 23 Mar 04

| Vehiculos en Fila | Observaciones del Tiempos (Seg.) Numero de Ciclos | | | | | | Sumatoria Tiempos | No. Registros | Tiempo de Saturación | | |
|-------------------|--|------|------|------|------|------|-------------------------------------|---------------|----------------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | Prom. | | |
| 1 | 3.09 | 4.49 | 3.27 | 3.42 | 4.84 | 2.56 | 21.67 | 6 | 3.61 | 2.08 | 1.53 |
| 2 | 3.18 | 3.68 | 4.29 | 2.12 | 2.52 | 1.8 | 17.59 | 6 | 2.93 | 2.08 | 0.85 |
| 3 | 3.37 | 2.41 | 2.57 | 2.78 | 2.25 | 2.94 | 16.32 | 6 | 2.72 | 2.08 | 0.64 |
| 4 | 3.04 | 1.56 | 2.00 | 1.38 | 2.03 | 2.41 | Tiempo perdido en la Partida = 3.02 | | | | |
| 5 | 2.00 | 1.63 | 2.84 | 3.68 | 2.12 | 2.09 | | | | | |
| 6 | 3.00 | 1.55 | 2.44 | 1.88 | 2.80 | 1.65 | | | | | |



Cuadro: Fuente propia/Datos de campo

ESTUDIO DE TIEMPOS PERDIDOS EN LA PARTIDA

AV. VENEZUELA ESTE - OESTE

Fecha: 24 Mar 04

| Vehiculos en Fila | Observaciones del Tiempos (Seg.) Numero de Ciclos | | | Sumatoria Tiempos | No. Registros | Prom. | Tiempo de Saturación | |
|-------------------|--|------|------|----------------------|------------------|-------|----------------------|------|
| | 1 | 2 | 3 | | | | | |
| 1 | 3.47 | 6.17 | 6.73 | 16.37 | 3 | 5.46 | 2.87 | 2.59 |
| 2 | 2.6 | 7.57 | 2.38 | 12.55 | 3 | 4.18 | 2.87 | 1.31 |
| 3 | 3.69 | 3.59 | 1.82 | 9.10 | 3 | 3.03 | 2.87 | 0.16 |
| 4 | 2.12 | 2.87 | 4.09 | | | | | |
| 5 | 1.41 | 4.47 | 1.56 | | | | | |
| 6 | 1.6 | 4.67 | 1.92 | | | | | |

Tiempo perdido en la Partida = 4.06

| Fila | Time Lost (Seg.) |
|------|------------------|
| 1 | 3.47 |
| 2 | 6.17 |
| 3 | 6.73 |

Cuadro: Fuente propia/Datos de campo

ESTUDIO DE TIEMPOS PERDIDOS EN LA PARTIDA

AV. VENEZUELA OESTE - ESTE

Fecha: 25 Mar 04

| Vehiculos en Fila | Observaciones del Tiempos (Seg.) Numero de Ciclos | | | | Sumatoria Tiempos | No. Registros | Prom. | Tiempo de Saturación | |
|----------------------|--|------|------|------|---|------------------|-------|----------------------------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | | |
| 1 | 4.79 | 5.43 | 1.43 | 4.72 | 16.37 | 4 | 4.09 | 2.03 | 2.06 |
| 2 | 2.28 | 3.48 | 3.67 | 2.42 | 11.85 | 4 | 2.96 | 2.03 | 0.93 |
| 3 | 2.53 | 2 | 2.25 | 2.41 | 9.19 | 4 | 2.3 | 2.03 | 0.27 |
| 4 | 3.62 | 1.62 | 2.03 | 4.63 | Tiempo perdido en la Partida = 3.26 | | | | |
| 5 | 1.84 | | 2.43 | | | | | | |
| 6 | | | 2.25 | | | | | | |

Cuadro: Fuente propia/Datos de campo

ESTUDIO DE TIEMPOS PERDIDOS EN LA

AV. SAN BORJA NORTE ESTE -

Fecha: 23 Feb

| Vehiculos Fila | Observaciones del Tiempos | | | | | | Sumatori Tiempo | No. Registro | Tiemp de | | |
|-------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|----------------------|-----------------|-------------|-----------|------|
| | Numero de | | | | | | | | Prom | Saturació | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | |
| 1 | 4.5 | 3.09 | 2.1 | 2.73 | 3.62 | 2.11 | 18.1 | 6 | 3.03 | 2.08 | 0.95 |
| 2 | 2.86 | 2.08 | 3.73 | 2.38 | 3.44 | 3.75 | 18.2 | 6 | 3.04 | 2.08 | 0.96 |
| 3 | 2.14 | 3.1 | 3.72 | 2.25 | 2.33 | 2.17 | 15.7 | 6 | 2.62 | 2.08 | 0.54 |
| 4 | 1.78 | 2.04 | 1.94 | 1.91 | 3.2 | 1.84 | Tiempo perdido en la | | | | 2.45 |
| 5 | 2.08 | 1.84 | 2.76 | 1.72 | 1.03 | 3.24 | | | | | |
| 6 | 2.39 | 1.9 | 1.87 | 1.61 | 1.74 | 2.06 | | | | | |
| 7 | 1.5 | 1.28 | 2.47 | 2.44 | 1.55 | 1.53 | | | | | |
| 8 | 1.21 | 1.21 | 1.61 | 2.52 | 1.43 | 2.08 | | | | | |

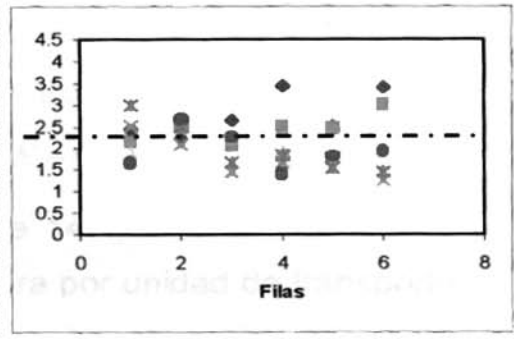
Cuadro: Fuente propia/Datos de

ESTUDIO DE TIEMPOS PERDIDOS EN LA PARTIDA

AV. SAN BORJA NORTE OESTE - ESTE

Fecha: 27 Feb 04

| Vehiculos en Fila | Observaciones del Tiempos (Seg.) | | | | | | Sumatoria Tiempos | No. Registros | Tiempo de Saturación | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|-------------------|---------------|----------------------|---------------|------|
| | Numero de Ciclos | | | | | | | | Prom. | de Saturación | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | |
| 1 | 2.42 | 2.21 | 2.63 | 3.44 | 2.51 | 3.39 | 16.6 | 6 | 2.77 | 1.54 | 1.23 |
| 2 | 2.15 | 2.52 | 2.01 | 2.53 | 2.49 | 3.03 | 14.73 | 6 | 2.46 | 1.54 | 0.92 |
| 3 | 1.88 | 4.14 | 1.32 | 1.98 | 1.51 | 1.61 | 12.44 | 6 | 2.07 | 1.54 | 0.53 |
| Tiempo perdido en la Partida = 2.68 | | | | | | | | | | | |
| 4 | 2.53 | 2.08 | 1.46 | 1.68 | 1.75 | 1.27 | | | | | |
| 5 | 2.99 | 2.48 | 1.67 | 1.82 | 1.54 | 1.46 | | | | | |
| 6 | 1.67 | 2.69 | 2.26 | 1.43 | 1.79 | 1.95 | | | | | |
| 7 | 1.54 | 1.64 | 1.56 | 2.18 | 1.52 | 1.71 | | | | | |
| 8 | 1.27 | 1.57 | 1.32 | 2.32 | 1.28 | 1.67 | | | | | |



Cuadro. Fuente propia/Datos de campo

10.4 Estudio de Tiempos de Servicio de recojo y descarga de pasajeros de Transporte Público y modificación del Factor de Bloqueo por Transporte Público.

El presente estudio está relacionado con el Factor de Bloqueo por Transporte Público. Este factor como ya se explicó anteriormente sirve para ajustar la Tasa de Flujo de Saturación Ideal y es usado en el cuadro de Análisis del Flujo de Saturación.

El Factor de Bloqueo por Transporte Público, es un parámetro que mide la interferencia producida por el transporte público cuando este se detiene para la carga y descarga de pasajeros. De acuerdo a la metodología desarrollada este parámetro es función del número de vías, el número de vehículos y el tiempo promedio de demora.

La relación desarrollada y presentada por el HCM actualizada a 1997, para obtener el factor de bloqueo es la siguiente: $f_{bb} = \left[\left(N - (14.4 N_B \times 3600) \right) \div N \right]$

en esta relación es importante resaltar el valor de 14.4, este está dado en segundos y representa el tiempo promedio de demora por unidad de transporte público sirviendo pasajeros, dado que este valor ha sido obtenido para unidades de transporte de alta capacidad (Ómnibus) los cuales tienen un tiempo de servicio muy distinto al que brindan nuestras unidades (Combis/Custer), se consideró necesario efectuar el presente estudio para obtener un tiempo promedio de demora acorde con nuestra realidad, para lo cual se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Se consideró sólo el tiempo efectivo para el recojo y descarga de pasajeros.
- Se descartaron las sobre paradas efectuadas por las unidades.
- Solo se tomaron registros en paraderos establecidos.
- No se consideró el tiempo de las unidades ya paradas en espera de que lleguen pasajeros que no se encontraban en el paradero.
- Se descartaron los tiempos de las unidades que se detuvieron para hacer consulta con los llamados "dateadores" o "dateros".
- Las tomas se realizaron durante el tiempo de verde o sin obstrucción para las unidades de transporte.

Según las consideraciones señaladas, podemos decir que el estudio se realizó bajo condiciones ideales. En cuanto a las unidades observadas, en un principio se consideró Combis, Custer y Buses, las observaciones se realizaron en avenidas principales tales como la Avenida Aviación, Avenida Javier Prado y la Avenida Canadá.

El estudio se basó sobre el registro y medición de las unidades de transporte llamadas Custer, debido a que estas tienen una frecuencia más pareja en lo que se refiere al recojo y descarga de pasajeros y a su modo de operación.

Respecto al registro de las unidades de transporte llamadas Combis, se debe indicar que no se obtuvieron buenos registros debido a que estas unidades no respetan los paraderos, generalmente se detienen fuera de ellos, se detienen en cualquier carril de la avenida para el recojo de pasajeros y simplemente se detienen sin motivo alguno; por estas razones que se optó por obviar este medio de transporte del estudio. Sin embargo, se hicieron algunos pocos registros que son presentados más adelante pero que no pueden ser representativos para determinar un tiempo definido.

Sobre las unidades de transporte conocidas como ómnibuses, si bien es cierto estas unidades tienen un modo de operación más parejo, lamentablemente en nuestro servicio de transporte público estas unidades prácticamente no existen. Es así, sobre la base de 192 registros de tiempos de servicio de las unidades de transporte, considerando un tiempo promedio de desaceleración y aceleración de 4 segundos en total se obtuvo un tiempo de demora promedio durante el servicio de carga y descarga de pasajeros de 8.7 segundos. Por lo tanto, la relación que determina el factor queda así:

$f_{\text{Custer}} = \left[\frac{N - (8.7 N_1 \times 3600)}{N} \right]$ a continuación se presentan los cuadros con los cálculos respectivos.

TIEMPO PROMEDIO DE DEMORA DE SERVICIO POR TRANSPORTE PUBLICO

| FECHA | 13/04/04 | | | 08/04/04 | |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Numero de Registros | Av. Aviación | Av. Aviación | Av. Aviación | Av. J.Prado | Av. J.Prado |
| | Seg. | Seg. | Seg. | Seg. | Seg. |
| | CUSTER | CUSTER | CUSTER | CUSTER | CUSTER |
| 1 | 5.54 | 11.16 | 3.52 | 4.17 | 3.00 |
| 2 | 1.66 | 5.35 | 4.80 | 4.00 | 6.30 |
| 3 | 5.87 | 9.56 | 1.99 | 11.15 | 6.34 |
| 4 | 2.24 | 7.23 | 5.60 | 12.50 | 7.12 |
| 5 | 4.72 | 8.85 | 2.14 | 4.08 | 3.27 |
| 6 | 2.00 | 6.45 | 4.60 | 8.29 | 2.67 |
| 7 | 4.00 | 3.87 | 2.84 | 3.75 | 4.32 |
| 8 | 3.94 | 2.12 | | 10.08 | 5.26 |
| 9 | 4.03 | 3.70 | | 4.35 | 3.50 |
| 10 | 3.32 | 1.81 | | 4.23 | 4.05 |
| 11 | 3.57 | 2.47 | | 3.20 | |
| 12 | 4.37 | 4.97 | | 11.71 | |
| 13 | 3.80 | 2.41 | | 5.10 | |
| 14 | 3.85 | 2.68 | | 3.93 | |
| 15 | 12.79 | 3.30 | | 3.60 | |
| 16 | 4.90 | 8.57 | | 3.51 | |
| 17 | 2.92 | 4.95 | | 3.04 | |
| 18 | 2.09 | 3.00 | | 3.60 | |
| 19 | 4.23 | 4.23 | | 6.20 | |
| 20 | 9.00 | 6.59 | | 11.10 | |
| | 88.84 | 103.27 | 25.49 | 121.59 | 45.83 |

Cuadro: Fuente propia/Datos de campo

TIEMPO PROMEDIO DE DEMORA DE SERVICIO POR TRANSPORTE PUBLICO

| FECHA | | 21/04/04 | | | | 22/04/04 | |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| Numero de Registros | Av. J.Prado | Av. J.Prado | Av. J.Prado | Av. J.Prado | Av. J.Prado | Av. J.Prado | |
| | Seg. | Seg. | Seg. | Seg. | Seg. | Seg. | |
| | CUSTER | CUSTER | CUSTER | CUSTER | CUSTER | CUSTER | |
| 1 | 6.18 | 3.73 | 2.73 | 3.13 | 3.23 | 9.01 | |
| 2 | 7.26 | 2.61 | 4.62 | 2.74 | 2.50 | 5.84 | |
| 3 | 3.53 | 2.25 | 2.46 | 2.31 | 3.10 | 4.84 | |
| 4 | 7.60 | 3.75 | 4.28 | 2.00 | 2.38 | 4.62 | |
| 5 | 3.77 | 6.14 | 3.80 | 1.90 | 8.32 | 4.83 | |
| 6 | 5.61 | 5.02 | 3.00 | 1.90 | 5.23 | 4.78 | |
| 7 | 2.18 | 4.59 | 3.96 | 2.29 | 6.30 | 8.24 | |
| 8 | 5.14 | 3.43 | 6.67 | 2.39 | 3.24 | 12.72 | |
| 9 | 4.40 | 2.26 | 3.55 | 2.80 | 3.17 | 3.20 | |
| 10 | 3.50 | 2.97 | 1.62 | 1.50 | 3.68 | 1.31 | |
| 11 | 5.04 | 3.86 | 4.00 | 8.20 | 9.87 | 5.78 | |
| 12 | 2.64 | 2.89 | 2.17 | 11.30 | 2.20 | 6.29 | |
| 13 | 7.53 | 6.68 | 4.98 | 3.34 | 3.46 | 3.40 | |
| 14 | 3.44 | 7.13 | 1.48 | 9.17 | 4.17 | 2.88 | |
| 15 | 4.50 | 4.58 | 3.58 | 3.62 | 3.32 | 2.52 | |
| 16 | 5.05 | 2.30 | 2.54 | | 3.02 | 2.35 | |
| 17 | 1.89 | 4.95 | 4.47 | | 9.73 | 4.12 | |
| 18 | 10.92 | 3.70 | 9.61 | | 4.90 | 5.40 | |
| 19 | 4.51 | 2.45 | 9.35 | | 4.94 | 8.97 | |
| 20 | 3.54 | 3.34 | 2.14 | | 10.03 | 2.51 | |
| | 98.23 | 78.63 | 81.01 | 58.59 | 96.79 | 103.61 | |

Cuadro: Fuente propia/Datos de campo

| | |
|---|--------|
| Numero de Registros = | 192.00 |
| Tiempo Total Seg. = | 901.88 |
| Tiempo Promedio de Servicio en Seg. = | 4.70 |
| Tiempo Promedio de Decel. Y Acel. en Seg. = | 4.00 |
| Total Tiempo Promedio de Servicio en Seg. : | 8.70 |

10.5 Modificación del Factor de ajuste por Ancho de Vía.

El factor de ajuste por ancho de vía considera el impacto perjudicial producido por vías angostas sobre la tasa de flujo de saturación y también permite el incremento de flujo sobre vías anchas. La razón principal de la modificación es que la relación desarrollada para el cálculo de este factor $(1+(w-12)/30)$ [Ref. 6] considera como ancho estándar de vía o carril 12 pies, lo cual equivale a 3.60 metros. Como podemos darnos cuenta este ancho no corresponde al ancho que tenemos en las avenidas o calles de nuestra ciudad, cuyo ancho promedio es de 3.30 metros de acuerdo a observaciones realizadas.

Debido a esta variación, se consideró conveniente modificar la relación para el cálculo del Factor de ajuste por ancho de vía para que se encuentre acorde con nuestra infraestructura vial. Para tal efecto se obtuvo la relación entre 12 pies y su equivalente 3.60 metros, de donde obtuvimos una razón de 0.30 que aplicado al denominador de la relación original nos da 9.00, con estos valores podemos formar la relación para un ancho estándar de 3.60 metros la cual quedaría como sigue: $[1 + (w - 3.60) \div 9]$, pero a nosotros nos interesa para nuestro ancho estándar de 3.30 metros para vías urbanas. Entonces procediendo de manera similar para un ancho de 3.30 obtenemos una razón de 0.275 que aplicada al denominador nos da un valor de 8.25, así obtenemos la siguiente relación que puede ser aplicable a nuestra realidad: $[1 + (w - 3.30) \div 8.25]$ donde w es el ancho de la vía en metros y con la cual podemos efectuar una tabulación para distintos anchos que pueden usarse dentro de nuestra infraestructura vial; proponiendo los siguientes valores:

Tabla 5. Factor de Ajuste para anchos Promedio de Vías (f_w)

| Ancho Promedio por Vía, W (m) | Factor por Ancho de Vía, f_w |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 2.40 | 0.891 |
| 2.70 | 0.927 |
| 3.00 | 0.964 |
| 3.30 | 1.000 |
| 3.50 | 1.024 |
| 4.00 | 1.085 |
| 4.20 | 1.109 |
| 4.50 | 1.145 |
| 4.80 | 1.182 |

Fuente: Valores calculados y propuestos por el autor de la tesis

10.6 Determinación de la velocidad peatonal en la intersección.

De acuerdo con la literatura [8], para que una intersección sea provista de semáforos para peatones, se estima que el flujo peatonal sea superior a 250 peatones/hora.

Para efectos del estudio de la intersección se realizó el aforo peatonal en la zona durante la hora pico en la mañana y en día laboral. Se ha podido observar que en la zona, el tránsito de peatones en la hora pico está compuesto básicamente con personas adultas que se desplazan a sus centros de labores, así como jóvenes estudiantes de universidades e institutos.

El aforo peatonal dio los siguientes resultados: en el sentido de la Av. Venezuela a la Av. Elmer Faucett dirección Sur – Norte 257 peat/hr, dirección Este – Oeste 243 peat/hr.

En el sentido Av. Elmer Faucett a la Av. Venezuela dirección Norte – Sur 221 peat/hr, dirección Oeste – Este 359 peat/hr.

Observando los datos del aforo podemos darnos cuenta que el flujo peatonal se encuentra cerca del valor necesario para establecer la colocación de semáforos peatonales. Por esta razón se consideró determinar el tiempo mínimo de verde que debería considerarse para ser provisto en el tiempo de la señal.

El mínimo tiempo verde puede ser estimado según la siguiente relación:

$G_p = 7.0 + (W / 1.37) - Y_i$, esta relación se encuentra detallada en el acápite 4 de Metodología. Considero resaltante en esta relación el valor de 1.37 m/s que es la velocidad peatonal usada por los desarrolladores de la relación. Con la finalidad de comprobar este valor se efectuó un estudio de velocidad peatonal en la intersección que se analizó.

Se tomaron los tiempos de desplazamiento de los peatones desde un lado al otro de las avenidas, estos tiempos se registraron en cuadros que a continuación se mostrarán. Posteriormente se tomaron las distancias recorridas para con estos valores obtener la velocidad peatonal en cada

recorridas para con estos valores obtener la velocidad peatonal en cada dirección de la intersección. Se obtuvieron 40 datos de velocidad las cuales fueron promediadas mediante tres procedimientos de medida de tendencia central, los cuales fueron: Media Aritmética, Percentil85 y Percentil50.

De acuerdo con estos procedimientos, obtuvimos mediante la media aritmética un valor de velocidad de 1.38 Metros/seg., con el Percentil85 obtuvimos un valor de velocidad de 1.78 Metros/seg., y con el Percentil50 el valor fue de 1.39 Metros/seg.

La media aritmética es el promedio más comúnmente usado, su comportamiento es estable en muestras grandes y cuando la distribución de los datos es simétrica, dado que nuestros datos no son simétricos, se efectuó el cálculo del percentil85 obteniendo un valor de velocidad de 1.78 Metros/seg. Al respecto considero que este valor excede demasiado el valor usado por el HCM establecida en 1.37 m/s, es decir 30% más, por tal motivo se consideró efectuar el cálculo del percentil50 pues este se ajusta más a una distribución de variable asimétrica con menor número de observaciones. El resultado que obtuvimos con Percentil50 para el promedio de velocidad peatonal fue de 1.39 Metros/seg., dicho valor se aproxima más al valor antes referido, por tal motivo se consideró usar este valor para determinar el tiempo de verde para peatones en la intersección estudiada.

Cálculo del Tiempo mínimo de verde:

Cruzando Av. Venezuela sentido Norte – Sur, Sur – Norte:

Distancia de cruce: 14.2 m hasta la berma central.

$G_p = 9.8$ seg.

Cruzando Av. Elmer Faucett sentido Oeste – Este, Este – Oeste

Distancia de cruce: 18.0 m hasta la berma central.

$G_p = 12.1$ seg.

Estos son los valores de tiempo mínimo que la entidad responsable debería tener en consideración para dar las facilidades del caso a los peatones y proveer de seguridad a los mismos mediante la instalación de semáforos peatonales en la intersección.

DETERMINACION DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE CAMINATA PEATONAL

Av E. Faucett - Av. Venezuela

Fecha 12/03/04

| DETERMINACION DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE CAMINATA PEATONAL | | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|
| Registros | CRUZAN AL NORTE Seg. | DISTANCIA Metros | VELOCIDAD Metros/Seg | CRUZAN AL SUR Seg. | DISTANCIA Metros | VELOCIDAD Metros/Seg |
| 1 | 16 | 22.1 | 1.38 | 13 | 22.1 | 1.70 |
| 2 | 13 | 22.1 | 1.70 | 16 | 22.1 | 1.38 |
| 3 | 12 | 22.1 | 1.84 | 14 | 22.1 | 1.58 |
| 4 | 17 | 22.1 | 1.30 | 15 | 22.1 | 1.47 |
| 5 | 18 | 22.1 | 1.23 | 15 | 22.1 | 1.47 |
| 6 | 20 | 22.1 | 1.11 | 17 | 22.1 | 1.30 |
| 7 | 21 | 22.1 | 1.05 | 14 | 22.1 | 1.58 |
| 8 | 15 | 22.1 | 1.47 | 14 | 22.1 | 1.58 |
| 9 | 17 | 22.1 | 1.30 | 15 | 22.1 | 1.47 |
| 10 | 19 | 22.1 | 1.16 | 15 | 22.1 | 1.47 |
| VELOCIDAD PROMEDIO | | | 1.35 | 1.50 | | |
| PERCENTIL 50 | | | 1.30 | 1.47 | | |
| PERCENTIL 85 | | | 1.59 | 1.59 | | |

| Registros | CRUZAN AL ESTE Seg. | DISTANCIA Metros | VELOCIDAD Metros/Seg. | CRUZAN AL OESTE Seg. | DISTANCIA Metros | VELOCIDAD Metros/Seg |
|---|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1 | 26 | 24.05 | 0.93 | 20 | 30.9 | 1.55 |
| 2 | 24 | 24.05 | 1.00 | 24 | 30.9 | 1.29 |
| 3 | 21 | 24.05 | 1.15 | 15 | 30.9 | 2.06 |
| 4 | 27 | 24.05 | 0.89 | 15 | 30.9 | 2.06 |
| 5 | 25 | 24.05 | 0.96 | 20 | 30.9 | 1.55 |
| 6 | 25 | 24.05 | 0.96 | 19 | 30.9 | 1.63 |
| 7 | 26 | 24.05 | 0.93 | 20 | 30.9 | 1.55 |
| 8 | 24 | 24.05 | 1.00 | 20 | 30.9 | 1.55 |
| 9 | 22 | 24.05 | 1.09 | 17 | 30.9 | 1.82 |
| 10 | 24 | 24.05 | 1.00 | 19 | 30.9 | 1.63 |
| VELOCIDAD PROMEDIO | | | 0.99 | 1.67 | | |
| PERCENTIL 50 | | | 0.98 | 1.59 | | |
| PERCENTIL 85 | | | 1.05 | 1.94 | | |
| VELOCIDAD PROMEDIO PARA LA INTERSECCION | | | | 1.38 | | |
| VELOCIDAD PER 50 PARA LA INTERSECCION | | | | 1.39 | | |
| VELOCIDAD PER 85 PARA LA INTERSECCION | | | | 1.78 | | |

Cuadros. Fuente propia / Datos de Campo

CAPÍTULO V

11. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN LA CIUDAD DE LIMA

A efectos de probar la aplicación de esta metodología en la ciudad de Lima, se ha considerado efectuar un Análisis de la Intersección de dos avenidas principales, las cuales se encuentran ubicadas en el límite del distrito de San Miguel y el Callao, estas son las Avenidas Venezuela y la Avenida Elmer Faucett.

Se debe mencionar que se han efectuado algunas modificaciones en la metodología, específicamente sobre algunos factores de ajuste para que los mismos se adecuen a nuestra realidad, así como se han efectuado estudios de velocidad peatonal, tiempos perdidos, tiempos de servicio para el transporte

público, y se han efectuado la determinación o cálculo de algunos valores que corresponden a las características de nuestra realidad de transporte, estas modificaciones y cálculos serán explicado en detalle más adelante.

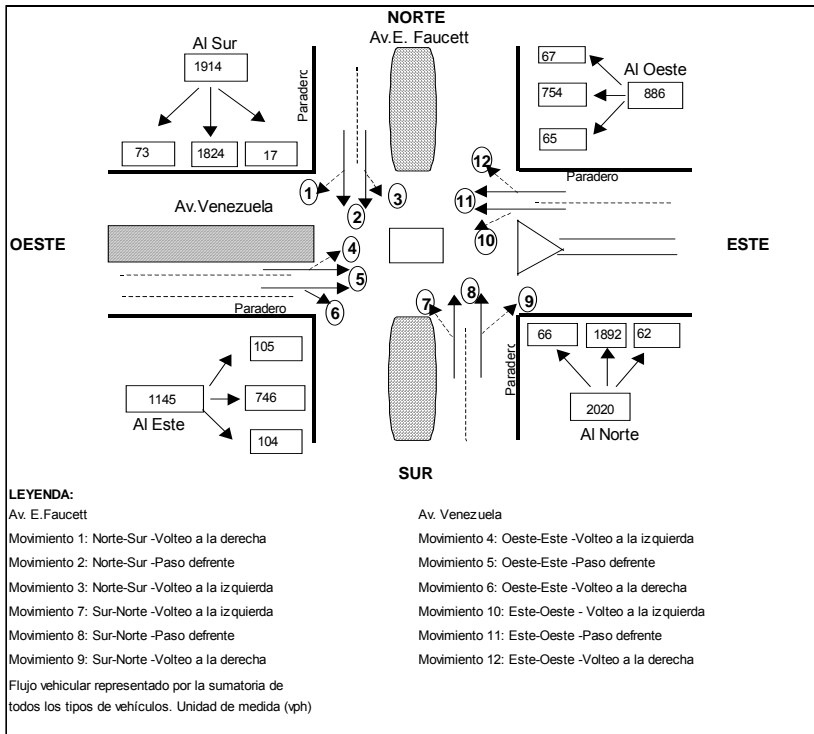
11.1 DESCRIPCIÓN DE LA INTERSECCIÓN A ESTUDIAR

La intersección a estudiar se encuentra ubicada en la ciudad de Lima en los límites distritales de San Miguel y el Callao.

El cruce está compuesto por dos avenidas la Av. Elmer Faucett y la Av. Venezuela. Del reconocimiento en campo se ha podido observar una mayor afluencia de vehículos de transporte público como privado sobre la Av. Faucett en las denominadas horas punta u horas de mayor tráfico tanto en el sentido Norte - Sur y Sur - Norte. Sin embargo, la Av. Venezuela también tiene una intensidad más marcada en el sentido Este - Oeste.

El aforo vehicular se efectuó en la hora de mayor demanda y los resultados se validaron en distintos días pero en la misma hora arrojando resultados muy similares a los encontrados en un principio. Estos resultados determinaron que la Av. Elmer Faucett en el sentido Norte –Sur tiene un flujo (todo tipo de vehículos) de 1,824 vehículos que pasan de frente, 17 vehículos que voltean a la izquierda y 73 vehículos que voltean a la derecha, en el sentido Sur – Norte tiene 1,892 vehículos que pasan de frente, 66 vehículos que voltean a la izquierda y 62 vehículos que voltean a la derecha. La Avenida Venezuela por su parte en el sentido Este – Oeste tiene un flujo de vehículos de 754 vehículos que pasan de frente, 65 vehículos que voltean a la izquierda y 67 vehículos que voltean a la derecha y en el sentido Oeste – Este tiene 746 vehículos que pasan de frente, 105 vehículos que voltean a la izquierda y 104 vehículos que voltean a la derecha. Estos valores se encuentran registrados en el acápite de anexos.

MOVIMIENTOS EN LA INTERSECCION DE LA
AV. ELMER FAUCETT Y AV. VENEZUELA



Se ha podido observar mucha interferencia por parte de los vehículos de transporte público específicamente las camionetas rurales o llamadas Combis y Custer (57% respecto del transporte privado), las cuales paran en cualquier lugar de la intersección en ambos sentidos, así como también efectúan paradas largas en la Av. Venezuela antes y después de efectuar el cruce de la Av. Faucett. Estas paradas largas las efectúan para llenar de pasajeros las unidades, lo cual genera un gran congestionamiento.

También se presentan conflictos entre automóviles en los volteos centrales a la izquierda de la intersección, así mismo se ha podido apreciar conflictos e interferencias de los peatones y los vehículos en todos los cruces.

Igualmente se presentan interferencias en el paso de los peatones y los vendedores ambulantes que estacionan sus carretillas y ubican sus canastas de venta en plena acera, obligando a los peatones a salir de ella, haciendo uso de la vía vehicular.

11.2 Características Físicas de la Intersección.

Av. Elmer Faucett es una avenida de dos sentidos. En el sentido Norte – Sur la avenida cuenta con dos vías o carriles con un ancho de 3.25 m, cuenta con una berma central de 8.80 m. y la aproximación a la intersección cuenta con un paradero de transporte público ubicado a 20 m. de la misma intersección el mismo que cuenta con una bahía de estacionamiento de 15 m. Cruzando la intersección y en el mismo sentido, la avenida continúa con dos carriles de 3.30 m. de ancho cada uno.

En el sentido Sur – Norte la avenida cuenta con dos vías de 3.25 m. cada una y un carril auxiliar para transporte público de 3.70 m. cuya berma de separación es de 1.10 m. y termina a 12.00 m. de la misma intersección, así mismo también cuenta con una berma central de 8.80 m.

Av. Venezuela es una avenida de dos sentidos. En el sentido Este – Oeste cuenta con dos vías o carriles de 3.00 m. cada uno, en este sentido la avenida no tiene berma central, la separación de ambos sentidos se encuentra señalada mediante marcas en el pavimento. Esta aproximación cuenta con una isla triangular peatonal central de 8.20 m. de ancho con frente a la intersección y una longitud de 20 m. Cruzando la intersección la avenida continúa con dos carriles de 5.00 m. cada uno.

En el sentido Oeste - Este la avenida Venezuela cuenta con dos vías efectivas de 4.0 m. de ancho y una vía de 4.0 m. usada por el transporte público como paradero de espera, es decir es una vía cuyo flujo es prácticamente nulo. La separación de los sentidos esta dado por marcas en el pavimento señalizando una berma de 6.70 m. de ancho. Cruzando la intersección la avenida reduce su ancho a dos vías de 3.0 m. cada una.

La intersección cuenta con una isla central sobre la cual se efectúan los volteos a la izquierda.

11.3 INICIO DEL ANÁLISIS.

11.3.1 Primer Paso.

Cuadro de Entrada de Datos.

Como ya se señaló anteriormente el análisis se efectúa en cinco pasos, debiendo dar inicio con la recolección de información en campo, dicha información será volcada en el primer módulo de análisis denominado Cuadro de Entrada de Datos, la información ingresada aquí y recogida en campo y comenzará con datos de geometría y volúmenes, siendo la siguiente: los volúmenes de tráfico de cada aproximación en todos los sentidos, ancho de vías, bermas, islas. Se efectuará un gráfico simple de la intersección colocando en él los datos recolectados. Además de esta información, será necesario contar con los tiempos perdidos por movimiento en segundos, la extensión del tiempo efectivo de verde. Se deberá contar también con las condiciones de tráfico y de la vía como la pendiente de cada aproximación, el porcentaje de vehículos pesados, las vías de parqueo, número de ómnibuses o combis por hora, cantidad de peatones por hora, tiempo para cruce de peatones y se determinará el tipo de arribo. Finalmente en la parte inferior del cuadro se dibujará un diagrama de las fases de la señal en la intersección, colocando los tiempos de la señal obtenidos en campo. Como ya se señaló estos datos se ingresan en el Cuadro de Entrada de Datos. El detalle de los cálculos de los valores ingresados en este cuadro se encuentra en los anexos al presente trabajo.

11.3.2 Segundo Paso

Cuadro de Volumen Ajustado.

El segundo paso del análisis de la intersección consiste básicamente en ajustar las cantidades de flujo a períodos pico de 15 minutos y el establecimiento de los grupos de vías para el análisis, primero se deberá establecer los sentidos de las aproximaciones, luego se ingresarán los volúmenes horarios y estos se ajustarán

mediante el factor de hora pico mediante el cociente del volumen para cada movimiento entre el factor de hora pico, este valor ajustado se denominará Tasa de Flujo (v_p) y la sumatoria de la tasa de flujo de todas las direcciones de cada aproximación será denominada Tasa de Flujo Ajustada para el Grupo de Vías (v), finalmente se obtendrá las proporciones de volteos a la izquierda y derecha de cada aproximación.

11.3.3 Tercer Paso.

Cuadro para la Tasa de Flujo de Saturación Ajustada.

En este cuadro se calcula el flujo de saturación total que puede ser acomodado en el grupo de vías bajo las condiciones prevalecientes.

Estudios han determinado que el flujo de saturación ideal en intersecciones puede tomar valores entre 1800 a 1900 vphv, sin embargo, estos valores pueden variar para una determinada localidad.

CUADRO DE ENTRADA DE DATOS

Intersección: Av. Elmer Faucett - Av. Venezuela

Fecha: 20.02.2004

Analista: Ing. Gonzalo Ramírez Vélez

Tiempo del periodo de Análisis: 60 min.

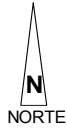
Tipo de Area:

- Zona de Negocios o Similar
 Otros

Proyecto: 01

Ciudad/Provincia: Lima/Lima

Geometría y Volúmenes

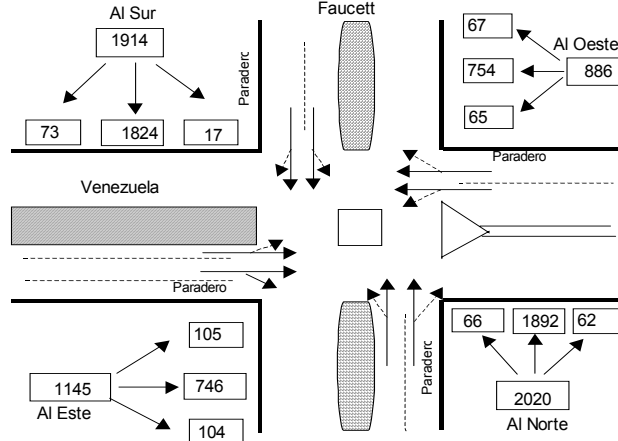


Tiempo perdido en arranque/movimiento (seg)

Extensión del tiempo efectivo de verde por movimiento (seg)

Identificación en el Diagrama

1. Volúmenes
2. Vías y anchos de vías
3. Movimientos por vía
4. Localización de parqueos
5. Zonas de carg
6. Islas
7. Paraderos



Condiciones de Trafico y la vía

| Aproximación | Pendiente (%) | % VP | Estacionamientos | | Combis/Buses Nb | PHF | Peatones (peat./hr) | Semaf./Peatones | | Tipo de Arribo |
|--------------|---------------|------|------------------|----|-----------------|------|---------------------|-----------------|-------------|----------------|
| | | | S o N | Nm | | | | S o N | Tiempo Seg. | |
| Al Este | 0 | 0.2 | N | -- | 128 | 0.88 | 359 | N | | 1 |
| Al Oeste | 0 | 0 | N | -- | 228 | 0.90 | 243 | N | | 1 |
| Al Norte | 0 | 0 | N | -- | 250 | 0.95 | 257 | N | | 1 |
| Al Sur | 0 | 0 | N | -- | 250 | 0.96 | 221 | N | | 1 |

Pendiente: + subida - bajada
 VP: Vehiculos pesados
 Nm: Maniobras/hr de estacionamiento

Nb: paradas de Com/Bus/hr
 PHF: Factor hora pico
 Peatones: Peat./hr

Tiempo Min.: min. Tiempo de verde para cruce peatones
 Tipo de Arribo: Tipo 1 al 6 según clasificación

Fases

| D i a g r a m a | Norte - Sur | Este - Oeste | | | | |
|-----------------|-------------------|--------------------|-----|-------------------------------------|-----|--|
| | | | | | | |
| Tiempos | V = 60 A = 2.3 | V = 30 A = 2.44 | V = | V = | V = | |
| | | | | Duración del Ciclo en (Seg.): 94.74 | | |

Fuente: Cuadro TRB-HCM1997 / Datos de Campo

CUADRO DE VOLUMEN AJUSTADO

Av. Elmer Faucett - Av. Venezuela

| Aproximación | Mov. | Mov. Volumen (vph) | Factor Hora Pico PHF | Flujo Vp (vph) | Grupos de Vias | Flujo Ajustado en el Grupo de Vias v (vph) | Proporción de I o D Plt o Prt |
|--------------|------|--------------------|----------------------|----------------|----------------|--|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 3/4 | | | |
| al ESTE | IZQ | 105 | 0.88 | 119 | | | |
| | DEF | 746 | 0.88 | 848 | → | 1085 | 0.11 IZ 0.11 DE |
| | DER | 104 | 0.88 | 118 | | | |
| al OESTE | IZQ | 65 | 0.9 | 72 | | | |
| | DEF | 754 | 0.9 | 838 | ← | 984 | 0.07 IZ 0.08 DE |
| | DER | 67 | 0.9 | 74 | | | |
| al NORTE | IZQ | 66 | 0.95 | 69 | | | |
| | DEF | 1892 | 0.95 | 1992 | ↑ | 2126 | 0.03 IZ 0.03 DE |
| | DER | 62 | 0.95 | 65 | | | |
| al SUR | IZQ | 17 | 0.96 | 18 | | | |
| | DEF | 1824 | 0.96 | 1900 | ↓ | 1994 | 0.01 IZ 0.04 DE |
| | DER | 73 | 0.96 | 76 | | | |

Fuente: Cuadro TRB-HCM1997 / Datos de Campo

Para el presente trabajo pudiendo tomar los valores de tasa de flujo de saturación señalados anteriormente cuyos valores se consideran válidos, se consideró conveniente efectuar un estudio para determinar la Tasa de Flujo de Saturación Ideal para la intersección en análisis. Este estudio fue descrito en detalle en el capítulo IV numeral 10.2.

Es así pues, que para el Cuadro de Tasa de Flujo de Saturación, he considerado un valor de Flujo de Saturación Ideal de 1950 vphvpv obtenido del estudio realizado, otros valores necesarios para este cuadro son: el número de vías de cada aproximación, y los factores de ajuste como el ancho de vía, factor por vehículos pesados, pendiente, de parqueo, factor de bloqueo por transporte público, por tipo de área, de utilización de la vía, de volteo a la derecha y de volteo a la izquierda, para luego por multiplicación del flujo de saturación ideal por cada uno de estos factores obtener la Tasa de Flujo de Saturación Ajustada.

Se debe hacer notar que para efectos de acercarnos a la realidad del comportamiento del tráfico en el Perú, se efectuaron modificaciones a dos factores que considero importantes, los cuales son, el factor por Ancho de Vía y el factor de Bloqueo por Transporte Público, cuyas consideraciones se explicaron en el acápite de la Metodología de Análisis.

Los valores de los factores de ajuste son obtenidos de las tablas y fórmulas expresadas en el acápite de la Metodología, se debe mencionar que muchas de estas tablas tienen valores tabulados para datos de entrada fijos, por lo cual muchos de los valores de entrada obtenidos para la intersección en análisis no se pudieron encontrar directamente, por lo que se usaron las ecuaciones o fórmulas propuestas, lo cual es más recomendable que la interpolación o extrapolación de datos, en muchos casos estos procedimientos son restringidos de usar, debido a que muchos de los valores obtenidos por estudios previos han sido determinados mediante relaciones de regresión.

CUADRO DE TASA DE FLUJO DE SATURACION AJUSTADA

| 1 | 2 | 3 | 4 | FACTORES DE AJUSTE | | | | | | | | | | 14 |
|----------|--------------------|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|----|
| | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | | |
| Aprox | Mov. Grupo de vías | Flujo Sat. ideal (vphgpv) | No. de vías | Ancho via fw Tabla 9-5 | Veh. Pesados fhv Tabla 9-6 | Pendient. fg Tabla 9-7 | Parqueos fp Tabla 9-8 | Bloqueo Combis fbc Tabla 9-9 | Tipo de Area fa Tabla 9-10 | Utilizac. de via flu Tabla 9-4 | Volteo a la derecha fDR Tabla 9-11 | Volteo a la izquierda fiz Tabla 9-12 | Tasa flujo Sat. Ajust. s (vphv) | |
| AL ESTE | | 1950 | 2 | 1.092 | 1 | 1 | 1 | 0.845 | 1 | 1 | 1 | 0.595 | 2196 | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| AL OESTE | | 1950 | 2 | 0.983 | 1 | 1 | 1 | 0.725 | 1 | 1 | 0.979 | 0.651 | 1817 | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| AL NORTE | | 1950 | 2 | 0.955 | 1 | 1 | 1 | 0.698 | 1 | 1 | 0.992 | 0.591 | 1563 | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| AL SUR | | 1950 | 2 | 0.955 | 1 | 1 | 1 | 0.698 | 1 | 1 | 0.990 | 0.778 | 2054 | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Cuadro TRB-HCM1997 / Datos de Campo

Mención aparte de estos factores se le debe hacer al Factor de volteo a la izquierda permitidos f_{LT} , dado que este factor tiene dos procedimientos para calcularlo dependiendo del tipo de aproximación que se encuentren frente a frente. Uno de ellos es el proceso para cuando la aproximación objeto se encuentra opuesta a una aproximación multivía y el otro para cuando la aproximación objeto se encuentra opuesta a una aproximación de vía simple.

Para la intersección de la Avenida Elmer Faucett y la Avenida Venezuela, se presenta el caso de que las aproximaciones se encuentran opuestas a aproximaciones multivía por lo que para este caso se uso el Cuadro Adicional para volteos a la izquierda permitidos el cual tiene su base teórica en el acápite de Metodología; sin embargo, haré mención a los datos necesarios para llegar a determinar el factor señalado: en primer lugar se necesita la duración del ciclo, el tiempo actual de verde para el grupo de vías, el tiempo efectivo de verde para el grupo de vías, tiempo opuesto efectivo de verde para el grupo de vías, número de vía, numero de vías opuesto, estos valores se obtendrán del Cuadro de Entrada de Datos, luego será necesario contar con la tasa de flujo ajustada de volteo a la izquierda, proporción de volteos a la izquierda en el grupo de vías, tasa de flujo ajustada opuesta, estos valores se obtendrán del Cuadro de Volumen Ajustado y finalmente el tiempo perdido para el grupo de vías. También se debe hacer mención a este último valor, pues para su determinación se ha efectuado un estudio específico en la intersección analizada y cuyo valor determinado puede ser extendido para aplicarlo en cualquier parte de la ciudad de Lima o en el caso del Perú previo análisis de las condiciones del parque automotor.

Luego de obtener todos los datos señalados se procede a efectuar los cálculos de volteos a la izquierda por ciclo, cálculo del flujo opuesto por vía por ciclo, determinación de la razón de grupo opuesta, cálculo de las sub porciones del tiempo de verde, cálculo del factor de volteo mínimo y finalmente el factor de volteo a la izquierda el cual es llevado al cuadro de tasa de flujo de saturación ajustado en su respectivo recuadro.

| CUADRO ADICIONAL PARA VOLTEOS A LA IZQUIERDA PERMITIDOS | | | | |
|--|---------|----------|----------|--------|
| -Para usarse cuando la aproximación objeto es opuesta a un aproximación multivia | | | | |
| APROXIMACION | AL ESTE | AL OESTE | AL NORTE | AL SUR |
| Duración del Ciclo, C | 94.74 | 94.74 | 94.74 | 94.74 |
| Tiempo actual de verde para el grupo de vías, G | 30 | 30 | 60 | 60 |
| Tiempo efectivo de verde para el grupo de vías, g | 29.18 | 28.38 | 59.58 | 59.24 |
| Tiempo opuesto efectivo de verde para el grupo de vías, go | 28.38 | 29.18 | 59.24 | 59.58 |
| Numero de vías en el grupo de vía, N | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Numero de vías opuesto en el grupo de vía, No | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Tasa de flujo ajustada de volteo a la izquierda, vLT | 119 | 72 | 69 | 18 |
| Proporción de volteos a la izquierda en grupo de vías, PLT | 0.11 | 0.07 | 0.03 | 0.01 |
| Tasa de flujo ajustada opuesta, vo | 984 | 1085 | 1994 | 2126 |
| Tiempo perdido para el grupo de vías, tL | 5.70 | 6.50 | 5.02 | 5.32 |
| Calculo de volteos a la izquierda por ciclo: LTC = vLT C/3600 | 3.13 | 1.89 | 1.82 | 0.47 |
| Calculo del flujo opuesto por vía, por ciclo: volc = vo C/(3600No fLUo) | 12.95 | 14.28 | 26.24 | 27.97 |
| Determinación de la razón de grupo opuesta, Rpo (Tabla 9-2 o Eq. 9-7) | 0.09 | 0.13 | 0.25 | 0.41 |
| Calculo de gf ** = G exp (-0.882 LTC ^ 0.717) - tL, gf <= g | 4.06 | 7.46 | 10.46 | 30.59 |
| Calculo de la razon de fila opuesta: qro = 1 - Rpo (go/C) qro >= 0 | 0.97 | 0.96 | 0.84 | 0.74 |
| Calculo de gq usando la Ecuación 9-19, gq <= g | 20.13 | 22.03 | 46.34 | 49.44 |
| Calculo de gu : gu = g - gq si gq >= gf gu = g - gf si gq < gf | 9.05 | 6.35 | 13.24 | 9.80 |
| Calculo de Vo' = Vo/FLU | 984 | 1085 | 1994 | 2126 |
| SLT= [vo' x EXP^(-vo'x4.5/3600)]/[1-EXP^(-vo'x4.5/3600)] | 406.41 | 376.53 | 179.78 | 160.32 |
| STH = 2000 vph | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |
| Determinación de EL1 (figura 9-7) o EL1=STH/SLT - 1 | 3.921 | 4.312 | 10.125 | 11.475 |
| Calculo de PL * = PLT [1 + {(N-1)g/(gf+ gu/EL1 + 4.24)}] | 0.413 | 0.221 | 0.142 | 0.027 |
| Calculo de fmin = 2(1 + PL)/g | 0.097 | 0.086 | 0.038 | 0.035 |
| Calculo de fm: fm = [gf/g] + [gu/g][1/{1 + PL(EL1-1)}] min = fmin; max = 1.00 | 0.28 | 0.392 | 0.272 | 0.645 |
| Calculo de fLT = [fm + 0.91 (N-1)] / N (#) | 0.595 | 0.651 | 0.591 | 0.778 |

** Para casos de aproximaciones de vías simples opuestas a aproximaciones multivia, ver referencias

* Si PL >= 1 para vías de volteo a la izquierda compartidas con N>1, asumir vía de volteo a la izquierda

Para volteos a la izquierda permitidos con múltiples vías de volteo exclusivo fLT = fm

11.3.4 Cuarto Paso.

Cuadro para el Análisis de la Capacidad

En este cuadro se encontrará la razón del grupo de vías, para lo cual se usará la información y resultados obtenidos de los cuadros previos, estos valores son: la tasa de flujo ajustada obtenida del Cuadro de Volumen Ajustado, la tasa de flujo de saturación ajustada obtenida del Cuadro de la Tasa de Flujo de Saturación, del cociente de estos dos valores obtendremos la razón de flujo. Así mismo con el tiempo de verde y duración del ciclo obtendremos la razón de verde, seguidamente determinaremos la capacidad del grupo de vías y la razón del grupo de vías, es con este último valor que podremos definir cuales son los grupos de vías críticos en función a los valores más altos o los más cercanos a la unidad. Luego de esto es obtenida la cantidad de flujo del grupo de vías crítico obtenido de los valores de la columna 5 para las correspondientes vías críticas, con el resultado de esta suma se obtendrá la relación crítica v/c , X_c . Los detalles de cálculo están claramente señalados en el cuadro correspondiente ubicado en la pagina 133.

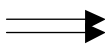
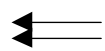


11.3.5 Quinto Paso.

Cuadro de la Demora y el Nivel de Servicio.

El cuadro de cálculo de la demora y el nivel de Servicio combina los resultados de los cálculos de volumen ajustado, flujo de saturación, análisis de la capacidad para encontrar del control promedio de demora por vehículo para cada grupo de vías. Dado que el Nivel de Servicio es una medida de la calidad del flujo, y está directamente relacionado con la demora, es a partir de esto que ambos conceptos se pueden relacionar en la tabla 1 en la cual se determinará el nivel de servicio para una demora dada.

Es necesario señalar que la presente metodología contempla dos casos para el cálculo de la demora y el nivel de servicio. Para esto se han desarrollado dos cuadros para alcanzar el objetivo, el primero de ellos ha sido desarrollado para calcular la demora uniforme y la demora incremental a partir de las ecuaciones 23

y 25 para luego obtener la demora total mediante la ecuación 22, este
 CUADRO DE ANALISIS DE CAPACIDAD

| Movim. Grupos de vías | Tipo de fase | Tasa de Flujo Ajustada (v) | Tasa de Flujo de Saturación Ajustada (s) | Razón de Flujo (v/s) [3]/[4] | Razón de Verde (g/C) | Capacidad del grupo de Vías (c) [4]x[6] | Razón del grupo de vías (v/c) (X) [3]/[7] | Grupo de vías Critico (*) | |
|---|--------------|----------------------------|--|------------------------------|----------------------|---|---|-----------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| al ESTE | | | | | | | | | |
|  | T | 1085 | 2196 | 0.494 | 0.317 | 696 | 1.559 | * | |
| al OESTE | | | | | | | | | |
|  | T | 984 | 1817 | 0.542 | 0.317 | 576 | 1.708 | * | |
| al NORTE | | | | | | | | | |
|  | T | 2126 | 1563 | 1.36 | 0.633 | 989 | 2.150 | * | |
| al SUR | | | | | | | | | |
|  | T | 1994 | 2054 | 0.971 | 0.633 | 1300 | 1.534 | * | |
| Duración del Ciclo | | | 94.74 seg | $X_c = Y_c \times C / (C-L)$ | | | 2.173 | | |
| Tiempo perdido por ciclo | | | 11.82 seg | | | | | | |
| $Y_c = \text{Sum (v/s)}$ | | | 1.902 | | | | | | |

Fuente: Cuadro TRB-HCM1997 / Datos de Campo

CUADRO N° 2 CALCULO DE LA DEMORA Y NIVEL DE SERVICIO

| Movim. Grupos de vías | Primer Termino de Demora | | | | | | Segundo termino de la demora | Tercer Termino de Demora | | | Grupo de Vías | | Demora d seg | Nivel de Servicio | Demora se |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------|-------------------|-----------|
| | Razón (v/c) X | Capacidad del grupo de Vías (c) vph | Demanda inicial no servida Qb veh | Duración de demanda no servida t hrs | Demora uniforme no ajustada d1 x PF | Demora uniforme ajustada d1 seg | Incremento de demora d2 seg | Parametro inicial de fila u | Demanda final no servida Qb veh | Demora por Fila d3 seg | Demora d seg | Nivel de Servicio | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| al ESTE | 1.559 | 696 | 19 | 0.25 | 1 | 32.37 | 252.00 | 1 | 11 | 98.28 | 382.65 | F | | | |
| al OESTE | 1.708 | 576 | 32 | 0.25 | 1 | 32.37 | 319.07 | 1 | 14 | 200 | 551.44 | F | | | |
| al NORTE | 2.150 | 989 | 25 | 0.25 | 1 | 17.37 | 517.71 | 1 | 18 | 91.00 | 626.08 | F | | | |
| al SUR | 1.534 | 1300 | 42 | 0.25 | 1 | 17.37 | 240.55 | 1 | 27 | 116.31 | 374.23 | F | | | |
| Demora en la Intersección | | | | | 490.39 | | seg/Veh | | Nivel de Servicio en la Intersección | | | | | F | |

Fuente:Cuadro TRB-HCM1997 / Datos de Campo

cuadro de cálculo asume que no hay una fila inicial de vehículos en el inicio del período de análisis y bajo esta condición puede ser usado para el análisis de una intersección semaforizada. El segundo cuadro de demora y nivel de servicio se desarrolló para considerar la existencia de una fila inicial de vehículos en el inicio del período de análisis, lo cual conlleva a la una extensión de la demora debido a este efecto. La explicación detallada del manejo de este cuadro se encuentra en apéndice.

Para efectos del estudio de la intersección de la Avenida Elmer Faucett y la Avenida Venezuela ha sido de aplicación el segundo cuadro, toda vez que el flujo en esta intersección es alto y deja una demanda no servida de vehículos entre períodos de análisis, dada esta realidad en la zona de estudio se efectuó el análisis usando esta consideración cuyo proceso se resume a continuación: el cuadro consta de cinco secciones principales, en la primera de ellas se determina el primer término de la demora d_1 para lo cual se necesita el valor de la razón del grupo de vías v/c y la capacidad del grupo de vías obtenido del cuadro de análisis de la capacidad, la demanda inicial no servida obtenida por observación en campo, la duración de la demanda no servida en hora la cual corresponde al período de análisis en horas y el factor de progresión que para este caso es 1.0. En la segunda sección se determina el segundo término de la demora llamado demora incremental el cual esta establecido en la ecuación 25. La tercera sección corresponde al cálculo del tercer término de la demora d_3 , el cual es función del parámetro inicial de fila y la demanda final no servida, este término de la demora

es el que corresponde a la fila inicial de vehículos o demanda no servida en el inicio del período de análisis.

Este es el proceso completo de análisis a la intersección de la Avenida Elmer Faucett y la Avenida Venezuela, cuyo resultado final es el mostrado en el cuadro de cálculo de Demora y Nivel de Servicio.

12. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIÓN DE LA INTERSECCIÓN ESTUDIADA

Los resultados obtenidos del análisis de la intersección de la Avenida Elmer Faucett y la Avenida Venezuela determinan una demora promedio por vehículo de entre 5 y 10 minutos en las aproximaciones lo cual conlleva a encontrar un Nivel de Servicio F para la intersección.

El Nivel de Servicio F, describe operaciones de control de demora por vehículo por encima de los 80 segundos. Este nivel es considerado inaceptable por los conductores y ocurren cuando existe sobre saturación, que viene a ser cuando la tasa de flujo que arriba excede la capacidad de la intersección. Esto también es observado cuando se encuentran con altas relaciones v/c con valores por encima de 1.0.

A efectos de completar la interpretación de los resultados obtenidos es necesario efectuar un análisis de los módulos de Cálculo de Flujo de Saturación y del de Análisis de la Capacidad los cuales considero importantes:

En el Cuadro de cálculo de la Tasa de Flujo de Saturación Ajustada, son saltantes los siguientes aspectos, la tasa de flujo de saturación ideal considerada en el cálculo se obtuvo del Estudio de la Tasa de Flujo de Saturación que realice en la misma ubicación de la intersección sobre cada una de las cuatro aproximaciones, dicho estudio arrojó un valor promedio de 1950 vehículos por hora en tiempo de verde por vía, otros tres puntos saltantes de comentar en el resultado fueron los factores de ajuste por ancho de vía, el factor de bloqueo por transporte público y el factor de volteo a la izquierda.

El factor de ajuste por ancho de vía, tal y como se encuentra en la metodología no debe ser usado para la realidad de nuestra infraestructura vial, considero que la modificación de este factor realizada en el presente trabajo debe ser tomada en cuenta para obtener resultados acordes con nuestra infraestructura urbana, la relación propuesta y los valores tabulados se encuentran en el capítulo IV, numeral 10.5.

El factor de bloqueo por transporte público, es un factor que mide el efecto de las paradas o servicio de las unidades del transporte público por hora, la relación modificada y propuesta con la cual se determina este valor, así como el Estudio de Tiempos de Servicio del Transporte Público, que efectúe para la ciudad de Lima

se encuentran consignados en el capítulo IV, numeral 10.4 de este trabajo. Lo resaltante de los resultados obtenidos de este factor, es que ellos van a reducir el flujo de saturación ideal en un valor aproximado del 30% el cual es un valor bastante alto. Esto se debe a la gran cantidad o sobre oferta de servicio de transporte que circula por esa intersección, además de un manejo imprudente y la falta de respeto a las reglas de tránsito, el impacto de estas anomalías es alto en el flujo de saturación ideal y considero que está correctamente representado por el factor de bloqueo.

Otro factor de ajuste que comentar en el cálculo de la tasa de flujo de saturación ideal ajustado es el factor de volteo a la izquierda, luego del correspondiente proceso de cálculo los valores determinan en una reducción sustancial de la tasa de flujo de saturación ideal para cada aproximación, esto también nos hace advertir la gran influencia de este factor en el flujo de saturación.

Al analizar en el campo los volteos a la izquierda dentro de la intersección podemos observar algo muy importante que nos lleva a corroborar los valores obtenidos para este factor; los vehículos provenientes de dos aproximaciones opuestas y que desean efectuar volteos a la izquierda dentro de la intersección no logran completar la maniobra, estos vehículos se agrupan y acumulan sobre el centro de giro llegando a bloquear completamente la vía compartida y reduciendo el paso de los vehículos que vienen por la vía contigua, además de esto también está el efecto de los vehículos que vienen por la vía compartida tratan de evitar el bloqueo e intentan pasar a la vía contigua interfiriendo el paso y sobre cargando su capacidad, este efecto es justamente lo que refleja el factor de volteo a la izquierda, y para la intersección estudiada se ha podido observar en campo que los volteos a la izquierda prácticamente bloquean el paso de vehículos en la intersección. Finalmente se puede decir que son estos y otros los factores que señalan las condiciones prevalecientes de tráfico en el lugar y que llevan al flujo de saturación ideal al valor correspondiente para las condiciones existentes.

Para el caso estudiado encontramos los siguientes valores:

| Aproximación | Flujo Saturación Ideal Ajustado | Porcentaje |
|---------------------|--|-------------------|
| Al Este | 2196 vphv | 56.31% |
| Al Oeste | 1820 vphv | 46.59% |
| Al Norte | 1563 vphv | 40.08 % |
| Al Sur | 2054 vphv | 52.67 % |

Del Cuadro de cálculo de Análisis de la Capacidad, considero importante comentar los resultados de este cálculo porque es aquí donde encontraremos como está operando la intersección en los referente a los flujos.

Con la tasa de flujo de saturación ajustada la cual se comentó anteriormente, el tiempo de verde del semáforo y la duración del ciclo obtendremos la capacidad del grupo de vías estudiado, a partir de este valor y la tasa de flujo ajustado

determinaremos un parámetro muy importante que es la Razón del grupo de vías (X) para cada aproximación, la interpretación de este parámetro se encuentra explicada en el capítulo I, numeral 3.4.

Los valores obtenidos para la intersección de la Av. E. Faucett y Av. Venezuela son los siguientes:

| Aproximación | Razón de Grupo de Vías | Condición |
|---------------------|-------------------------------|------------------|
| Al Este | 1.559 | Sobre Saturada |
| Al Oeste | 1.708 | Sobre Saturada |
| Al Norte | 2.150 | Sobre Saturada |
| Al Sur | 1.534 | Sobre Saturada |

La identificación de cuales son los grupos de vías críticos será en función de los valores más altos de la relación v/s o razón de flujo, habiendo un grupo de vías crítico por cada fase y la suma de estos valores se usará para obtener la Razón crítica ($X_c = 2.173$) de toda la intersección.

Finalmente usando el Cuadro de cálculo de la Demora y Nivel de servicio ya explicados anteriormente, en función a la razón del grupo de vías y la capacidad obtendremos la demora para cada aproximación y para toda la intersección.

La demora promedio para toda la intersección se estableció en 490.39 seg./veh., lo cual determina un Nivel de Servicio F, tal como se señaló en el inicio de este acápite.

13. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA LA INTERSECCIÓN ESTUDIADA.

Los resultados obtenidos del estudio de la intersección de la avenida Elmer Faucett y la avenida Venezuela demuestran que ambas se encuentran sobre saturada en todas sus aproximaciones, es decir, que el flujo imperante excede en demasía la capacidad de las vías por las razones expuestas anteriormente.

Así mismo el resultado de la Razón de grupo de vías con valores que exceden 1.0, es un indicativo de que el diseño geométrico de la intersección, duración del ciclo, el plan de fases u otras características de la zona de estudio son inadecuados para la demanda dada.

Características de operación del Tránsito en la zona de estudio.- Respecto de las características del tránsito se debe señalar que se ha hecho evidente durante la toma de datos en campo, que existe una sobre oferta de servicio de transporte

público, tanto de las unidades llamadas Combis como Custer, así como en algunos casos duplicidad en las rutas brindadas por estos medios de transporte. En mi opinión se hace necesario una reorganización, regulación y racionalización del transporte público; o efectuar un cambio radical en el medio de transporte, proponiendo el uso de unidades de transporte masivo, tales como ómnibuses de alta capacidad, definiendo para ellos rutas principales y frecuencias.

Otra opción aún más radical sería el uso de un medio de transporte no contaminante y de mayor capacidad como los trenes ligeros, cuyo uso está volviendo a tomar fuerza en el continente americano y cuya operación es ampliamente desarrollada en el continente europeo.

Dado que actualmente no se tiene conocimiento de que nuestras autoridades tengan interés de aplicar estas nuevas tecnologías, sobre todo en la zona de estudio se ha buscado proponer alternativas para mejorar la operación de la intersección considerando las características de tránsito existentes.

Si bien es cierto, esta metodología no ha sido desarrollada para efectuar el diseño o modo de operación de una intersección, es posible en función de los parámetros analizados proponer alternativas de solución que atenúen la condición existente en la intersección. Para tal efecto se procedió a efectuar 5 simulaciones aplicando la presente metodología, realizando variaciones tanto en la geometría, señalización y factores de ajuste. A continuación se presenta un cuadro con el resumen de las consideraciones aplicadas.

| Posibles Alternativas de Solución | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|----------------|--------|-------------------|---|
| Simulaciones | Actual Grado Saturación | Condición | Demora | Nivel de servicio | Observaciones |
| 1 | | | | | |
| Al Este | 1.559 | Sobre Saturada | 490.39 | F | Condiciones actuales de la Intersección |
| Al Oeste | 1.708 | Sobre Saturada | | | |
| Al Norte | 2.15 | Sobre Saturada | | | |
| Al Sur | 1.534 | Sobre Saturada | | | |
| 2 | | | | | |
| Al Este | 0.932 | No saturada | 196.01 | F | Se consideró establecer en el sentido Este-Oeste una vía compartida con fase protegida, se cambio la geometria y se logro cambios en el fLT |
| Al Oeste | 1.116 | Sobre Saturada | | | |
| Al Norte | 1.336 | Sobre Saturada | | | |
| Al Sur | 1.256 | Sobre Saturada | | | |
| 3 | | | | | |
| Al Este | 0.656 | No saturada | 262.17 | F | Se consideró incrementar la duración del ciclo partiendo del originalmente asignado, se redujo el tiempo de cambio y limpieza |
| Al Oeste | 0.786 | No saturada | | | |
| Al Norte | 1.606 | Sobre Saturada | | | |
| Al Sur | 1.508 | Sobre Saturada | | | |
| 4 | | | | | |
| Al Este | 0.656 | No saturada | 38.75 | D | Se consideró cambiar la geometria incrementando una vía en Faucett y cambiando la vía exclusiva de volteo izquierda por una compartida con fase protegida |
| Al Oeste | 0.786 | No saturada | | | |
| Al Norte | 0.889 | No saturada | | | |
| Al Sur | 0.835 | No saturada | | | |
| 5 | | | | | |
| Al Este | 0.731 | No saturada | 34.95 | C | Las mismas consideraciones que la simulación 4, y se reasignó el tiempo de verde |
| Al Oeste | 0.875 | No saturada | | | |
| Al Norte | 0.823 | No saturada | | | |
| Al Sur | 0.773 | No saturada | | | |
| 6 | | | | | |
| Al Este | 0.665 | No saturada | 33.99 | C | Las mismas consideraciones que la simulación 5, se asignó un mayor tiempo de verde a la aproximación Este-Oeste |
| Al Oeste | 0.807 | No saturada | | | |
| Al Norte | 0.847 | No saturada | | | |
| Al Sur | 0.796 | No saturada | | | |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14. Conclusiones y recomendaciones.

- a) Podemos concluir que la presente metodología es una buena herramienta que ayuda en el análisis del comportamiento de las intersecciones viales urbanas y que es aplicable en el Perú teniendo en cuenta las modificaciones desarrolladas en el presente trabajo.
- b) Los factores encontrados y / o ajustados en el presente trabajo fueron los siguientes:
- Tasa de flujo de saturación actuante y tasa de flujo de saturación ideal.
 - El factor de tiempo perdido en la partida.
 - El tiempo de servicio de carga y descarga de pasajeros de transporte público.
 - Modificación del factor de ajuste por ancho de vía, y
 - Determinación de la velocidad peatonal en la intersección.

| Modificaciones y/o Ajustes | | Localidad/Lima | HCM | Und. |
|------------------------------|-----|----------------|-------------|--------|
| Flujo de Saturacion | | 1950 | 1800 - 2000 | vphvpv |
| Tiempo perdido en la partida | | 3.265 | 2.0 | Seg. |
| Tiempo servicio T. Público | | 8.7 | 14.4 | Seg. |
| Factor por Ancho Vía/ | m. | | | |
| Valores propuestos | 2.4 | 0.891 | 0.867 | -- |
| | 2.7 | 0.927 | 0.900 | -- |
| | 3.0 | 0.964 | 0.933 | -- |
| | 3.3 | 1.000 | 0.967 | -- |
| | 3.5 | 1.024 | 0.989 | -- |
| | 4.0 | 1.085 | 1.033 | -- |
| | 4.2 | 1.109 | 1.067 | -- |
| | 4.5 | 1.145 | 1.100 | -- |
| | 4.8 | 1.182 | 1.133 | -- |
| Velocidad Peonatal | | 1.39 | 1.37 | Seg. |

- c) El resultado del análisis de una intersección bajo esta metodología producirá los siguientes indicadores:
- Relaciones volumen – capacidad para cada aproximación a la intersección.
 - Brinda indicadores de operación del sistema tales como vías e intersecciones.
 - Control promedio de demora para cada aproximación y para toda la intersección, así como los correspondientes Niveles de Servicio.
 - Así mismo, permite evaluar el desempeño de las programaciones semafóricas.
- d) Dado que esta metodología provee un análisis total de la capacidad y nivel de servicio, puede ser usada para evaluar alternativas de demanda de tráfico, diseño geométrico, planes de semaforización, que ayuden a corregir el comportamiento de la intersección.
- e) Se recomienda que las entidades encargadas de la administración del transporte urbano consideren un programa de evaluación de la operación del sistema de tránsito y las capacidades de nuestra infraestructura vial urbana, mediante este tipo de análisis antes de que se alcance el colapso de una determinada intersección o vía.
- f) Se recomienda efectuar otros estudios de investigación destinados a ajustar, mejorar y/o encontrar otros factores como el factor de ajuste por tipo de área y tiempo de servicio de carga y descarga de pasajeros brindado por combis, de manera que sean concordantes con la realidad de nuestro parque automotor, características de tránsito e infraestructura vial, para lograr mayores precisiones en los análisis.

- g) Finalmente, es necesario recomendar que las Entidades relacionadas con el transporte en el Perú aprueben y den fuerza de Ley, a los manuales de diseño geométrico y señalización semafórica de tal modo que contemos con normas legalmente establecidas.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Diseño de Proyectos Viales y Semaforizaciones
Seccion de Post Grado. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Dr. Ing. José Matías León. Lima – Perú 1997
- [2] Trabajo del Ayuntamiento de Madrid el Instituto Juan de Herrera de la Universidad Politécnica de Madrid.
Gerencia Municipal de Urbanismo. Ayuntamiento de Madrid 2000
- [3] Influencia de la Geometría en la determinación de los puntos de conflicto en una Intersección. Universidad de Alicante, España. Departamento de expresión Gráfica y Cartografía. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Gráfica. Santander España Junio 2002
- [4] Informe Final del Plan de mejoramiento de las calles 76, 79 y 82 en Barranquilla, Colombia 2001
- [5] Traffic and Pedestrian Flow Analysis on Selected Intersections Near T.U. Stations” Juan F. Gonzalez Echeandia, UPR-MIT P.D.P. Agosto de 2003
- [6] Special Report 209/HMC. Transportation Research Board. National Research Council. Washington D.C. 1998.

[7] W.R. McShane, Roger P. Roess Traffic Engineering. Polytechnic University 1990.

[8] Municipalidad de Lima Metropolitana, INVERMET, Consultoría y Asesoría Técnica en Transporte Urbano, Grupo Asesor TECNOSAN-EBTU; Manual de Señalización, Tomo III: Señalización Semafórica; Lima 1987.

LA NOMENCLATURA Y ANEXOS ESTAN DISPONIBLES EN EL FORMATO FÍSICO DE LA TESIS