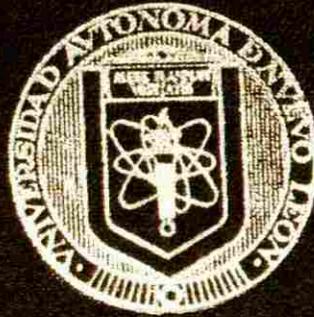


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



DETERMINACION DEL MAXIMO VALOR DE FLUJO
DE SATURACION EN INTERSECCIONES
SEMAFORIZADAS

POR

JOSE FEDERICO LOPEZ VAZQUEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE MAESTRIA EN CIENCIAS CON
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA DE TRANSITO

SEPTIEMBRE DE 1998

DETERMINACION DEL VALOR DE FLUJO MAXIMO

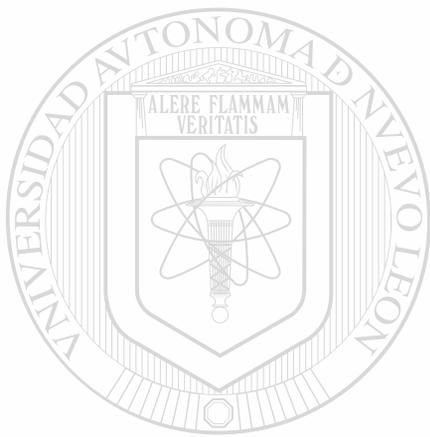
DE SATURACION EN INTERSECCIONES

SEMIAFORIZADAS

1
L 6

TM

TE228



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

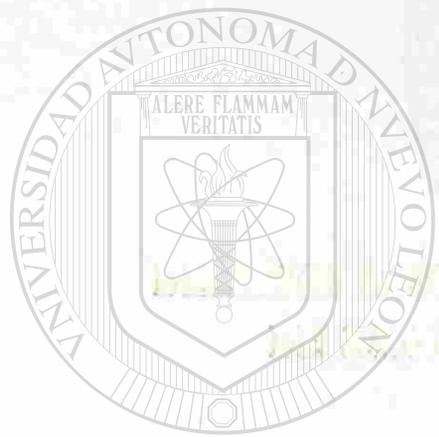


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

17172

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

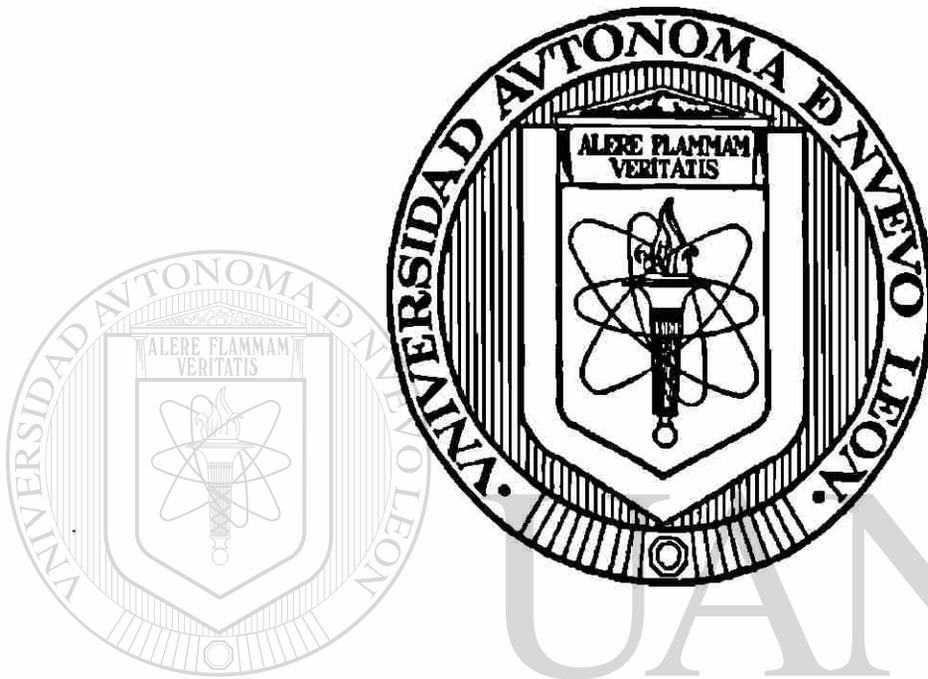
1949

REPOSICIÓN DE LA BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
EN EL CAMPUS DE SAN CARLOS DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

REPOSICIÓN DE LA BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**DETERMINACION DEL MAXIMO VALOR DE FLUJO
DE SATURACION EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS**

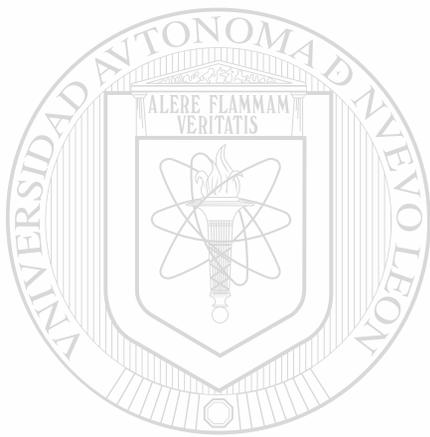
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Por

JOSÉ FEDERICO LÓPEZ VÁZQUEZ

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería de Tránsito.**

Septiembre ,1998



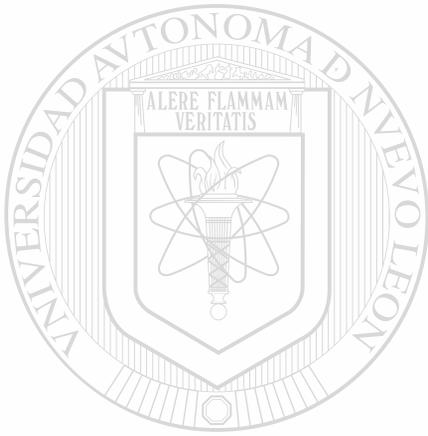
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TM
TE228
L6



UANL

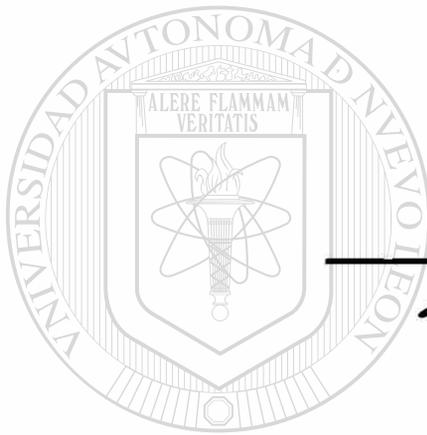
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

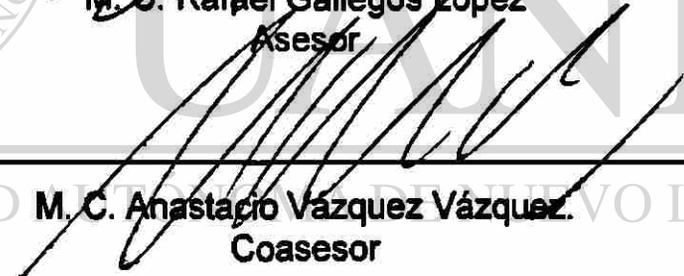
DETERMINACION DEL MAXIMO VALOR DE FLUJO DE SATURACION EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

Aprobación de la Tesis:





M. C. Rafael Gallegos López
Asesor



M. C. Anastacio Vázquez Vázquez
Coasesor



Dr. Ricardo González Alcorta.
Secretario de Estudios de Postgrado.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

RESUMEN

José Federico López Vázquez

Fecha de Graduación: Septiembre, 1994

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Civil.

Título del Estudio: DETERMINACION DEL MAXIMO VALOR DE FLUJO DE SATURACION EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

Numero de paginas: 177

Candidato para el grado de Maestría En ciencias con especialidad en Ingeniería de Transito.

Area de Estudio: Capacidad Vial.

Propósito, Contribuciones y Conclusiones: Determinar el valor máximo de flujo de saturación en las intersecciones semaforizadas del tránsito vehicular es prioritario para conocer la verdadera capacidad de una infraestructura vial; para hacerlo, en México, se ha utilizado un manual estadounidense inexacto, porque son diferentes las condiciones de aquel país. Esta investigación es original y metódica, orientada a servir a la comunidad mejorando la eficiencia operativa de las vías terrestres, ahorrando horas-hombre en los traslados y reduciendo los índices de contaminación del aire. Se pretende proponer los valores de ajuste más reales, en diferentes tipos de intersecciones semaforizadas, para facilitar a los expertos y a las autoridades la toma de decisiones respecto a la construcción y mantenimiento de la infraestructura vial. Se definieron los términos involucrados en la investigación y se validó la forma de cuantificar el máximo valor de flujo de saturación en las intersecciones semaforizadas, correlacionándolo con los niveles de servicio y se prescribieron mejoras, cambios y adecuaciones para optimizar el funcionamiento. Con esta investigación se da un paso más hacia la implantación de un *MANUAL DE CAPACIDAD VIAL MEXICANO*, que podrá un día llegar a formar parte de las normas cuya obediencia representa el bienestar y el verdadero progreso de la sociedad.

FIRMA DEL ASESOR:



AGRADECIMIENTOS.

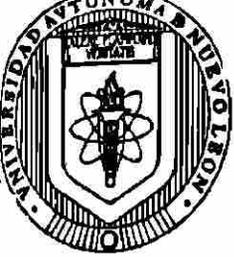
A Dios, por permitirme llegar con salud a estos momentos, y haber logrado otro avance profesional en mi vida.

Quiero expresar mi mas sincero agradecimiento al Ing. Francisco Gámez Treviño , Director de la Facultad de Ingeniería Civil, por su apoyo para la realización de esta tesis. Al M. C. Rafael Gallegos López, al M. C. Anastacio Vázquez Vázquez asesores de mi tesis , por sus valiosas sugerencias e interés en la revisión del presente trabajo.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por el Apoyo Económico para la realización de esta Tesis.

Al Departamento de Estudios de Ingeniería de Tránsito del Instituto de Ingeniería Civil, a la Facultad de Ingeniería Civil, por permitirme el uso de su equipo y su invaluable ayuda en el desarrollo de este estudio.

A mi familia, por el apoyo moral que siempre me han brindado y a todas las personas que contribuyeron, de una u otra forma, en la realización de este trabajo.



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



MONTERREY, N.L, SEPTIEMBRE 24, 1998.

ING. LÁZARO VARGAS GUERRA
DIRECTOR DEL DEPTO. ESCOLAR Y
DE ARCHIVO DE LA U.A.N.L.
TORRE DE RECTORÍA
PRESENTE.-

Estimado Ing. Vargas:

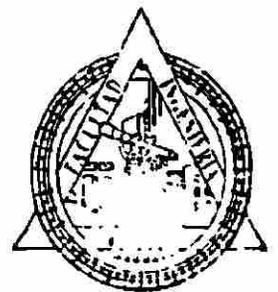
Por este conducto me permito comunicarle que el **ING. JOSÉ FEDERICO LÓPEZ VÁZQUEZ**, pasante de la **MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA DE TRÁNSITO**, ha solicitado su examen de Grado, para lo cual ha cubierto con la totalidad de los requisitos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales de nuestra Institución. Le pido amablemente girar las instrucciones necesarias para que se de el trámite correspondiente en el Departamento a su digno cargo.

Sin otro particular de momento, me es grato enviarle un cordial saludo y reiterarme a sus respetables órdenes.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ATENTAMENTE,
“ ALERE FLAMMAM VERITATIS “
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
EL SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DR. RICARDO GONZALEZ ALCORTA.



SECRETARIA DE ESTUDIOS
DE POSTGRADO

C.c.p. Archivo.



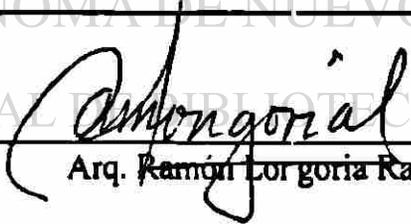
COMPROBANTE DE CORRECCION

Tesista: LOPEZ VAZQUEZ JOSÉ FEDERICO

Tema de la tesis: DETERMINACION DEL MAXIMO VALOR DE FLUJO DE SATURACION EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

Este documento certifica la corrección DEFINITIVA del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográficos, metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales: NINGUNA

Nombre y firma de quien corrigió: 
 Arq. Ramón Lorigoria Ramírez

El Secretario de Postgrado: 
 Dr. Ricardo Guzmán Alcorta

Ciudad Universitaria, a 24 de septiembre de 1998.

DETERMINACION DEL MAXIMO VALOR DE FLUJO DE SATURACION EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO	PAGINA
I. INTRODUCCION -----	1
II. OBJETIVOS -----	3
III. HIPOTESIS -----	4
IV. DEFINICION DE CONCEPTOS DE CAPACIDAD VIAL --	5
IV.1. Tipos de vías -----	5
IV.2. Conceptos de capacidad y nivel de servicio -----	6
IV.3. Principios básicos sobre el flujo del tránsito -----	10
IV.4. Características de la circulación continua -----	13
IV.5. Características de la circulación discontinua -----	17
IV.6. Factores que afecta a la capacidad -----	22
V. ANALISIS DE CAPACIDAD EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS -----	28
V.1 Antecedentes -----	28
V.1.1 Semáforos -----	29
V.1.2. Capacidad y Nivel de Servicio -----	33
V.1.3. Capacidad en intersecciones semaforizadas -----	33
V.1.4. Relación entre capacidad y nivel de servicio -----	38
V.1.5. Análisis Operacional -----	39

CAPITULO	PAGINA
V.2. Metodología -----	40
V.2.1 Análisis de operación -----	40
V.3. Procedimientos de Aplicación -----	61
V.3.1. Análisis de operación -----	61
V.4. Ejemplos de cálculo -----	93
V.4.1.Ejemplo 1 -----	93
 VI. DETERMINACION DEL MAXIMO VALOR DE FLUJO DE SATURACION EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS --	 110
 VI.1. Estudios de ingeniería de tránsito -----	 110
VI.1.1. Inventario geométrico -----	110
VI.1.2. Muestreo en campo del valor de flujo de saturación -----	127
VI.1.3. Información fotográfica -----	131
VI.2. Proceso de la información -----	135
VI.3. Análisis de la información -----	149
VI.4. Determinación del máximo valor de flujo de saturación -----	158
 VII. ANALISIS DE CAPACIDAD UTILIZANDO EL MAXIMO VALOR DE FLUJO DE SATURACION OBTENIDO	 161
VII.1. Ejemplo 2 -----	161
VII.2. Comparación de resultados -----	168
 VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	 174
 IX. BIBLIOGRAFIA -----	 176

Lista de Figuras

Figura	Pagina
1.- Relaciones entre velocidad, flujo y densidad	15
2.- Condiciones de la interrupción del tránsito	19
3.- Procedimiento para el análisis de operación	41
4.- Grupos de carriles típicos	74
5.- Ejemplo de la determinación de grupos de carriles críticos para fases verdes adelantadas y retrasadas.	75
6.- Ejemplo de la determinación de grupos de carriles críticos en un semáforo multifase complejo.	76
7.- Módulo de entrada	77
8.- Módulo de ajuste de volúmenes	78
9.- Módulo del valor de flujo de saturación	79
10.- Hoja de trabajo para vuelta izquierda permitida donde el acceso opuesto sea de varios carriles.	80
11.- Hoja de trabajo para vuelta izquierda permitida donde el acceso opuesto sea el de un carril	81
12.-Módulo de análisis de capacidad	82
13.- Modulo de Nivel de servicio.	83
14.- Módulo de entrada, ejemplo 1.	102
15.- Volúmenes direccionales, ejemplo 1	103
16.- Inventario geométrico, ejemplo 1	104
17.- Inventario de semáforos, ejemplo 1	105
18.- Módulo de ajuste de volúmenes, ejemplo 1	106
19.- Módulo de flujo de saturación, ejemplo 1	107
20.- Módulo de análisis de capacidad, ejemplo 1	108

Figura	Página
21.- Módulo de nivel de servicio, ejemplo 1	109
22.- Levantamiento geométrico: Av. Universidad con Av. Palacio de Justicia, San Nicolás de los Garza, N.L.	112
23.- Levantamiento geométrico: Av. Universidad con Av. Central, San Nicolás de los Garza, N.L.	113
24.- Levantamiento geométrico: Av. Churubusco con Av. Ruíz Cortines, Monterrey, N.L.	114
25.- Levantamiento geométrico: Av. Félix U. Gómez con Av. Ruíz Cortines, Monterrey, N.L.	115
26.- Levantamiento geométrico: Av. V. Guerrero con Av. Ruíz Cortines, Monterrey, N.L.	116
27.- Levantamiento geométrico: Av. Simón Bolívar con Av. Ruíz Cortines, Monterrey, N.L.	117
28.- Levantamiento geométrico: Av. Gonzalitos con Av. Ruíz Cortines, Monterrey, N.L.	118
29.- Levantamiento geométrico: Av. Lincoln con Jaumave, Monterrey, N.L.	119
30.- Levantamiento geométrico: Av. Lincoln con Av. Rangel Frías, Monterrey, N.L.	120
31.- Levantamiento geométrico: Av. Lincoln con León XIII, Monterrey, N.L.	121
32.- Levantamiento geométrico: Av. Lincoln con Patrimonio Familiar, Monterrey, N.L.	122
33.- Levantamiento geométrico: Av. Nogalar con Av. Diego Díaz de Berlanga, San Nicolás de los Garza, N.L.	123
34.- Levantamiento geométrico: Av. Nogalar con Av. San nicolás, San Nicolás de los Garza, N.L.	124
35.- Levantamiento geométrico: Av. Alfonso Reyes con Calzada Victoria, Monterrey, N.L.	125
36.- Levantamiento geométrico: Av. Alfonso Reyes con Av. Pedro Anaya, Monterrey, N.L.	126

Figura	Pagina
37.- Formato de campo utilizado para registrar el flujo de saturación	130
38.- Av. Nogalar con Av. Diego Díaz de Berlanga, San Nicolás de los Garza, N.L.	131
39.- Av. Alfonso Reyes con Calzada Victoria, Monterrey, N.L.	132
40.- Av. Lincoln con Av. Rangel Frías, Monterrey, N.L.	133
41.- Levantamiento geométrico: Av. Churubusco con Av. Ruíz Cortines, Monterrey, N.L.	134
42.- Gráfica de probabilidad de una distribución normal	157
43.- Histograma de frecuencias y ojiva del flujo de saturación	159
44.- Módulo de entrada, ejemplo 2.	169
45.- Módulo de ajuste de volúmenes, ejemplo 2.	170
46.- Módulo de flujo de saturación, ejemplo 2.	171
47.- Módulo de análisis de capacidad, ejemplo 2.	172
48.- Módulo de nivel de servicio, ejemplo 2.	173

Lista de tablas

Tabla	Página
1.- Distintas vías y su eficiencia.	9
2.- Descripción de los niveles de servicio.	37
3.- Datos necesarios para analizar cada grupo de carriles	46
4.- Relación entre el tipo de llegada y el flujo vehicular.	84
5.- Valores recomendados a utilizar en el análisis de operación.	84
6.- Factor de utilización de carril "Fu".	85
7.- Factor de ajuste por anchura de carril, f_w .	86
8.- Factor de ajuste por vehículos pesados, f_{HV} .	86
9.- Factor de ajuste por la inclinación de la rasante, f_g .	87
10.- Factor de ajuste por estacionamiento, f_p .	87
11.- Factor de ajuste por bloqueo de paradas de autobuses, f_{bb} .	88
12.- Factor de ajuste por tipo de área, f_a .	88
13.- Factor de ajuste por giros a la derecha, f_{RT} .	89
14.- Factor de ajuste por giros a la izquierda, f_{LT} .	90
15.- Factor de ajuste por sincronía, DF	91
16.- Equivalencia de vehículos de frente para vueltas izquierdas permitidas, E_{L1} .	92
17.- Proceso de datos de campo, flujo de saturación	136
18.- Resultados estadísticos de las muestras obtenidas en campo	155
19.- Clase, frecuencia y porcentaje acumulado de las muestras de campo, del flujo de saturación	160

I. INTRODUCCION

El desarrollo que se ha presentado en las zonas urbanas de México, es una etapa de transformación y progreso, aunque algunas ciudades están creciendo sin ninguna planeación, provocando anarquía en éstas, es por esto que se necesita una transformación óptima a través del uso más racional de los recursos disponibles.

Por lo anterior podemos decir que una de las manifestaciones más evidentes del desarrollo de una ciudad depende en gran medida, de una buena infraestructura vial, capaz de soportar las necesidades de movimientos de tránsito vehicular que se demanda y se demandaran en un futuro.

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

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

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

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

Actualmente para los análisis de capacidad y nivel de servicio para intersecciones semaforizadas, se ha estado utilizando en México el “Highway Capacity Manual” (edición 1994 de los Estados Unidos de América), manual que fue diseñado exclusivamente para las condiciones que imperan en aquel país.

Nuestra infraestructura vial en los últimos años, no solamente no ha crecido sino que se encuentra en latente deterioro, debido a la situación económica del país y a la falta de soporte técnico por parte de nuestras autoridades, en la asignación de recursos económicos para la construcción de obras viales que sean verdaderamente prioritarias. Esto ha redundado en que gran parte de nuestro sistema vial se encuentre en malas condiciones.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

IMPORTANCIA

Esta investigación pretende determinar “El máximo valor de flujo de saturación en intersecciones semaforizadas”, en el área Metropolitana de Monterrey, ya que este valor es el más importante para calcular la capacidad y el nivel de servicio para este tipo de intersecciones, por lo tanto los resultados obtenidos de estos análisis nos representarán las condiciones reales en que operan nuestras intersecciones semaforizadas. Conociendo esto podremos implantar planes que ayuden a mejorar la eficiencia operativa de nuestra infraestructura vial y además conocer en forma real la pérdida de horas hombre, índices de contaminación, que genera este tipo de intersecciones.

II. OBJETIVOS

Determinación del máximo valor de flujo vehicular de saturación en intersecciones semaforizadas en México, para utilizarlo en el cálculo de capacidad y niveles de servicio.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Determinar el *Máximo valor de flujo de saturación.***
- Proponer los valores de ajuste más fieles a la realidad; para diferentes tipos de intersecciones semaforizadas en México.**
- Facilitar la determinación de las pérdidas en horas-hombre reales provocada por demoras.**
- Disminuir los accidentes en intersecciones semaforizadas.**
- Ayudar a determinar la contaminación ambiental generada por demoras.**
- Facilitar a las autoridades de distintos niveles la toma de decisión, en la construcción de las infraestructuras viales.**
- Incrementar los beneficios económicos y sociales para los usuarios a un bajo costo, obteniendo con ello elevados indicadores de rentabilidad.**

III. HIPOTESIS

Los valores que se utilizan para determinar la capacidad y los niveles de eficiencia tanto en el diseño como en la operación de las intersecciones semaforizadas en México, deben ser diferentes a los que se utilizan en los Estados Unidos de América, ya que las condiciones del camino, del tránsito y control que imperan en México son distintas a las de aquel país.

Si se comprueba la hipótesis de que el máximo valor de flujo vehicular de saturación en intersecciones semaforizadas es diferente al que establece el Manual de Capacidad Vial de los Estados Unidos de América (1900 veh/hr/carril) seguir utilizando las normas por este manual, traerá como consecuencia el cometer errores en la planificación, el diseño y la construcción de la infraestructura vial de México. La optimización de los recursos y la eficiencia operativa exigen la determinación de normas propias para las condiciones generalizadas en las carreteras de la República

Mexicana.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

IV. DEFINICION DE CONCEPTOS DE CAPACIDAD VIAL

IV.1. Tipos de vías

Las vías pueden clasificarse, generalmente, en dos categorías:

1. *Las de circulación continua:*

Estas no tienen elementos tales como los semáforos, que son externos a la corriente del tránsito y que causen interrupciones.

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

2. *Las de circulación discontinua:*

Estas tienen elementos que causan interrupciones a la corriente del tránsito como pueden ser: semáforos, las señales de alto y otros tipos de control. Estos dispositivos causan al tránsito suspensiones periódicas, independientemente del tránsito que exista.

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

El análisis de estos tipos de vías varía considerablemente. Las primeras no tienen interrupciones de tiempo, en el uso del espacio del camino. En cambio, en las segundas, se debe considerar el impacto de las interrupciones. Por ejemplo, un

semáforo limita la porción de tiempo, de ese tiempo que está disponible para varios movimientos, en una intersección. La capacidad no sólo está determinada por el espacio físico, sino también por el tiempo en uso de que se disponga para los movimientos en la corriente del tránsito.

IV.2. Conceptos de capacidad y Nivel de servicio

Capacidad:

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

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

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

Las condiciones del camino:

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

Las condiciones del tránsito:

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

Condiciones de control:

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

Niveles de servicio:

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

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

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

Nivel de servicio A:

Representa al flujo libre. Los usuarios no se ven afectados por ningún interruptor en la corriente del tránsito.

Nivel de Servicio B:

Está en el rango de un flujo estable pero la presencia de pocos usuarios en la corriente del tránsito es notoria.

Nivel de Servicio C:

Está en el rango de flujo estable; pero marca el inicio del rango de flujo en el cual la operación de los usuarios en forma individual empieza ser afectada significativamente por la interacción con otros usuarios en la corriente del tránsito.

Nivel de Servicio D:

Representa alta densidad, pero un flujo estable.

Nivel de Servicio E:

Representa condiciones de operación muy cercanas al nivel de mínima capacidad.

Nivel de Servicio F:

Se usa para definir un flujo forzado, o los embotellamientos.

2. *Valor de flujo de servicio:*

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

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

3. *Medidas de eficiencia:*

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

Tabla N° 1
DISTINTAS VIAS Y SU EFICIENCIA

TIPO DE VIA	MEDIDA DE EFICIENCIA
Tramos básicos de autopistas	DENSIDAD (vl/mill/carril)
Zonas de entrecruzamiento	Vel. promedio de viaje (mill /hr.)
Enlaces	Valores de flujo (vl/hr.)
Carretera de carriles múltiples	Densidad (vl/ mill /carril)
Carretera de dos carriles	Porcentaje de demora (%) Vel. promedio de viaje (mill /Hr.)
Intersecciones semaforizadas	DEMORA(seg/veh)
Intersecciones no semaforizadas	Capacidad de reserva (vl/hr)
Arterias	Velocidad promedio de viaje (mill /hr)
Transporte público	Factor de carga (per/asiento)
Peatones	Espacio (pies ² /peaton)

IV.3. Principios básicos sobre el flujo del tránsito

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

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

- *La Velocidad:*

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

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

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

- ***El Volumen y/o Valor de flujo***

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

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

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

Matemáticamente su expresión es:

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

Donde:

FHP= Factor horario de máxima demanda.

V_{hm}= Volumen horario (horario de máxima demanda).

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

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

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

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

Donde:

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

FHP= Factor horario de máxima demanda.

V_{hm}=Volumen de la hora de máxima demanda.

• **La Densidad:**

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

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

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

Donde:

V= Valor de flujo (veh/h).

S= Velocidad global (mill /hr. o km./hr.).

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

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

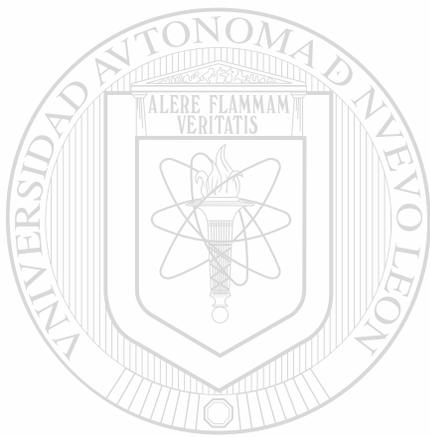
IV.4. Características de la circulación continua

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

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

Según la nota, el valor de flujo $F1$ ocurre bajo dos condiciones muy diferentes:

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



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

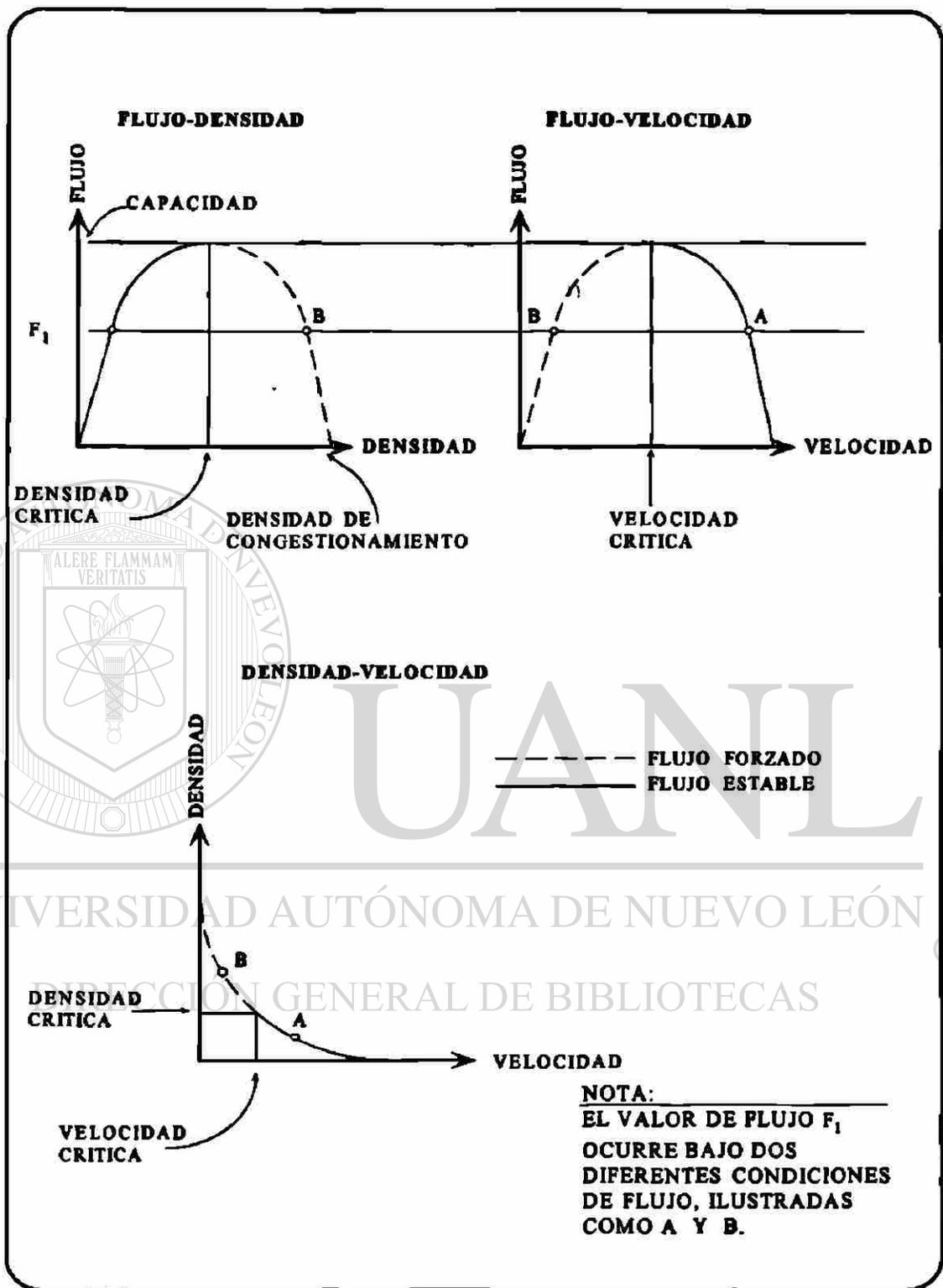


Figura 1.- Relaciones entre velocidad, flujo y densidad.

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

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

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

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

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

IV.5. Características de la circulación discontinua

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

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

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

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

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

En este punto se debe de considerar la dinámica (de inicio y continuación) de la "cola" de vehículos cuando se tiene el tiempo de verde. En la figura 2., se ilustra una "cola" de vehículos detenidos en un semáforo. Cuando el semáforo cambia a luz verde, los vehículos empiezan a moverse, los espacios en tiempo entre vehículos pueden ser observados cuando crucen la línea de la orilla de la banqueta de la intersección.

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

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

El espacio en tiempo para estos últimos será relativamente constante.

En la figura 2., este espacio en tiempo es denominado como “h” y se alcanza después de “N” vehículos.

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

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

A los incrementos que experimentan los primeros vehículos se les llama “Tiempos perdidos de inicio”. Estos incrementos se repiten en cada luz verde.

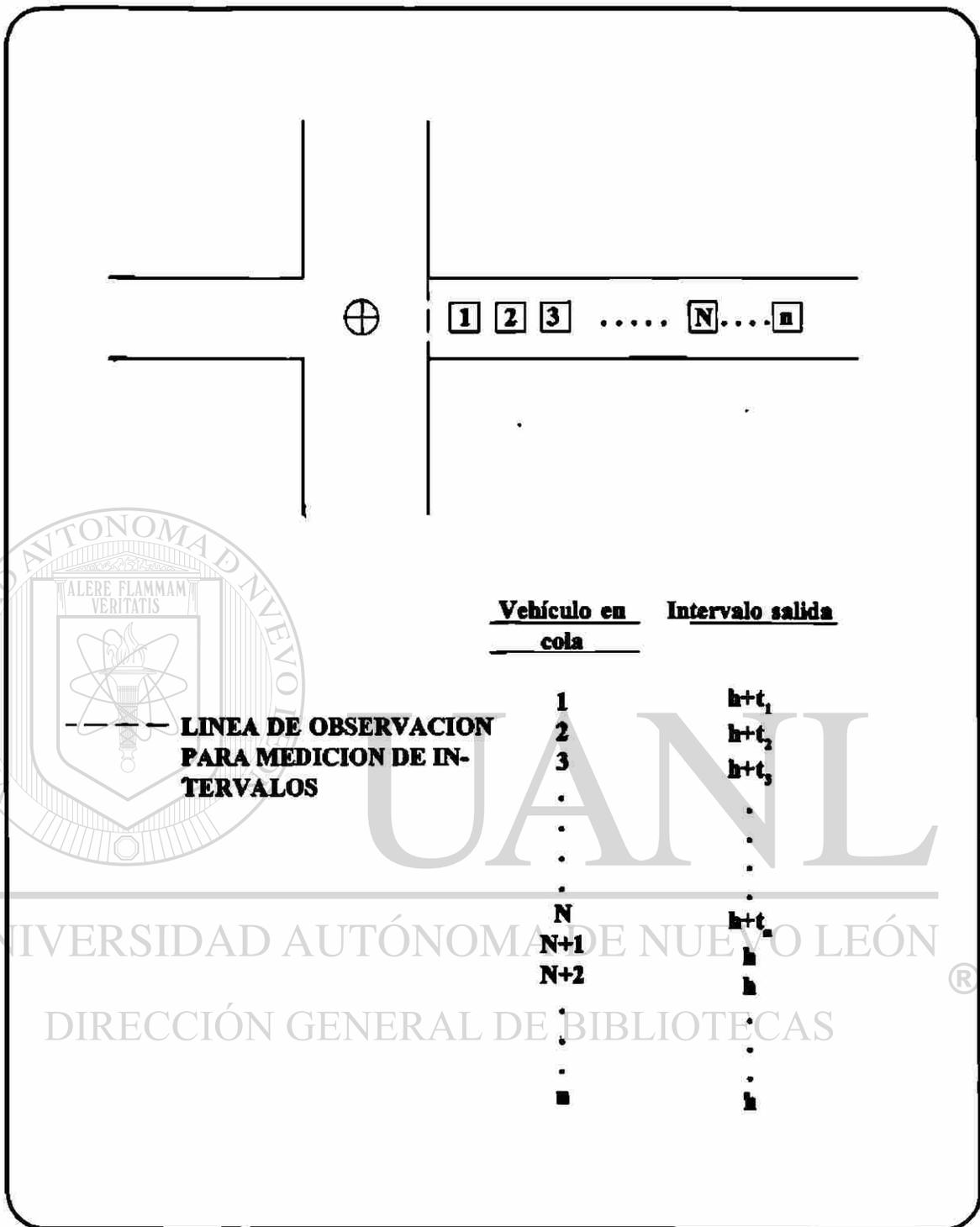


Figura 2.- Condiciones en la interrupción del Tránsito.

Cada vez que una corriente de vehículos se detiene, se experimenta otro tipo de tiempo perdido, ya que se requiere, por seguridad, un tiempo para despejar la intersección antes de que otra corriente de vehículos intente usar la intersección. A este intervalo se le llama “Tiempo Perdido de Despeje”. En la práctica este tiempo período se toma en cuenta en los ciclos mediante el tiempo de luz ámbar y todo el de luz roja. Los conductores generalmente no se detienen durante el intervalo completo.

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

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

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

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

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

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

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

El inciso a) depende de:

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

El inciso b) depende de:

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

4. *La Demora.*

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

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

IV.6. Factores que afectan la capacidad

Condiciones ideales:

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

Ejemplos de condiciones ideales en:

a) *Circulación continua:*

- 1. Carriles de 12 pies de ancho.**
- 2. Zonas de 6 pies libres entre las obstrucciones y los objetos laterales más cercanos, a la orilla de los carriles principales y en la faja separadora central.**
- 3. Velocidad de diseño de 70 mph para autopistas y carreteras de carriles múltiples y 60 mph para carreteras de dos carriles.**
- 4. 100% de vehículos ligeros en la corriente del tránsito.**

b) Accesos en las intersecciones semaforizadas:

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

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

Condiciones del camino:

Incluyen todos los parámetros geométricos que describen el camino:

- *Tipo de vía y su desarrollo en la zona:*
 - Esta puede ser de flujo continuo o de flujo discontinuo.
 - Puede o no tener faja separadora central.
 - Influencia del lugar en que se encuentra.

- *Ancho de carril:*

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

- **Ancho de acotamiento y obstáculos laterales:**

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

- **Velocidad de diseño:**

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

- **Alineamiento vertical y horizontal:**

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

1. **Terreno a nivel:** Es una combinación de ambos alineamientos que permiten a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que los vehículos ligeros. Incluyen pendientes pequeñas del 1 al 2 %.
2. **Terreno en lomerío:** es una combinación de ambos alineamientos que causa que los vehículos pesados disminuyan substancialmente la velocidad respecto a los vehículos ligeros pero no causa que éstos lleguen a la velocidad sostenida.
3. **Terreno montañoso:** Es una combinación de ambos alineamientos que causa que los vehículos pesados operen a velocidades sostenidas, en distancias significativas o en intervalos frecuentes.

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

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

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

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

- a) El por ciento de vehículos pesados en el volumen total es significativo.
- b) Las oportunidades de rebase en las carreteras de dos carriles son escasas.
- c) Existen pendientes aisladas en longitudes significativas.
- d) Existen pendientes en las intersecciones, principalmente en los accesos.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Condiciones del tránsito:

1. *Tipo de vehículos:*

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

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

Los vehículos pesados están clasificados en tres principales categorías:

a) *Camiones:*

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

b) *Vehículos recreacionales:*

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

c) *Autobuses:*

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

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

a) *Distribución direccional:*

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

b) *Distribución de carriles:*

Normalmente, los carriles laterales se usan menos que los carriles internos.

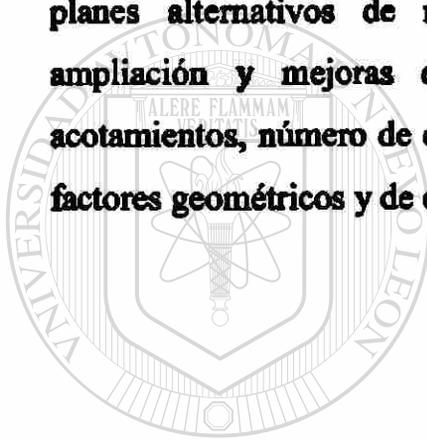
Condiciones de control:

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

- * El tipo de control que se utilice.
- * El tipo de fases.
- * La distribución del tiempo de luz verde.
- * La duración del ciclo.

- 1. Las señales de “Alto” y “Ceda el paso”, las cuales asignan la preferencia a la calle considerada principal.**
- 2. Las señales de “Alto”, en los cuatro accesos, donde es el comportamiento muy variable.**
- 3. Las restricciones del estacionamiento en las calles.**
- 4. Las restricciones para conceder vueltas.**
- 5. El control en el uso de los carriles reversibles.**

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



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

V. ANALISIS DE CAPACIDAD EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

V.1. Antecedentes

En este capítulo trataremos de los procedimientos para el análisis de las intersecciones controladas por semáforos y la determinación del nivel de servicio. La intersección regulada por semáforos es una de las situaciones más complejas en el sistema de circulación vial, ya que debe considerar una amplia variedad de condiciones prevalecientes, incluida la cantidad y la distribución del tránsito composición del mismo, características geométricas y los detalles de la señalización de la intersección. La metodología de este capítulo se centra en la determinación del nivel de servicio para condiciones prevalecientes conocidas o en proyecto, pero presenta alternativas de cálculo para la determinación de otras variables usando un nivel de servicio asumido o deseado.

La capacidad de una carretera se relaciona principalmente con las características geométricas de la misma, así como con la composición del tránsito, que la utiliza. Así pues, teniendo en cuenta alguna variación en la composición de la circulación al cabo del tiempo, la capacidad de una instalación es generalmente un valor estable que únicamente puede mejorarse significativamente mediante mejoras geométricas.

En la intersección controlada por semáforos hay que añadir un elemento adicional dentro del concepto de capacidad: la distribución del tiempo. Un semáforo esencialmente distribuye tiempo entre movimientos circulatorios conflictivos que pretenden utilizar el mismo espacio físico. La manera en cómo se distribuya el tiempo tienen un impacto significativo en el funcionamiento de la intersección y en la capacidad de la misma y de sus accesos.

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

V.1.1. Semáforos

Los semáforos modernos otorgan el tiempo de muchas maneras, desde la modalidad más sencilla de tiempos prefijados (tiempos fijos) y dos fases hasta la más compleja de tipo multifase. Esta sección describe la terminología básica de los semáforos y describe brevemente los varios tipos de operación semafórica y su impacto en la capacidad.

Generalmente se emplean los siguientes términos para describir las operaciones semafóricas:

- **Ciclo**: Cualquier secuencia completa de indicaciones o mensajes de un semáforo.
- **Duración de ciclo**: El tiempo total que necesita el semáforo para completar un ciclo, expresado en segundos, se representa con el símbolo C .

- **Fase:** La parte de un ciclo que se da a cualquier combinación de movimientos de tránsito que tienen derecho a pasar simultáneamente durante uno o más intervalos.
 - **Intervalo:** Un intervalo de tiempo durante el cual todas las indicaciones semafóricas permanecen constantes.
 - **Cambio de Intervalo:** Los intervalos “amarillo” más el “todo rojo”, que tienen lugar entre las fases para permitir evacuar la intersección antes de que movimientos contrapuestos se pongan en marcha; se expresan con el símbolo Y y se mide en segundos.
 - **Tiempo de verde:** El tiempo, dentro de una fase dada, durante la cual la indicación “verde” está a la vista; expresado con el símbolo G , (para la fase 1) y en segundos.
 - **Tiempo perdido:** El tiempo durante el cual la intersección no está efectivamente utilizada por ningún movimiento, estos tiempos ocurren durante el intervalo de cambio (durante el cual la intersección se evacua) y al principio de cada fase cuando los primeros coches de la cola sufren retrasos en el arranque.
-
- **Tiempo de verde efectivo:** El tiempo durante una fase dada que es efectivamente disponible para los movimientos permitidos, generalmente se considera como el tiempo verde más el intervalo de cambio menos el tiempo perdido para la fase en cuestión, expresada en segundos y notada con el símbolo g (para la fase 1).
 - **Proporción de verde:** La proporción de verde efectivo en relación a la circulación del ciclo, notada con el símbolo g/C (para la fase 1).
 - **Rojo efectivo:** El tiempo durante el cual no se permite la circulación a un movimiento dado o un conjunto de movimientos, es la duración del ciclo menos el tiempo verde efectivo para una fase específica, expresado en segundos y notado con el símbolo r_i .

Los semáforos pueden operar en tres modalidades básicas, dependiendo del tipo de equipo de control empleado.

1. Semáforos de tiempos fijos.

En la operación del ciclo, las fases, los tiempos de verde y los intervalos de cambio están todos prefijados. El semáforo rota por este ciclo definido de forma constante: cada ciclo es el mismo siendo la duración del ciclo y las fases constantes. Dependiendo del equipo disponible, se pueden utilizar varios reglajes de tiempo prefijados, entrando cada uno de ellos automáticamente en funcionamiento en momentos determinados del día.

2. Semáforos semiaccionados por el tránsito.

En la operación semiaccionados la calle principal en cuestión tiene una indicación “verde” durante todo el tiempo hasta que los detectores de la calle secundaria indique que un vehículo o vehículos, han llegado a uno o ambos accesos secundarios. El semáforo muestra entonces una fase “verde” para la secundaria, después de un intervalo de cambio apropiado, que se mantiene hasta que todos los vehículos hayan pasado o hasta que el verde de la calle secundaria alcance un tiempo preestablecido máximo. En los sistemas semaforicos en progresión el comienzo de las fases verdes de las calles secundarias puede estar restringido a unos momentos preestablecidos dentro del ciclo.

En este tipo de operación la longitud del ciclo y los tiempos de verde pueden variar de ciclo a ciclo según la demanda. Como el verde se otorga siempre a la calle principal a menos que exista demanda en las secundarias, los tiempos de verde para estas secundarias están virtualmente empleados al completo, mientras que todo el tiempo de verde “sobrante” se concede a la calle principal.

3. Operación totalmente accionada.

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

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

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

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

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

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

V.1.2. Capacidad y Nivel de Servicio

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

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

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

V.1.3. Capacidad de las intersecciones semaforizadas.

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

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

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

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

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

La capacidad en las intersecciones semaforizadas están basadas en el concepto de flujos de saturación y valores de flujo de saturación siendo éste último definido como un valor de flujo máximo que puede pasar por un acceso de una intersección o un grupo de carriles dado bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y del camino, suponiendo que el acceso o el grupo de carriles tuvo el 100% del tiempo real disponible como tiempo de verde efectivo. El valor de flujo para un acceso o grupo de carriles dado está definido como la relación entre el valor de flujo actual v_i y el valor de flujo de saturación, llamándole con el símbolo $(v/s)_i$ para cada acceso o grupo de carriles i .

Entonces, la capacidad es:

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

Donde:

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

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

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

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

$$\begin{aligned} X_i &= (v/c)_i = v_i [s_i * (g/C)_i] \\ X_i &= v_i C / s_i g_i = (v/s)_i / (g/C)_i \end{aligned} \quad (5, 6)$$

Donde:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$X_c = \sum_i (v/s)_c * C / (C - L) \quad (7)$$

Donde:

X_c = Relación v/c crítica para la intersección.

$\sum_i (v/s)_c$ = Sumatorio de índices de saturación para todos los grupos de carriles de acceso críticos, i .

C = Duración del ciclo, en sg.

L = Tiempo perdido total por cada ciclo calculado como la suma de los tiempos perdidos en "arranque" e intervalos de cambio menos la parte del intervalo de cambio utilizado por los vehículos en esta fase crítica.

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

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

Niveles de Servicio para las intersecciones semaforizadas.

Estos están definidos en términos de la demora siendo ésta una medida que refleja la molestia y frustración del conductor, el consumo de combustible y la pérdida de tiempo en su viaje. Estos niveles de servicio se ha establecido en términos de la demora promedio de parada por vehículo.

La demora es una medida compleja y depende de un número de variables que incluyen la calidad de la sincronía, la duración del ciclo, la relación de verde y la relación v/c para un grupo de carriles o accesos en estudio.

Tabla 2
Descripción de los niveles de servicio

N.S.	CARACTERISTICAS DE LA OPERACION	DEMORA (SEG)
A	Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos, los vehículos no hacen alto.	< 5.00
B	Ocurre con una sincronía y ciclos cortos, los vehículos empiezan a detenerse.	5.1 a 15.0
C	Ocurre con una sincronía regular y/o ciclos largos, los ciclos en forma individual empiezan a fallar.	15.1 a 25.0
D	Empieza a notarse la influencia de congestionamientos, ocasionados por un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos se detienen.	25.1 a 40.0
E	Empieza el límite aceptable de la demora; indica una sincronía muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en los ciclos son frecuentes.	40.0 a 60.0
F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurren cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c sean menores de 1.00 pero con una sincronía muy pobre y/o ciclos demasiado largos.	> 60.0

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

Es posible tener demoras en el rango del nivel de servicio F (inaceptable) cuando la relación v/c es menor de 1.00, quizá con valores tan bajos como 0.75 - 0.85. En estas relaciones pueden ocurrir grandes demoras cuando existan algunas de las condiciones siguientes:

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

Puede suceder la situación opuesta. Un acceso o grupo de carriles con una relación $v/c = 1.00$ puede tener demoras si:

- La duración del ciclo es corta.
- La sincronía de semáforos es favorable para el movimientos en estudio. ®

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

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

V.1.5. Análisis Operacional

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

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

- 1. El nivel de servicio, conociendo los detalles del flujo de la intersección, semaforización y la geometría.**
- 2. Los valores de flujo de servicio permitidos para un nivel de servicio seleccionado, conociendo los detalles de semaforización y geometría.**
- 3. El tiempo para las fases conociendo el nivel de servicio deseado y los detalles del flujo y la geometría.**
- 4. La geometría básica (número o distribución de carriles) conociendo el nivel de servicio deseado y los detalles de flujo y semaforización.**

V.2. Metodología

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

V.2.1. Análisis de operación

Para su estudio el análisis se ha dividido en 5 módulos:

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

La figura 3 establece en forma diagramática la secuencia del análisis operacional de las intersecciones semaforizadas.



Figura 3
Procedimientos para el análisis de operación.

Módulo de entrada

La tabla 3 establece un resumen de la información necesaria para llevar a cabo el análisis operacional.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Donde:

R_p = Relación de grupos de vehículos

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

C = Ciclo en segundos.

g = Tiempo de verde.

La tabla 4 proporciona rangos aproximados de R_p relacionados con el tipo de llegada.

Otra condición del tránsito es la actividad de los carriles de estacionamiento adyacentes a los grupos de carriles. Esta se mide considerando el número de maniobras por hora (ya sea para entrar o salir del estacionamiento) dentro de los 250 *pies* de la intersección, N_m .

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

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

Donde:

G_p = Tiempo mínimo de verde en segundos.

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

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

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

Valores propuestos. Algunas veces no se tienen disponibles los datos de campo necesarios indicados en la figura V.2. la tabla V.3. presenta valores propuestos para su uso cuando no se tienen datos de campo, teniendo cuidado de utilizar dichos valores ya que los resultados serán aproximados y no necesariamente reflejarán la realidad.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tabla 3. Datos necesarios para analizar cada grupo de carriles

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

Módulo de ajuste de volúmenes

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

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

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

Donde:

V = Valor de flujo durante los 15 minutos máximos

V_{hm} = Volumen horario en v/hr.

FHP = Factor horario de máxima demanda.

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

2. Determinación de los grupos de carriles. Estos se definen como uno o más carriles en el acceso que sirven a uno a más movimientos vehiculares. Dividir la intersección en grupos de carriles es generalmente obvio, ya que considera tanto a la geometría de la intersección y la distribución de los movimientos del tránsito. Pueden aplicarse la siguiente guía para determinarlos:

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

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

Donde:

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

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

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

Nótese que cuando V_0 es igual o mayor a 1400 v/h, V_{LE} no tiene sentido. En tales casos el movimiento de vuelta izquierda contra el valor de flujo opuesto no es posible, concluyendo que debe considerarse una fase protegida de vuelta izquierda en el ciclo de semáforo.

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

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

Donde:

V_a = Valor de flujo total en el acceso en vph

N = Número total de carriles

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

$$V_{Lz} < (V_a - V_L) / (N - 1)$$

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

La figura 4 muestra algunos grupos de carriles más comunes.

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

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

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

Donde:

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

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

U = Factor de utilización de carriles

El factor de utilización de carriles de la Tabla 5 sólo se utiliza cuando se desea analizar el peor de los dos o más carriles en el grupo de carriles. Si se desea la condición promedio, el factor será 1.00. También el factor puede tener este valor cuando la relación v/c para el grupo de carriles se acerca a 1.0, ya que los carriles tienden a utilizarse más equitativamente en esta situación.

Módulo de flujo de saturación

En este módulo se calcula el valor de flujo de saturación para cada grupo de carriles. Este flujo horario asume que la fase verde siempre está disponible para cada acceso, o sea que la relación g/C fuera 1.00. El cálculo se inicia con la selección de un valor de flujo "ideal" que generalmente es 1900 vl/hr/carr. el cual se ajusta a una variedad de condiciones prevalecientes que no son ideales. Así:

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

s_0 = Valor de flujo de saturación ideal, generalmente 1900 vl/hr/carr.

N = Número de carriles en el grupo de carriles.

- f_w = Factor de ajuste por ancho de carriles; los carriles de 12 pies son los estándar, dado en la Tabla 7
- f_{hv} = Factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente del tránsito, dado en la Tabla 8.
- f_g = Factor de ajuste por pendiente o inclinación del acceso, dado en la Tabla 9.
- f_p = Factor de ajuste por la existencia de un carril de estacionamiento adyacente al grupo de carriles y a la actividad de estacionamiento en ese carril, dado en la Tabla 10.
- f_{bb} = Factor de ajuste por el efecto de bloqueo por paradas de los autobuses urbanos dentro de la zona de la intersección, dado en la Tabla 11.
- f_a = Factor de ajuste por el tipo de área, dado en la Tabla 12.
- f_{RT} = Factor de ajuste por vueltas derechas en el grupo de carriles, dado en la Tabla 13.
- f_{LT} = Factor de ajuste por vueltas izquierdas en el grupo de carriles, dado en la Tabla 14, o calculando como se describirá en las siguientes secciones.

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

1. *Factores de ajuste.* Cada factor agrega el impacto de las condiciones prevalecientes que son diferentes de las ideales. Cada Tabla de la 7 a la 14 contempla una amplia variedad de condiciones fuera de las ideales que marcan el impacto en la operación de la intersección.
2. Procedimiento especial para el ajuste de la vuelta izquierda para la fase permitida.

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

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

Debido a que el cálculo es complejo, se ha diseñado unas hojas de trabajo especiales para la vuelta izquierda permitida. La figura 10 muestra la hoja de trabajo para el caso en que el acceso opuesto sea de varios carriles, la figura 11 muestra la hoja de trabajo para el caso en que el acceso opuesto sea de un carril.

Para la figura 10, las primeras 10 filas de la hoja de trabajo son para resumir los datos de entrada para estimar el factor de vuelta izquierda, utilizando sólo los accesos que incluyen las vueltas permitidas.

- Duración de ciclo C .
- Tiempo de verde asignado, G .
- Verde efectivo g . Es el verde efectivo para el grupo de carriles bajo estudio; cuando no se conoce, se estima para los flujos promedio por carril en los movimientos críticos en la intersección, mediante:

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

Donde:

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

t_L = Tiempo perdido total en las fases en segundos.

Y_i = Ambar para el grupo de carriles.

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

$$LTC = V_{LT} * C / 3600 \quad (15)$$

- Calcular el flujo opuesto por carril por ciclo.

$$V_{oc} = V_o * C / (3600 * N_o) \quad (16)$$

- Determinar la relación del flujo opuesto, R_{po} . (tabla 4).
- Calcular g_f , es la porción de verde para un carril compartido durante el cual los vehículos de frente se mueven hasta la llegada del primer vehículo que realiza la vuelta izquierda. Para carriles de vuelta exclusiva este valor es cero.

$$g_f = G * \exp(-0.882 * LTC^{0.717}) - t_L \quad (17)$$

- Calcular la relación de la fila sentido opuesto, q_{ro} .

$$q_{ro} = 1 - R_{po} (g_o / C) \quad (18)$$

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

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

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

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

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

- Calcular el factor de saturación de vuelta izquierda, f_g .

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

- Calcular la proporción de vueltas izquierdas en el carril compartido, P_L . Cuando se considere un carril exclusivo de vuelta izquierda este valor es 1.0.

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

- Determinar el equivalente de vehículos de frente, E_{L1} . Utilizando la tabla 16.
- Calcular f_{min} .

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

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

$$f_m = [g_c / g] + [g_n / g] [1 / \{1 + P_L(E_{L1} - 1)\}] \quad (25)$$

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

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

Para la figura 11 los datos que se requieren son:

- Duración de ciclo C.
- Tiempo de verde asignado, G.
- Verde efectivo g.
- Verde efectivo del flujo opuesto, g_o .
- Número de carriles en el grupo, N.
- Flujo ajustado de vuelta izquierda, V_{LT} .
- Proporción de vueltas izquierdas, P_{LT} .
- Proporción de vueltas izquierdas en el flujo opuesto, P_{LTO} .
- Flujo ajustado opuesto, V_o .
- Tiempo perdido por fase t_L .
- Calcular las vueltas izquierdas por ciclo, LTC, ecuación 15.
- Calcular el flujo opuesto por carril por ciclo, V_{Otc} , ecuación 16.

- Determinar la relación del flujo opuesto, R_{po} . (tabla 4).

- Calcular g_f , para este caso:

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

- Calcular q_{r0} , ecuación 18.

- Calcular g_q , para este caso:

$$g_q = 4.943 V_{OK}^{0.762} q_{r0}^{1.061} - 1 \quad (28)$$

- Calcular g_u , ecuaciones 20 y 21.

- Calcular n :

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

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

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

- Determinar E_{L1} , tabla 16.

- Calcular E_{L2} :

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

- Calcular f_{min} , ecuación 24

- Calcular f_{LT} :

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

Módulo de análisis de capacidad.

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

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

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

El parámetro de capacidad final es la relación v/c crítica X_C para la intersección, mediante la ecuación 7.

La relación indica la proporción de la capacidad disponible que será usada por los vehículos en los grupos de carriles críticos. Si la relación excede a 1.00 o más, los grupos de carriles estarán sobresaturados. Esto es una indicación de que el diseño, la duración del ciclo, el plan de fases, y/o los tiempos del semáforo son inadecuados para la demanda existente o proyectada. Una relación menor que 1.00 indica que el diseño, la duración del ciclo, y el plan de fases es adecuada para manejar todos los flujos críticos sin que la demanda exceda a la capacidad, asumiendo que los tiempos de verde están asignados en forma proporcional. Si alguna fase no está debidamente proporcionada, la demanda de algún movimiento excederá la capacidad aún cuando la relación v/c sea menor que 1.00.

Cuando no hay fases que se traslapan en el diseño, la determinación de los grupos de carriles críticos es directa. Cuando se traslapan, se complica la situación, ya que varios grupos de carriles pueden moverse en varias fases del semáforo. La siguiente guía puede utilizarse para determinar los grupos de carriles críticos.

1. Cuando las fases no se traslapan:
 - Habrá un grupo de carriles críticos para cada fase.
 - El grupo de carriles con la relación v/s más alto de los que se mueven en una fase de semáforo es el crítico.
 - Cuando los tiempos de semáforo se estimen o se propongan, los grupos de carriles críticos se utilizan para determinar dichos tiempos.

2. Cuando las fases se traslapan:

- Basado en el plan de fases, deben identificarse las combinaciones de los grupos de carriles que pueden consumir la mayor cantidad de capacidad disponible. Estos son los mismos grupos de carriles que controlarán los tiempos del semáforo si se estiman.
- Al revisar el plan de fases para combinar los grupos de carriles críticos no puede haber ninguna fase o parte de la fase que tenga más de un grupo de carriles críticos.
- Si se estiman los tiempos de semáforo, los grupos de carriles críticos son utilizados para determinar dichos tiempos.

Módulo del Nivel de Servicio

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

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

$$d = d_1 DF + d_2 \quad (33)$$

Donde:

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

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

Donde:

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

d_1 = Demora uniforme.

d_2 = demora incremental.

C = Duración del ciclo en seg.

DF = Factor de ajuste por sincronía y tipo de control (tabla 15)

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

c = Capacidad para el grupo de carriles.

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

m = Calibración de la demora por periodo, representa los efectos del tipo de llegada.

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

2. **Factor de ajuste por sincronía (Tabla 15).** La ecuación 34 estima la demora suponiendo llegadas aleatorias. En la mayoría de los casos las llegadas no son aleatorias, están en grupos densos de vehículos como resultados de la sincronía de los semáforos y otros factores. Como parte de los datos de entrada, se han definido 6 tipos de llegada que deben especificarse para cada grupo de carriles. Este factor se multiplica por la demora obtenida anteriormente.

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

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

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

Donde:

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

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

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

La demora promedio para la intersección será:

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

Donde:

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

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

4. Una vez que se haya obtenido la demora promedio por vehículo para cada grupo de carriles y para cada acceso y para la intersección, se consulta la Tabla 2, para determinar los niveles de servicio.

Interpretación de Resultados

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

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

1. **Aumento en el ciclo de semáforo.**
2. **Cambio al plan de fases del semáforo.**

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

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

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

V.3. Procedimientos de Aplicación

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

V.3.1. Análisis de operación

Se ha dividido en 5 módulos:

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

Módulo de datos de entrada.

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

Paso 1. Registro de los volúmenes de tránsito.

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

Paso 2. Registro de la geometría.

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

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

1ra. Columna: Porcentaje de pendiente, siendo (+) las pendientes ascendentes y (-) las descendentes.

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

3ra. y 4ta. Columna: Describen las características de estacionamiento para cada acceso, la tercera indica la presencia del estacionamiento y la cuarta indica el número de vehículos estacionados por hora dentro de los 250 pies (75 mts) de la intersección.

5ta. Columna: Se anota el número de paradas de los autobuses por hora que ocurran dentro de los 250 pies de la intersección.

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

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

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

10^{ma.} y 11va. Columna: Se utilizan para establecer el tipo de llegada, la cual identifica las características de sincronía y de los grupos de vehículos (pagina 40).

Cuando se obtiene en campo se utiliza la ecuación 8 y la Tabla 4. La Tabla 5 contiene valores preestablecidos usados sólo si no hay otra manera de obtenerlos.

Paso 4. Registro del diseño del semáforo.

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

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

2° Para cada fase se indica el tiempo de verde y el tiempo de ámbar mas todo rojo.

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

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

□ *Módulo de ajuste de volúmenes.*

Este módulo trata básicamente de:

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

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

Paso 1. Registro de volúmenes horarios.

Estos se toman directamente del diagrama del módulo anterior.

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

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

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

En la metodología se establecen los criterios para su definición. Las vueltas izquierdas exclusivas siempre se consideran como grupos de carriles separados. Los grupos de carriles se muestra en la 6ta. columna mediante flechas que ilustren los movimientos incluidos en el grupo. Los movimientos permitidos de vuelta se muestran con líneas discontinuas y los protegidos se muestran con líneas continuas.

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

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

Paso 5 Registro del número de carriles.

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

Paso 6 Registro el factor de utilización de carriles.

En la 9na. columna se establece el factor de utilización para cada grupo, tomando de la Tabla 6.

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

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

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

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

$$\begin{aligned} P_{LT} &= V_{LT} / v_g \\ P_{RT} &= V_{RT} / v_g \end{aligned} \quad (38)$$

Donde:

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

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

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

□ **Módulo del valor de flujo de saturación.**

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

Paso 1. Descripción de los grupos de carriles.

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

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

En la 3ra. columna se anotará el valor, siendo para todos los casos igual a 1900 vl/hr/carr., a menos que los datos locales indiquen otro valor.

Paso 3. Registro de los factores de ajuste.

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

4ta. columna: Número de carriles.

5ta. columna: Factor de ancho de carriles f_w obtenido de la Tabla 7.

6ta. columna: Factor de vehículos pesados f_{hvi} obtenido de la Tabla 8.

7ma. columna: Factor de pendiente f_{g} obtenido de la Tabla 9.

8va. columna: Factor de estacionamiento f_{pi} obtenido de la Tabla 10.

9na. columna: Factor de bloqueo por paradas de autobuses f_{bbi} obtenido de la Tabla 11.

10ma. columna: Factor por tipo de área f_{ai} obtenido de la Tabla 12.

11va. columna: Factor de vuelta derecha f_{RT} , obtenido de la Tabla 13.

12va. columna: Factor de vuelta izquierda f_{LT} , obtenido de la Tabla 14 o calculado usando el procedimiento descrito en la metodología, utilizando la hoja de trabajo de la Figura 10 o Figura 11.

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

Debido a que el cálculo es complejo, se han diseñado hojas de trabajo mostradas en la figura 10 y 11. Consúltese la metodología para mayor detalle (pagina 51).

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

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

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

□ **Módulo de análisis de capacidad.**

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

Paso 1 Descripción de los grupos de carriles.

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

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

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

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

Este se obtiene del 3º módulo, anotando el valor en la 4ta. columna. Donde se han separado los grupos de carriles de vueltas izquierdas protegidas y permitidas se registra el valor de flujo de saturación para la porción de fase protegida, no existiendo el valor de flujo de saturación para la porción de la fase permitida.

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

Este se obtiene dividiendo v/s , anotándolo en la 5ta. columna.

Paso 5 Identificación de los grupos de carriles críticos.

Partiendo de la definición del grupo de carriles críticos (grupo de carriles con la mayor relación de flujos de cada fase o fases), cuando existan fases traslapadas, tiene que examinarse todas las combinaciones de los grupos de carriles críticos para obtener la suma mayor de la relación de flujos críticos, marcando en la última columna todos estos grupos anotando el resultado de la suma en el espacio apropiado, encontrado en la parte inferior de la hoja de trabajo.

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

La relación g/C para cada grupo de carriles se obtiene dividiendo el tiempo efectivo de verde entre la duración del ciclo, registrados en el 1° módulo, anotando el resultado en la 6ta columna.

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

Este valor se obtiene multiplicando el valor de flujo de saturación por la relación g/C , anotando el valor en la 7ma. columna.

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

Estas relaciones se obtienen dividiendo el valor de flujo ajustado entre la capacidad, anotando el resultado en la 8va. columna.

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

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

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

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

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

ó

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

Donde:

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

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

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

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

Resumen de la interpretación de resultados de la capacidad.

1. Una relación v/c crítica mayor de 1.00 indica que el semáforo y el diseño geométrico no puede acomodar la combinación de los flujos críticos de la intersección. La demanda actual o proyectada en estos movimientos excede la capacidad de la intersección. Esta condición puede mejorarse mediante la combinación de un incremento al ciclo, cambios en el plan de fases y/o cambios básicos a la geometría.

2. Cuando la relación v/c crítica es aceptable, pero las relaciones v/c para los grupos de carriles varían ampliamente, deben de revisarse los tiempos de verde, ya que existe una distribución desproporcionada del verde disponible.
3. Si las vueltas izquierdas permitidas resultan en reducciones extremas en el valor de flujo de saturación para los grupos de carriles afectados, debe considerarse una fase protegida.
4. Si la suma de valores de flujo críticos para los grupos de carriles exceden 0.90 a 0.95 es difícil que la geometría existente y el diseño de las fases del semáforo puedan absorber la demanda. Debe considerarse cambios en cualquiera de las dos o las dos posibilidades.
5. Cuando las relaciones v/c son inaceptables aún cuando las fases de semáforo incluyen fases protegidas para los movimientos de vuelta significativos, es probable que se necesiten cambios en la geometría para mejorar la situación.

□ **Módulo de nivel de servicio.**

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

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

Paso 1 Descripción de los grupos de carriles.

Serán los mismos del 2º módulo, anotándolos en la 1ra. columna. Las vueltas izquierdas protegidas y permitidas no necesitan separarse en este módulo.

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

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

2da. columna, la relación v/c para cada grupo de carriles, tomado del 4° módulo.

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

4ta. columna, se calcula la d_1 , ecuación 34.

5ta. columna, se coloca el factor DF de la tabla 15.

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

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

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

7ma. columna, se coloca el factor m , tabla 15.

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

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

El procedimiento para encontrarlos es el siguiente:

- Calcular la demora promedio por cada grupo de carriles mediante: demora = $(d_1 \cdot DF + d_2)$, anotando el resultado en la 9na. columna.
- Encontrar el nivel de servicio para cada grupo de carriles en la Tabla 2, anotando el resultado en la 10ma. columna.

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

La demora promedio por vehículo se encuentra para cada acceso sumando el producto del valor de flujo y la demora para cada grupo de carriles del acceso, dividiéndolo entre el valor de flujo total del acceso, anotando el resultado en la 11va. columna,

ecuación 36. En nivel de servicio se determina de la Tabla 2, anotando el resultado en la 12va. columna.

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

Estos datos se encuentran sumando, el producto del valor de flujo y la demora del acceso, de todos los accesos, dividiendo esta suma entre el valor de flujo total de la intersección ecuación 37, anotando los resultados en la parte inferior de la hoja. El nivel de servicio de la intersección se obtiene de la Tabla 2, anotando el resultado en la parte inferior de la hoja.

La interpretación de resultados.

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

1. El nivel de servicio es un indicador general de la aceptabilidad de la demora de los conductores. Nótese que esto es de alguna manera subjetiva: lo que es “aceptable” en el centro de la ciudad, no necesariamente es “aceptable” en un entorno menos denso.
2. Cuando los niveles de demora de la intersección son aceptables, pero no lo son para ciertos grupos de carriles, debe examinarse el plan de fases y/o el tiempo de verde para proveer un manejo más eficiente de los movimientos más desventajosos.

3. Cuando los niveles de demora son inaceptables, pero las relaciones v/c son relativamente bajas (módulo de análisis de capacidad), la duración del ciclo puede ser demasiado grande para las condiciones prevalecientes y/o el plan de fases puede ser ineficiente. Nótese que cuando los semáforos son parte de un sistema coordinado, la duración del ciclo en las intersecciones individuales se determina de acuerdo a las consideraciones del sistema y cualquier alteración en lugares aislados no es práctico.
4. Cuando los niveles de demora y las relaciones v/c no son aceptables, la situación es la más crítica. La demora es alta, y la demanda cerca o sobre la capacidad. En tales situaciones, la demora puede incrementarse rápidamente con ligeros cambios de la demanda. Debe considerarse un buen número de mejoras al diseño geométrico y del semáforo para, a su vez, mejorar dichos casos.

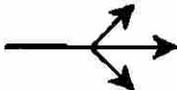
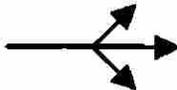
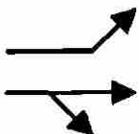
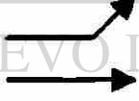


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

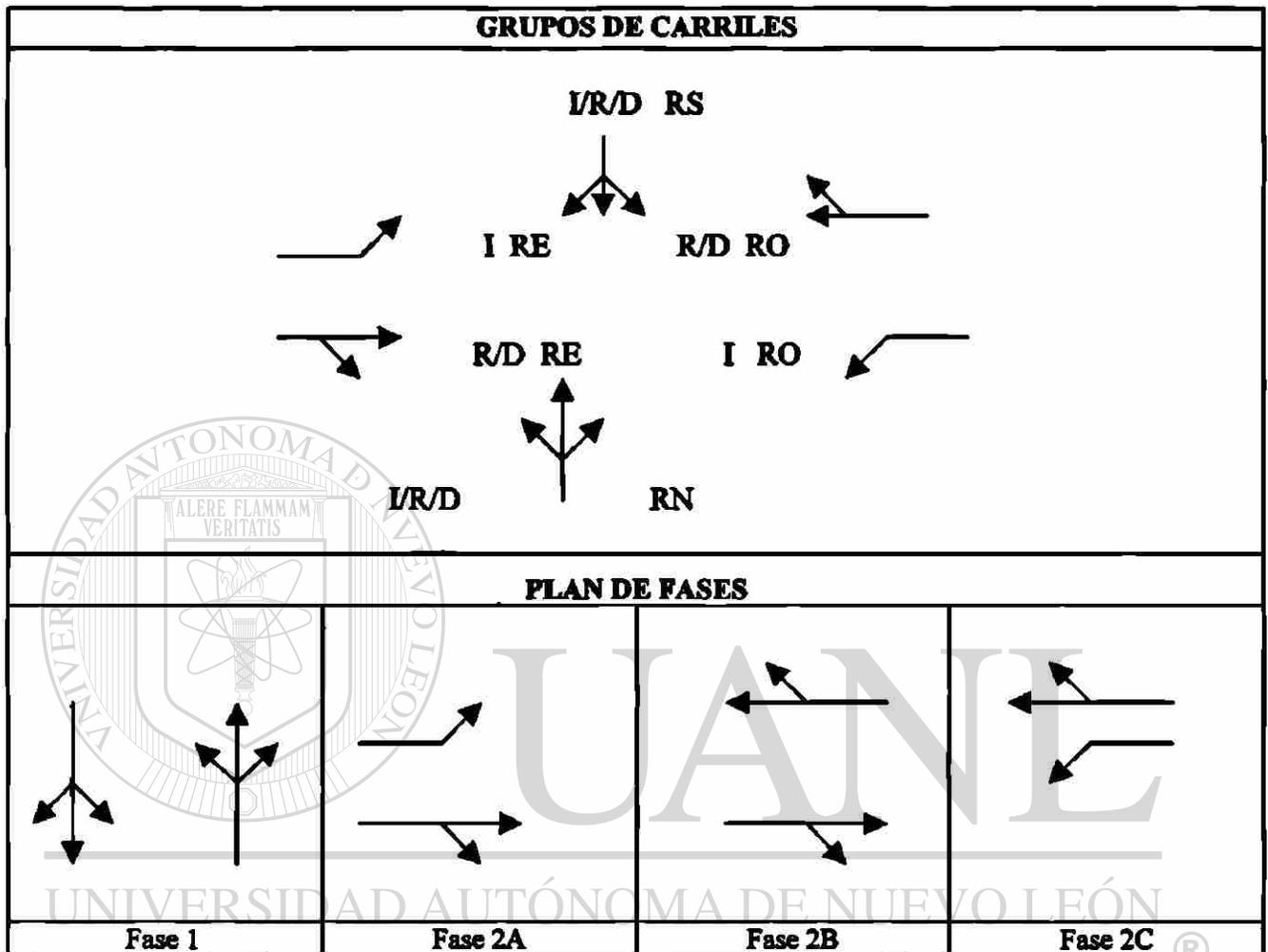
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

N° DE CARRILES	MOVIMIENTOS POR CARRILES	GRUPOS DE CARRILES POSIBLES
1	MI + MR + MD 	① 
2	MI EXC  MR + MD 	② 
2	MI + MR  MR + MD 	①  ② 
3	MI EXC  MR  MR + MD 	②  ③ 

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

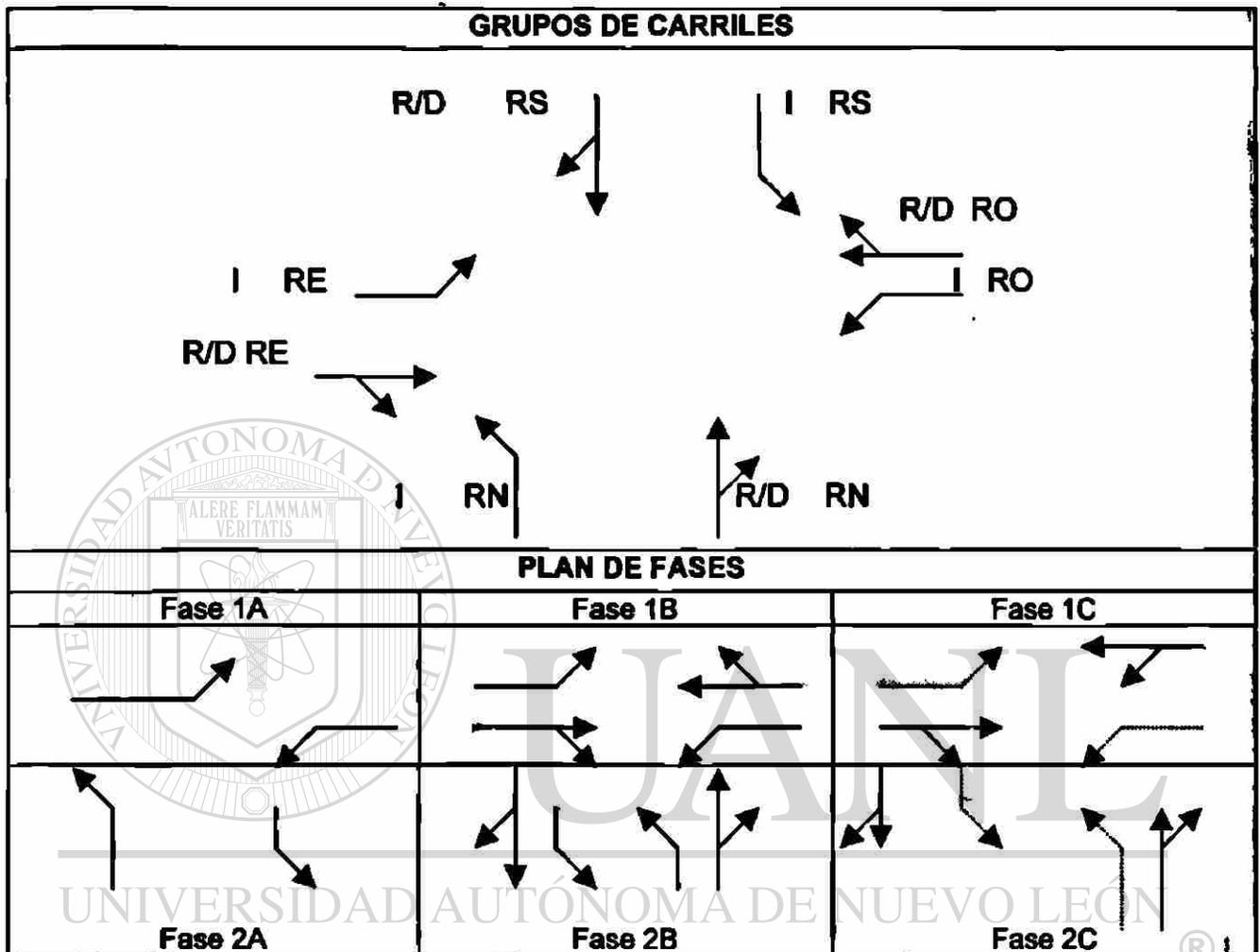
Figura 4. Grupos de carriles típicos.



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

MODULO DE ENTRADA

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

Geometría y Volumen

NORTE

Calle N/S

Identificar en el Diagrama

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

RE TOTAL

Calle E/W

RN TOTAL

CONDICIONES GEOMETRICAS Y DE LA CIRCULACION

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

Pendiente: → ascendente - descendente
 HV: veh. con más de 4 ruedas.
 Nm: Maniobras de Estación/hr.
 No = Parada de Autobuses/hr.
 FHP = Factor de Hora Pico.
 Conflicto Peatonal = peat/hr.

Min. Tiempo: Mínimo Verde Para Cruce Peatonal.
 Tipo de arribo: Tipo 1-5

FASES

DIAGRAMA	V=							
Tiempo	A+R=							
Fijo o Actuado								

Vuelta Protegida Vuelta Permitida Peatones Duración del Ciclo Seg.

Figura 7. Módulo de Entrada

MODULO DE AJUSTES DE VOLUMENES										
1 Acceso	2 Movimiento	3 Volumen Movimiento (uhr)	4 Factor de Hora Pico FMP	5 Intervidad Módulo (uhr) 3-4	6 Grupo de Carritos	7 Intervidad en Carrito de Grupo Vg (uhr)	8 Número de Carritos N	9 Utilización de Carro Factor U Tabla 6	10 Intervidad Ajustada V (uhr) 7x9	11 prop. de LT o RT Pl. o Plr
RE	LT Izquierda									
	TH De frente									
	RT Derecha									
RO	LT Izquierda									
	TH De frente									
	RT Derecha									
RN	LT Izquierda									
	TH De frente									
	RT Derecha									
RS	LT Izquierda									
	TH De frente									
	RT Derecha									

Figura 8. Módulo de Ajuste de Volúmenes

MODULO DEL VALOR DE FLUJO DE SATURACION												
Grupo de Carriles		3 Intensidad de Saturación Ideal (veh/c)	Factores de Ajuste									13 Intensidad Saturación ajustada S (veh/c)
1 Acs.	2 Movimiento de los grupos de carriles		4 No. de Carriles N	5 Ancho de Carril W_c	6 Vehículos Pesados f_w	7 Pond. f_p	8 Estacionam. f_s	9 Bloqueo de Autobuses f_b	10 Tipo de Área f_a	11 Giro Der. f_d	12 Giro Izq. f_i	
				Tabla 7	Tabla 8	Tabla 9	Tabla 10	Tabla 11	Tabla 12	Tabla 13	Tabla 14	
RE	LT											
	TH											
	RT											
RO	LT											
	TH											
	RT											
RN	LT											
	TH											
	RT											
RS	LT											
	TH											
	RT											

Figura 9. Módulo del Valor de flujo de Saturación

HOJA DE TRABAJO PARA VUELTA IZQUIERDA PERMITIDA

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

ACCESO	RE	RO	RN	RS
Longitud del ciclo, C				
Tiempo de verde, G				
Tiempo efectivo de verde, g				
Verde efectivo del flujo opuesto, g_o				
Número de carriles en el grupo, N				
Número de carriles en el Flujo Opuesto, N_o				
Flujo ajustado de vuelta izquierda, V_{LT}				
Proporción de vuelta izquierda en el grupo de carriles, P_{LT}				
Flujo ajustado opuesto, V_o				
Tiempo perdido por pase, t_L				
Vueltas a la izquierda por ciclo: $LTC = V_{LT} C/3600$				
Flujo opuesto por carril, por ciclo: $V_{olc} = V_o C/(3600 N_o)$				
Relación de flujo opuesto, R_{po} (Tabla 4)				
Relación $g_f^{**} = G \exp(-0.882 LTC^{0.717}) - t_L, g_f \leq g$				
Relación de la fila sentido opuesto: $q_{r_o} = 1 - R_{po} (g_o/C)$				
Relación g_q usando la ecuación 19, $\leq g$				
Calcular g_u : $g_u = g - g_q$ si $g_q \geq g_f$ $g_u = g - g_f$ si $g_q < g_f$				
Calcular: $f_s = (875 - 0.625 V_o)/1000, f_s \geq 0$				
Calcular $P_L = P_{LT} [1 + \{(N-1)g/(f_s g + 4.5)\}]$				
Relación E_{L1} (Tabla 16)				
Calcular $f_{min} = 2 (1 + P_L)/g$				
Calcular f_m : $f_m = [g_f/g] + [g_u/g] [1/\{1 + P_L (E_{L1} - 1)\}]$ $min = f_{min}; max = 1.00$				
Calcular $f_{LT} = [f_m + 0.91 (N-1)]/N^+$				

*Para vuelta izquierda permitida, si existe un carril exclusivo de vuelta izquierda, entonces, $f_{LT} = f_m$

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

HOJA DE TRABAJO PARA VUELTA IZQUIERDA PERMITIDA

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

ACCESO	RE	RO	RN	RS
Longitud del ciclo, C				
Tiempo de verde, G				
Tiempo efectivo de verde, g				
Verde efectivo del flujo opuesto, g_o				
Número de carriles en el grupo, N				
Flujo ajustado de vuelta izquierda, V_{LT}				
Proporción de vuelta izquierda en el grupo de carriles, P_{LT}				
Proporción de vueltas izquierdas en el flujo opuesto, P_{LT0}				
Flujo ajustado opuesto, V_o				
Tiempo perdido por fase, t_L				
Vueltas a la izquierda por ciclo: $LTC = V_{LT} C/3600$				
Flujo opuesto por carril, por ciclo: $V_{olc} = V_o C/(3600)$				
Relación de flujo opuesto, R_{po} (Tabla 4)				
Calcular $g_f^{**} = G \exp(-0.860 LTC^{0.629}) - t_L$ $g_f \leq g$				
Relación de la fila sentido opuesto:				
$qr_o = 1 - R_{po} (g_o/C)$				
Calcular $g_q = 4.943 V_{olc}^{0.762} qr_o^{1.061} - t_L$ $g_q < g$				
Calcular g_u :				
$g_u = g - g_q$ si $g_q \geq g_f$				
$g_u = g - g_f$ si $g_q < g_f$				
Calcular: $n = (g_q - g_f)/2, n \geq 0$				
Calcular $P_{TH0} = 1 - P_{LT0}$				
Calcular E_{L1} (Tabla 16)				
Calcular $E_{L2} = (1 - P_{TH0}^n)/P_{LT0}$				
Calcular $f_{min} = 2(1 + P_{LT})/g$				
Calcular $f_{LT^{**}} = f_m [g_f/g] + [(g_q - g_f)/g] [1/\{1 + P_{LT}(E_{L2} - 1)\}]$ $+ [g_u/g] [1/(1 + P_{LT}(E_{L1} - 1))]$ $min = f_{min}; max = 1.00$				

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

MODULO DE ANALISIS DE CAPACIDAD								
1 Acceso	2 Movimiento de Grupo de Carritos	3 Volumen Ajustado V (v/hr)	4 Intensidad Saturación Ajustada S (v/hr)	5 Relación de Intensidades v/s 3/4	6 Relación Tiempo de Verde g/C	7 Capacidad Grupo de Carritos C (v/hr) 4/s	8 Relación WC 3/7 X	9 Grupo de Carritos Crítico (*)
RE								
RO								
RN								
RS								®

Duración del Ciclo C ____ Seg. $\sum(v/s) = \underline{\hspace{2cm}}$

Tiempo Perdido por Ciclo L ____ Seg. $x = \frac{\sum(v/s)C}{C-L} = \underline{\hspace{2cm}}$

Figura 12. Módulo de Análisis de Capacidad

MODULO DE NIVEL DE SERVICIO												
Grupo de Carriles		Primera Demora				Segunda Demora			Demora y NS Grupo de Carril		Demora Total y NS	
Acc.	Nº. de Grupo de Carriles	Relación v/s X	4 Relación de Vías g/C	5 Demora uniforme de Seg./veh.	6 Ajuste factor DF Tabla 15	7 Capacidad de Grupos de Carriles C (veh)	8 d, cal. Pondera. m. Tabla 15	9 Demora incremental de seg./veh.	10 Demora, d Seg./veh. (8)(9) * (8)	11 N.S. Ops. de Carril Tabla 2	12 Dem. Acc. (seg/veh)	13 NS Acc. Total Tabla 2
RE												
RO												
RN												
RS												
Demora en la Intersección _____ seg./veh							NS de la Intersección _____ (Tabla 2)					

Figura 13. Módulo de Nivel de Servicio

Tabla 4. Relación entre el tipo de llegada y el flujo vehicular al llegar a la intersección, R_p .

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

Tabla 4. Valores recomendados a utilizar en un análisis de operación .

Características	Valor recomendado
TRANSITO	
Conflicto con peatones	no: 0 peat./hr. Medio: 50 peat./hr. Moderado: 200 peat./hr Alto: 400 peat./hr.
Porcentaje de Vehículos Pesados	2 %
Pendiente /porcentaje)	0
Número de paradas de Autobús	0/hr.
Existe estacionamiento.	No
Maniobras de Estacionamiento	20/ hr.
Tipo de Llegada	
Grupo de carriles para el movimiento de frente	3 si es aislada 4 si es sincronizada.
Grupo de carriles que no son de movimiento de frente	3
Factor de hora pico	0.90
Factor de utilización	Ver tabla 6

Tabla 5. Continuación

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

Tabla 6. Factor por utilización de carril F_u .

Grupo de carriles	No. de carriles en el grupo	Porcentaje del tránsito que utiliza el carril	Factor de utilización de carril
De frente y compartido	1	100.0	1.00
	2	52.5	1.05
	3	36.7	1.10
Exclusivo de vuelta izquierda	1	100.0	1.00
	2	51.5	1.03
Exclusivo de vuelta derecha	1	100.0	1.00
	2	56.5	1.13

Tabla 7 . Factor de ajuste por Ancho de carril, f_w .

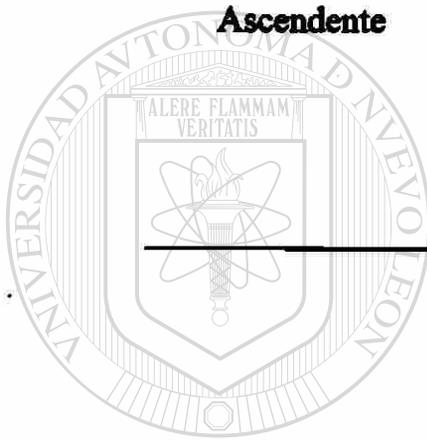
Promedio de Ancho de Carril, w (mts.)	Factor por ancho de carril, f_w.
2.44	0.867
2.74	0.900
3.05	0.933
3.35	0.967
3.65	1.000
3.96	1.033
4.26	1.067
4.57	1.100
4.88	1.133

Tabla 8. Factor de ajuste por vehículo pesado, f_{HV} .

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

Tabla 9. Factor de ajuste por inclinación de la rasante, f_g .

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



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Tabla 10. Factor de ajuste por estacionamiento. f_p

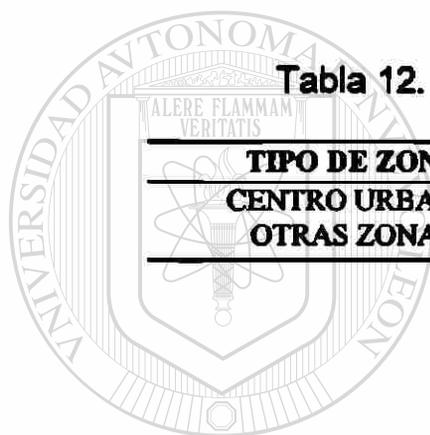
Nº DE CARRILES EN EL GRUPO	SIN ESTACIONAMIENTO	Nº DE MANIOBRAS DE ESTACIONAMIENTO POR HORA, Nm				
		0	10	20	30	40
1	1.00	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
2	1.00	0.95	0.92	0.89	0.87	0.85
3	1.00	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89

Tabla 11. Factor de ajuste por bloqueo en paradas de autobuses, f_{bb} .

Nº DE CARRILES EN EL GRUPO	NUMERO DE AUTOBUSES QUE PARAN POR HORA, N_g				
	0	10	20	30	40
1	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83
2	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92
3	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94

Tabla 12. Factor de ajuste por tipo de área (f_a).

TIPO DE ZONA	FACTOR f_a
CENTRO URBANO	0.90
OTRAS ZONAS	1.00



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tabla 13. Factor de ajuste por vuelta derecha, f_{RT} .

Caso	P_{RTA}	Pestones	Proporción de vueltas a la derecha, P_{RT}					
			Casos 4, 5, 6					Casos 1, 2, 3
			0	.2	.4	.6	.8	1.0
2 y 5	0	0	1.00	.970	.940	.910	.880	.850
		50 bajo	1.00	.965	.930	.896	.861	.826
		100	1.00	.960	.921	.881	.842	.802
		200 medio	1.00	.951	.902	.853	.804	.755
		400 alto	1.00	.932	.864	.796	.728	.660
		800	1.00	.894	.788	.681	.575	.469
		1200	1.00	.856	.711	.567	.423	.279
		≥ 1700	1.00	.808	.616	.424	.232	.050
3 y 6	.20	0	1.00	.970	.940	.910	.880	.850
		50 bajo	1.00	.966	.932	.899	.865	.831
		100	1.00	.962	.925	.887	.850	.812
		200 medio	1.00	.955	.910	.864	.819	.774
		400 alto	1.00	.940	.879	.819	.758	.698
		800	1.00	.909	.818	.727	.636	.545
		1200	1.00	.879	.757	.636	.514	.393
		≥ 1700	1.00	.840	.681	.521	.362	.202
	.40	0	1.00	.970	.940	.910	.880	.850
		50 bajo	1.00	.967	.934	.901	.869	.836
		100	1.00	.964	.929	.893	.857	.821
		200 medio	1.00	.959	.917	.876	.834	.793
		400 alto	1.00	.947	.894	.841	.789	.736
		800	1.00	.924	.849	.773	.697	.621
		1200	1.00	.901	.803	.704	.606	.507
		≥ 1700	1.00	.873	.746	.619	.491	.364
	.60	0	1.00	.970	.940	.910	.880	.850
		50 bajo	1.00	.968	.936	.904	.872	.840
		100	1.00	.966	.932	.899	.865	.831
		200 medio	1.00	.962	.925	.887	.850	.812
		400 alto	1.00	.955	.910	.864	.819	.774
		800	1.00	.940	.879	.819	.758	.698
		1200	1.00	.924	.849	.773	.697	.621
		≥ 1700	1.00	.905	.810	.716	.621	.526
.80	0	1.00	.970	.940	.910	.880	.850	
	50 bajo	1.00	.969	.938	.907	.876	.845	
	100	1.00	.968	.936	.904	.872	.840	
	200 medio	1.00	.966	.932	.899	.865	.831	
	400 alto	1.00	.962	.925	.887	.850	.812	
	800	1.00	.955	.910	.864	.819	.774	
	1200	1.00	.947	.894	.841	.789	.736	
	≥ 1700	1.00	.938	.875	.813	.750	.688	
1 y 4	1.0	0	1.00	.970	.940	.910	.880	.850
7	-	0	1.00	.873	.846	.819	.792	.765
		50 bajo	1.00	.868	.836	.805	.773	.741
		100	1.00	.863	.827	.790	.754	.717
		200 medio	1.00	.854	.808	.762	.716	.670
		400 alto	1.00	.835	.770	.705	.640	.575
		800	1.00	.797	.694	.590	.487	.384
		1200	1.00	.759	.617	.476	.337	.194
		≥ 1700	1.00	.711	.522	.333	.144	.050

Información complementaria Tabla 13.

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

Caso 1.- Carril exclusivo con fase protegida.

Caso 2.- Carril exclusivo fase permitida.

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

Caso 4.- Carril compartido con fase protegida.

Caso 5.- Carril compartido fase permitida.

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

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

Tabla 14 Factor de ajuste por giros a la izquierda f_{LT} .

CASO	TIPO DE GRUPO DE CARRILES	FACTOR DE GIRO A LA IZQUIERDA, f_{LT}						
1	Carril exclusivo MI Fase protegida	0.95						
2	Carril exclusivo MI Fase permitida	Procedimiento especial; Hoja de trabajo figura 10 o figura 11.						
3	Carril exclusivo MI Fase protegida y permitida	Aplique caso 1 para fase protegida Aplique caso 2 para fase permitida.						
4	Carril compartido MI Fase protegida	$f_{LT} = 1.00 / (1.0 + 0.05 P_{MI})$						
		Prop. de MI en Carril P_{MI}	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		Factor	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95
5	Carril compartido MI Fase permitida	Procedimiento especial; ver hoja de trabajo, figura 10 o figura 11.						
6	Carril compartido MI Fase protegida y permitida	$f_{LT} = (1.400 - V_O) / [1.400 - V_O + (235 + 0.435 V_O P_{MI})] V_O \leq 1.220 \text{ v/hr}$ $f_{LT} = 1 / [1 + 4.525 P_{MI}] : V_O > 1.220 \text{ v/hr.}$						
		Volumen sentido Opuesto, V_O	Prop. de giros a la izquierda P_{MI}					
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.86	
	200	1.00	0.95	0.90	0.86	0.82	0.78	
	400	1.00	0.92	0.85	0.80	0.75	0.70	
	600	1.00	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61	
	800	1.00	0.83	0.71	0.62	0.55	0.49	
	1000	1.00	0.74	0.58	0.48	0.41	0.36	
	1200	1.00	0.55	0.38	0.29	0.24	0.20	
	>1220	1.00	0.52	0.36	0.27	0.22	0.18	

MI Movimiento a la Izquierda.

P Proporción.

Tabla 15. Demora uniforme (d_1), factor de ajuste (DF).

Factor de ajuste por tipo de control (CF)						
Tipo de control	Intersecciones no sincronizadas			Intersecciones sincronizadas		
Fijo (ningun grupo de carriles actuado).	1.0			PF utilizar área inferior.		
Semiactuado.	0.85			PF utilizar área inferior.		
Algún acceso actuado	0.85			Trátese como semiactuado		
Ningún acceso actuado.	0.85					
Todos los accesos actuados	0.85					
Factor de ajuste por sincronía (PF)						
PF = $(1-P)f_p/(1-g/C)$ (ver nota)						
Relación de verde (g/C)	Tipo de llegada					
	1	2	3	4	5	6
0.20	1.167	1.007	1.00	1.000	0.833	0.750
0.30	1.286	1.063	1.00	0.986	0.714	0.571
0.40	1.445	1.136	1.00	0.895	0.555	0.333
0.50	1.667	1.240	1.00	0.767	0.333	0.000
0.60	2.001	1.365	1.00	0.576	0.000	0.000
0.70	2.556	1.653	1.00	0.256	0.000	0.000
Asignado, f_p .	1.000	0.93	1.00	1.150	1.000	1.000
Asignado, R_p	0.333	.667	1.00	1.333	1.667	2.000
Calibración por demora incremental, m.	8	12	16	12	8	4

Nota:

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

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

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

Tabla 16. Equivalencias de vehículos de frente, E_{L1} , para vueltas izquierdas.

No. de fases del semáforo	Tipo de Carril de Vuelta izquierda.	No. de Carriles en el sentido opuesto	Flujo Opuesto, V_{op}						
			0	200	400	600	800	1000	≥ 1200
2	Compartido	1	1.05	2.0	3.3	6.5	16.0*	16.0*	16.0*
		2	1.05	1.9	2.6	3.6	6.0	16.0*	16.0*
		≥ 3	1.05	1.8	2.5	3.4	4.5	6.0	16.0*
	Exclusivo	1	1.05	1.7	2.6	4.7	10.4*	10.4*	10.4*
		2	1.05	1.6	2.2	2.9	4.1	6.2	10.4*
		≥ 3	1.05	1.6	2.1	2.8	3.6	4.8	10.4*
Mas de 2	Compartido	1	1.05	2.2	4.5	11.0*	11.0*	11.0*	11.0*
		2	1.05	2.0	3.1	4.7	11.0*	11.0*	11.0*
		≥ 3	1.05	2.0	2.9	4.2	6.0	11.0*	11.0*
	Exclusivo	1	1.05	1.8	3.3	8.2*	8.2*	8.2*	8.2*
		2	1.05	1.7	2.4	3.6	5.9	8.2*	8.2*
		≥ 3	1.05	1.7	2.4	3.3	4.6	6.8	8.2*

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

V.4. Ejemplo de cálculo

V.4.1. Ejemplo

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

Descripción: la figura 14, que es el módulo de entrada muestra la intersección de Av. Churubusco con la Av. Ruiz Cortines, en la Cd. de Monterrey, N.L., siendo una intersección de grandes dimensiones, con un sistema de semáforo de 4 fases de tiempo fijo con un ciclo de 120 segundos.

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

Los datos necesarios para este análisis, son:

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

Solución:

a) ***Módulo de Entrada.***

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

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

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

$$Gp \text{ (Av. R. Cortines)} = 7.0 + \frac{69}{4.0} - 3 = 22 \text{ seg.}$$

$$Gp \text{ (Av. Churubusco)} = 7.0 + \frac{51}{4} - 3 = 17.0 \text{ seg.}$$

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

El ciclo del semáforo se muestra en la parte inferior de la figura 14. con un plan de 4 fases, con 27 segundos para el sentido hacia el norte, 32 segundos para el sentido hacia el sur (Av. Churubusco), 22 segundos para el sentido hacia el este y 27 segundos para el acceso del sentido hacia el oeste. Resultando un ciclo de 120 segundos.

b) Módulo de Ajuste de Volúmenes.

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

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

De la tabla 6, se selecciona el factor de utilización de carril (U), en la columna 10 se calcula la intensidad ajustada (multiplicar columna 9 por 7), y en la columna 11 se calcula la proporción de vueltas a la izquierda o derecha según sea el caso.

c) *Módulo de Intensidad de Saturación.*

La figura 18, muestra el formulario para el Módulo del flujo de saturación. En la columna 2 de este módulo se repiten las descripciones de los grupos de carriles. Se asume como intensidad de saturación ideal el valor de 1900 veh/hr/carril. La

columna 4, indica el número de carriles, las demás columnas son:

- Columna 5. Factor por ancho de carril (f_w) este se obtiene de la tabla 7 en este caso todos los carriles miden 3.3 mts en promedio, entonces $f_w = 0.97$.
- Columna 6. Factor por vehículos pesados (f_{HV}), se obtiene de la tabla 8, por la Av. Ruiz Cortines, el acceso este, es del 8% le corresponde un $f_{HV} = 0.926$, el oeste tiene un 2%, le corresponde un $f_{HV} = 0.98$, la Av. Churubusco en el acceso norte presenta un 5%, el $f_{HV} = 0.953$, el acceso sur presenta el 7%, le corresponde un $f_{HV} = 0.935$
- Columna 7. Factor por pendiente (inclinación de la rasante, (f_g) se selecciona de la tabla 9, para los accesos de la Av. Ruiz Cortines la pendiente es 1%, correspondiéndole un $f_g = 0.995$, la Av. Churubusco presenta un 2%, correspondiéndole $f_g = 0.99$

- Columna 8. Factor por estacionamiento (f_p) se obtiene de la tabla 10, siendo 1 para la mayoría de los accesos, a excepción del acceso rumbo al norte (RN) que presenta 20 veh. estacionados /hr, le corresponde un $f_p=0.80$.
- Columna 9. Factor por bloqueo de autobuses (f_{bb}), se obtiene de la tabla 11., solamente sobre la Av. Churubusco se presentó este efecto, con 20 paradas de autobuses por hora correspondiendo un f_{bb} de 0.94 para el sentido rumbo al norte (RN) y $f_{bb}=0.98$, para el sentido hacia el sur (RS).
- Columna 10. Factor por tipo de área (f_a), se obtiene de la tabla 12, siendo $f_a=1.0$, ya que la intersección se encuentra fuera del centro de la ciudad.
- Columna 11. Factor de movimiento hacia la derecha (f_{RT}) se obtiene de la tabla 13, dependiendo el uso de los carriles y de el número de peatones para cada grupo de carril.
- Columna 12. Factor de movimiento hacia la izquierda (f_{LT}) depende del uso del carril y del porcentaje de vueltas a la izquierda, tabla 14.
- Columna 13. Intensidad de saturación ajustada (S) este se obtiene multiplicando todos los factores de ajuste por la intensidad de saturación ideal y por el número de carriles.

d) Módulo de Análisis de Capacidad.

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

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

$$\begin{aligned}\Sigma(V/S) &= 0.133 + 0.23 + 0.243 + 0.199 \\ \Sigma(V/S) \text{ críticos} &= 0.805\end{aligned}$$

Este valor se coloca en la sección inferior del módulo.

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

$$g/c \text{ (Av. Ruiz Cortines hacia el este)} = \frac{22}{120} = 0.183$$

$$g/c \text{ (Av. Ruiz Cortines hacia el oeste)} = \frac{27}{120} = 0.225$$

$$g/c \text{ (Av. Churubusco hacia el norte)} = \frac{27}{120} = 0.225$$

$$g/c \text{ (Av. Churubusco hacia el sur)} = \frac{32}{120} = 0.267$$

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

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

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

$$X_c = \frac{0.805(120)}{120 - 12}$$

$$X_c = 0.894$$

e) *Módulo de Nivel de Servicio*

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

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

Calculando d_1 para todos los grupos de carriles:

$$d_1(RE,1) = 0.38(120)(1 - 0.183)^2 / (1 - (0.183)(0.241)) = 31.8 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RE,2) = 0.38(120)(1 - 0.183)^2 / (1 - (0.183)(0.726)) = 35.1 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RO,1) = 0.38(120)(1 - 0.225)^2 / (1 - (0.225)(0.992)) = 35.3 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RO,2) = 0.38(120)(1 - 0.225)^2 / (1 - (0.225)(1.02)) = 35.5 \text{ seg/veh.}$$

$$d_1(RN,1) = 0.38(120)(1 - 0.225)^2 / (1 - (0.225)(1.078)) = X > 1.06^{**}$$

$$d_2(RN,2) = 0.38(120)(1 - 0.225)^2 / (1 - (0.225)(1.031)) = 35.7 \text{ seg/veh}$$

$$d_3(RN,3) = 0.38(120)(1 - 0.225)^2 / (1 - (0.225)(0.668)) = 32.2 \text{ seg/veh}$$

$$d_4(RS,1) = 0.38(120)(1 - 0.267)^2 / (1 - (0.267)(0.24)) = 26.2 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RS,2) = 0.38(120)(1 - 0.267)^2 / (1 - (0.267)(0.747)) = 30.6 \text{ seg/veh}$$

** No es recomendable calcular d_1 , ya que $v/c(X)$ es mayor que 1.2 o mayor que $1/FHP$ (1.06).

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

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

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

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

$$d_2(RE,1) = 0.0 \text{ seg / veh } (X = 0.241, c = 590, m = 16)$$

$$d_2(RE,2) = 2.9 \text{ seg / veh } (X = 0.726, c = 621, m = 16)$$

$$d_2(RO,1) = 33.3 \text{ seg / veh } (X = 0.992, c = 384, m = 16)$$

$$d_2(RO,2) = 29.8 \text{ seg / veh } (X = 1.02, c = 784, m = 16)$$

$$d_2(RN,1) = X = 1.078 > 1.06 \quad **$$

$$d_2(RN,2) = 25.4 \text{ seg / veh } (X = 1.031, c = 1565, m = 16)$$

$$d_2(RN,3) = 4.7 \text{ seg / veh } (X = 0.668, c = 241, m = 16)$$

$$d_2(RS,1) = 0 \text{ seg / veh } (X = 0.24, c = 865, m = 16)$$

$$d_2(RS,2) = 1.2 \text{ seg / veh } (X = 0.747, c = 1785, m = 16)$$

** No es recomendable calcular la demora ya que v/c es mayor que 1.2 ó mayor que $1/FHP$ (1.06).

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

$$\text{Demora } (RE,1) = 31.9(1) + 0 = 31.9 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora } (RE,2) = 35.1(1) + 2.9 = 38 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora (RO,1)} = 35.3(1) + 33.3 = 68.6 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora (RO,2)} = 35.5(1) + 29.8 = 65.3 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora (RN,1)} = X > 1.06 (1/\text{FHP})^{**}$$

$$\text{Demora (RN,2)} = 35.7(1) + 25.4 = 61.1 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora (RN,3)} = 32.2(1) + 4.7 = 36.9 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora (RS,1)} = 26.2(1) + 0 = 26.2 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora (RS,2)} = 30.6(1) + 1.2 = 31.8 \text{ seg/veh}$$

La columna 11, se describen los niveles de servicio por grupo de carril, utilizando la demora total (columna 10) con la tabla 2.

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

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

$$\text{Dem RE} = \frac{31.8(142) + 38(451)}{142 + 451} = 36.5 \text{ seg./v}$$

$$\text{Dem RO} = \frac{68.6(381) + 65.3(801)}{381 + 801} = 66.4 \text{ seg./v}$$

$$\text{Dem RN} = X > 1.06 (1/\text{FHP})^{**}$$

$$\text{Dem RS} = \frac{26.2(208) + 31.8(1334)}{208 + 1334} = 31.0 \text{ seg./v}$$

Comparando estas demoras en la tabla 2, se establece el Nivel de Servicio por acceso y se coloca en la columna 13.

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

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

por vehículo

Las ecuaciones 34 y 35, proporcionan resultados razonables para valores X entre 0.0 y 1.0. Cuando se produce la sobre saturación durante largos periodos (> de 15 minutos), es difícil estimar la demora con exactitud, pues las filas pueden excederse hasta alcanzar las intersecciones adyacentes. Las ecuaciones pueden utilizarse para valores de X de hasta 1.2 ó 1/FHP, pero no se recomienda para valores de X superiores a lo anterior. La sobresaturación es decir $X > 1.0$, es una situación no deseable que debe mejorarse si es posible.

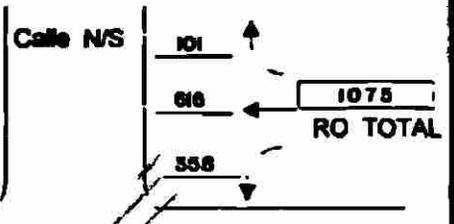
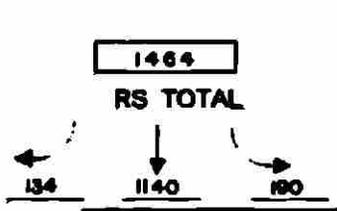
Al no ser recomendable calcular la demora en la intersección le corresponde un Nivel de Servicio "F", puede deducirse que los accesos críticos son el rumbo al Oeste (RO), ya que su relación $v/c = 1.02$, y el acceso rumbo al Norte (RN) con una relación $v/c = 1.078$, es decir, sobre pasan la capacidad, los demás accesos su relación v/c es aceptable aunque el nivel de servicio presentado es "D".

Observando estos resultados se pueden sugerir algunas medidas para mejorar el nivel de servicio de la intersección, esto puede ser: una longitud del ciclo apropiada, así como sus fases, mejoras en los radios de giro para las vueltas derechas, proponer una nueva distribución de carriles, prohibición de algunos movimientos de vuelta izquierda, etc.

MODULO DE ENTRADA

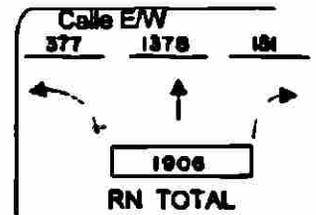
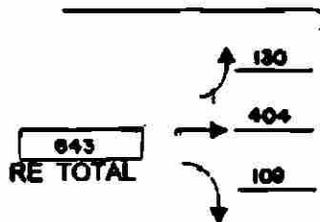
Intersección: Av. Churubusco con Av. Ruz Cortines Fecha: 9-Sep-97
 Analista: _____ Período Analizado 7:45-8:45 Tipo de Área CBD Otro
 Proyecto No. 1 Ciudad/Estado Monterrey, N.L.

Geometría y Volumen



Identificar en el Diagrama

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



CONDICIONES GEOMETRICAS Y DE LA CIRCULACION

ACCESO	PENDIENTE (%)	% HV	Carril de Estacionamiento Adyacente		Autobús (NB)	FHP	Conflicto Peatonal (pea/hr.)	Semáforo Para Peatones		Tipo de Arribe
			S o N	Nm				S o N	Tiempo Min.	
RE	1	8	N	0	0	0.94	50	N	40.8	3
RO	1	2	N	0	0	0.94	50	N	40.8	3
RN	2	5	S	20	16	0.94	50	N	27.0	3
RS	2	7	N	0	15	0.94	50	N	27.0	3

Pendiente: + ascendente - descendente
 HV: veh. con más de 4 ruedas.
 Nm: Maniobras de Estación/hr.

N_a = Parada de Autobuses/hr.
 FHP = Factor de Hora Pico.
 Conflicto Peatonal = pea/hr.

Min. Tiempo: Mínimo Verde Para Cruce Peatonal.
 Tipo de arribe: Tipo 1-6

FASES

D I A GRAMA	RN	RE	RS	RO				
Tiempo	V= 27 A+R= 3	V= 22 A+R= 3	V= 32 A+R= 3	V= 27 A+R= 3	V=	A+R=	V=	A+R=
Fijo o Actuado	FIJO							
Vuelta Protegida		Vuelta Permitida		Peatones		Duración del Ciclo <u>120</u> Seg.		

Figura 14 Módulo de Entrada, Ejemplo 1

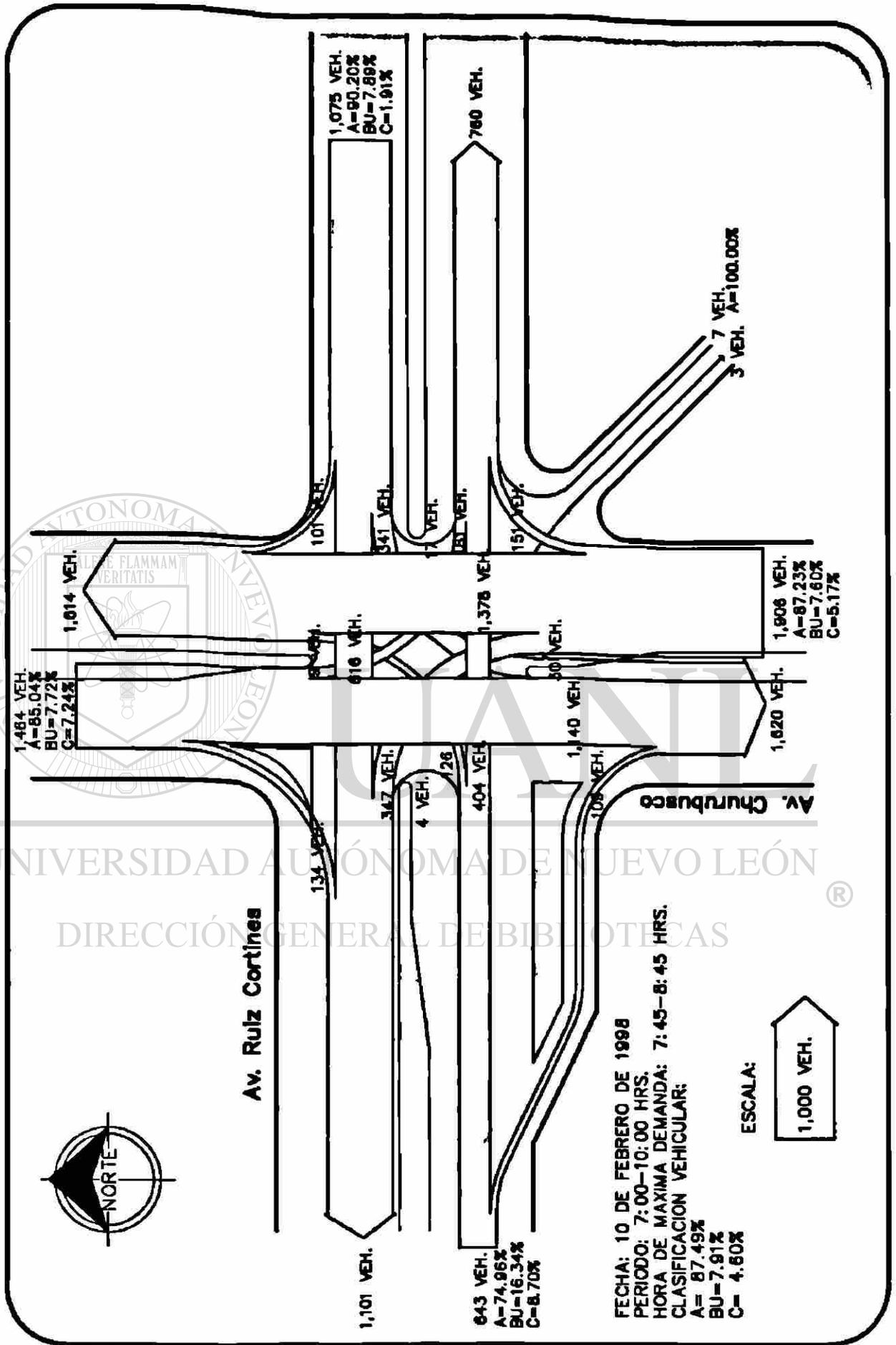


Figura 15. Volúmenes Direccionales, Ejemplo 1

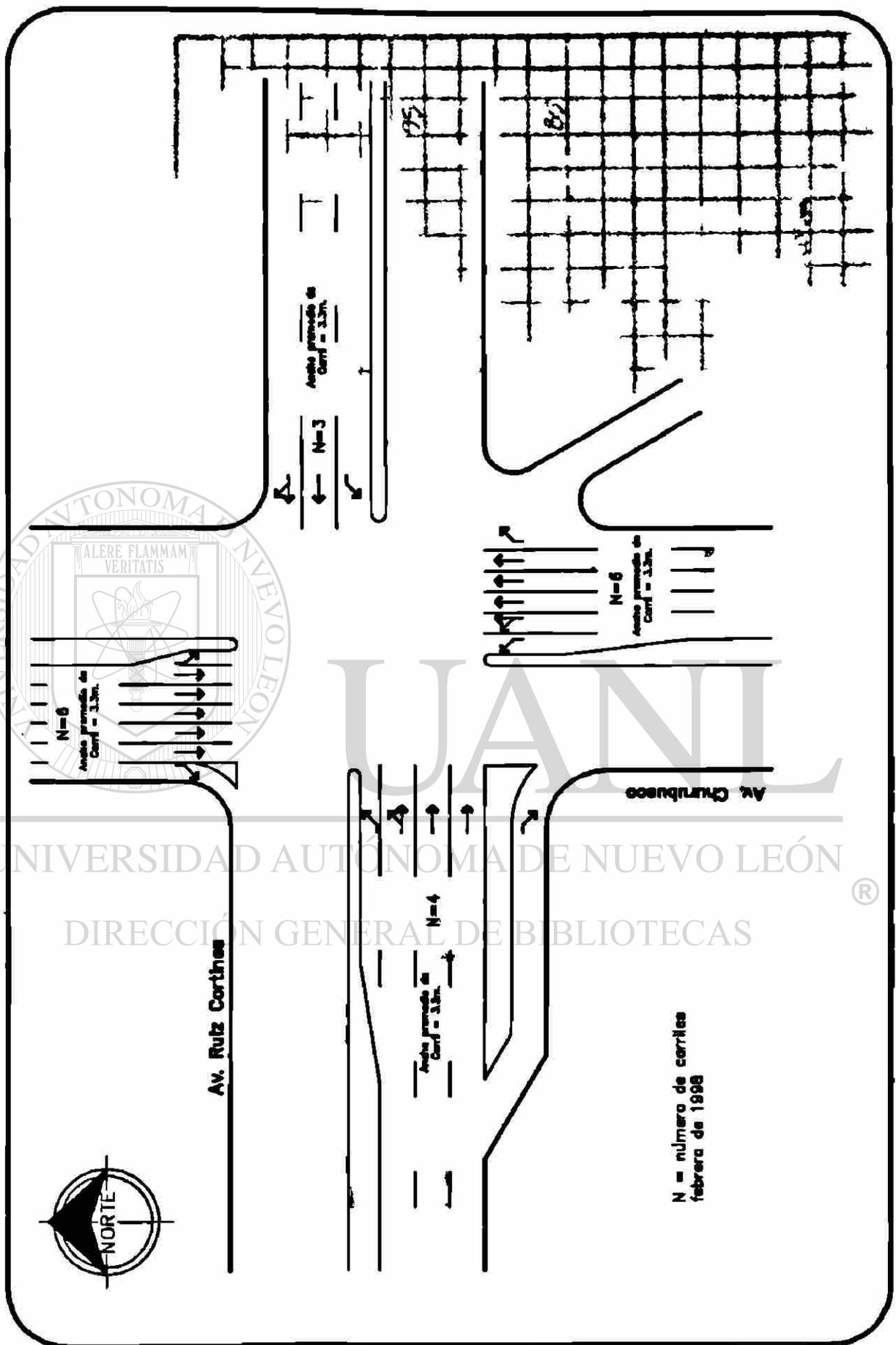
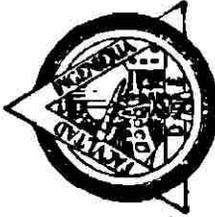


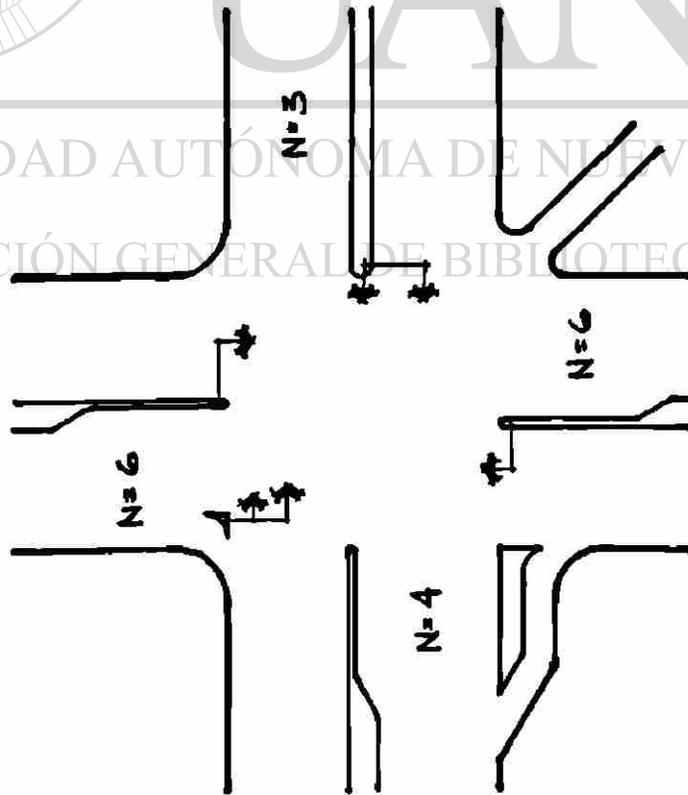
Figura 16 *Inventario Geométrico, Ejemplo 1*

INVENTARIO DE SEMAFOROS



INTERSECCION AV. CHURUBUSCO FECHA DC - 97
 CALLE AV. RUIZ CORTINEZ Y HORA DE 8:00 A 9:00
 CALLE _____

PROGRAMACION DE SEMAFOROS									
FASE	S-1	Y	A	R					
		27	3	90					
FASE 2	S-2								
		22	3	95					
FASE 3	S-3								
		32	3	85					
FASE 4	S-4								
		27	3	90					
TRASLAPSE DE FASE				CICLO = 120 SEG.					
TRASLAPSE DE FASE									
TRASLAPSE DE FASE									
TRASLAPSE DE FASE									



- V LUZ VERDE
- V LUZ VERDE PARA VUELTA IZQUIERDA
- V LUZ INTERMITENTE VERDE
- A ANIBAR
- R LUZ ROJA
- SEMAFORO DE POSTE
- SEMAFORO DE MENSULA
- SEMAFORO PLATONAL



Figura 17.. Inventario de Semáforos, Ejemplo 1

MODULO DE AJUSTES DE VOLUMENES										
1 Acceso	2 Movimiento	3 Volumen Movimiento (vhr)	4 Factor de Hora Pico FHP	5 Intensidad Módulo (vhr) 3+4	6 Grupo de Carriles	7 Intensidad en Carriles de Grupo Vg (vhr)	8 Número de Carriles N	9 Utilización de Carril Factor U Tabla 6	10 Intensidad Ajustada V (vhr) 7x9	11 prop. de LT o RT P.L o P.R
RE	LT Izquierda	130	0.94	138		138	2	1.03	142	LT 1.0-
	TH De frente	404	0.94	430		430	2	1.05	451	
	RT Derecha	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RO	LT Izquierda	358	0.94	381		381	1	1	381	LT 1.0
	TH De frente	616	0.94	655		763	2	1.05	801	RT 0.14
	RT Derecha	101	0.94	107						
RN	LT Izquierda	377	0.94	401		401	1	1.0	401	LT 1.0
	TH De frente	1378	0.94	1466		1466	4	1.10	1613	
	RT Derecha	151	0.94	161		161	1	1.0	161	RT 1.0
RS	LT Izquierda	190	0.94	202		202	2	1.03	208	LT 1.0
	TH De frente	1140	0.94	1213		1213	4	1.10	1334	
	RT Derecha	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 18.. Módulo de Ajuste de Volúmenes, Ejemplo 1

MODULO DEL VALOR DE FLUJO DE SATURACION												
Grupo de Carriles			Factores de Ajuste									13 Intensidad de Saturación ajustada S (valor)
1 Acc.	2 Movimiento de los grupos de carriles	3 Intensidad de Saturación Ideal (valor)	4 No. de Carriles M	5 Ancho de Carril L _w	6 Vehículos Pequeños L _v	7 Peso L _p	8 Estacionam. L _e	9 Bloqueo de Autobuses L _b	10 Tipo de Aven. L _t	11 Glo. Der. L _d	12 Glo. Izq. L _i	
				Tabla 7	Tabla 8	Tabla 9	Tabla 10	Tabla 11	Tabla 12	Tabla 13	Tabla 14	
RE	LT	1900	2	0.97	0.928	0.995	1.0	1.0	1.0	1.0	0.95	3226
	TH	1900	2	0.97	0.928	0.995	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3396
	RT	-	-	-	-	-	-	-	↑	5 ^o	-	7
RO	LT	1900	1	0.97	0.98	0.995	1.00	1.0	1.0	1.0	0.95	1707
	TH	1900	2	0.97	0.98	0.995	1.00	1.0	1.0	0.97	1.00	3496
	RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
RN	LT	1900	1	0.97	0.953	0.99	1.0	1.0	1.0	1.0	0.95	1652
	TH	1900	4	0.97	0.953	0.99	1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	6955
	RT	1900	1	0.97	0.953	0.99	0.80	0.94	1.0	0.82	1.0	1072
RS	LT	1900	2	0.97	0.835	0.99	1.00	1.0	1.0	1.0	0.95	3241
	TH	1900	4	0.97	0.835	0.99	1.00	0.98	1.0	1.0	1.0	6687
	RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 19. Módulo de Flujo de Saturación, Ejemplo 1.

MODULO DE ANALISIS DE CAPACIDAD								
1 Acceso	2 Movimiento de Grupo de Carriles	3 Volumen Ajustado V (veh)	4 Intensidad Saturación Ajustada S (veh)	5 Relación de Intensidades vs SA	6 Relación Tiempo de Verde gC	7 Capacidad Grupo de Carriles C (veh) AsB	8 Relación VC 37 X	9 Grupo de Carriles Crítico (?)
RE		142	3226	0.044	0.183	590	0.241	
		451	3396	0.133	0.183	621	0.726	*
	
RO		381	1707	0.223	0.225	384	0.992	
		801	3486	0.23	0.225	784	1.02	*
	
RN		401	1652	0.243	0.225	372	1.078	*
		1813	6955	0.232	0.225	1565	1.031	
		161	1072	0.15	0.225	241	0.668	
RS		208	3241	0.064	0.267	885	0.24	
		1334	6687	0.199	0.267	1785	0.747	*
	

Duración del Ciclo C = 120 Seg. $\sum (v/s) = \underline{0.805}$ Crítico

Tiempo Perdido por Ciclo L = 12.0 Seg. $x = \frac{\sum (v/s)C}{C - L} = \underline{0.894}$

Figura 20. Módulo de Análisis de Capacidad, Ejemplo 1

MODULO DE NIVEL DE SERVICIO												
Grupo de Carriles		Primera Demora				Segunda Demora			Demora y NS Grupo de Carriles		Demora Total y NS	
Acc.	Mov. de Grupo de Carriles	Relación de X	4 Relación de Verdad gC	5 Demora uniforme d. seg./veh.	6 Ajuste factor CF Tabla 16	7 Capacidad de Grupos de Carriles C (veh)	8 d, col. Período m. Tabla 16	9 Demora incremental d. seg./veh.	10 Demora d. Seg/veh. (2)(4) + (9)	11 M.E. Gps. de Carriles Tabla 2	12 Dem. Acc. (seg/veh)	13 NS Acc. Total Tabla 2
RE	↘	0.241	0.183	31.8	1.0	560	16	0	31.8	D	36.5	D
	→	0.726	0.183	35.1	1.0	621	16	2.9	38.0	D		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RO	↘	0.992	0.225	35.3	1.0	384	16	33.3	68.6	F	68.4	F
	→	1.02	0.225	35.5	1.0	784	16	29.8	65.3	F		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RN	↘	1.078	0.225	*	1.0	372	16	*	*	*	*	*
	→	1.031	0.225	35.7	1.0	1585	16	25.4	61.1	F		
	↘	0.668	0.225	32.2	1.0	241	16	4.7	36.9	D		
RS	↘	0.24	0.267	28.2	1.0	865	16	0	28.2	D	31.0	D
	→	0.747	0.267	30.6	1.0	1785	16	1.2	31.8	D		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Demora en la Intersección * seg./veh							NS de la Intersección * (Tabla 2)					

* no es recomendable calcular las demoras (d), ya que X es mayor que 1.2 o mayor que 1/FHP.

Figura 21. Módulo de Nivel de Servicio, Ejemplo 1.

VI. DETERMINACION DEL MAXIMO VALOR DE FLUJO DE SATURACION EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

VI.1. Estudios de ingeniería de tránsito

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

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

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

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

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

VI.1.1. Inventario Geométrico

Inventarios para Estudios de Tránsito.

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

Inventario de señales:

Consiste en una revisión periódica de su estado de funcionalidad y de los elementos de soporte, según sea el caso.

Señales verticales:

- Ubicación de la señal.
- Tipo de soporte de la señal.
- Posición de la señal en la intersección.
- Fecha de instalación.
- Tipo y tamaño de la señal.

Señales horizontales:

- Línea divisoria de carriles.
- Línea de parada.
- Flecha – vuelta izquierda, vuelta en U.
- Boyas para división de sentido de circulación.
- Pintura de guarnición.
- Etcétera.

A continuación se presentan los croquis de las intersecciones analizadas:

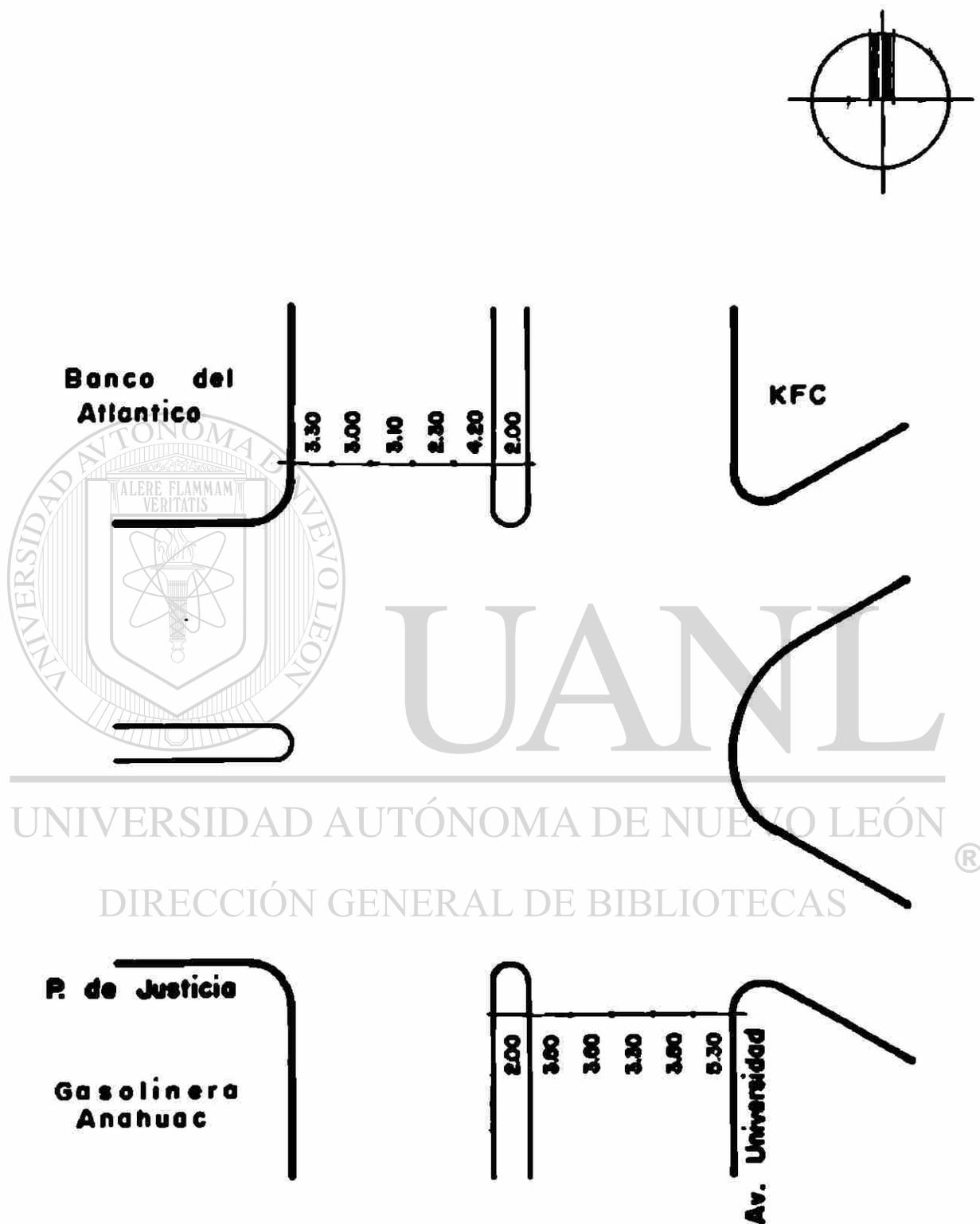


Figura 22 Levantamiento Geométrico. Av. Universidad con Av. Palacio de Justicia, San Nicolás de los Garza, N.L.

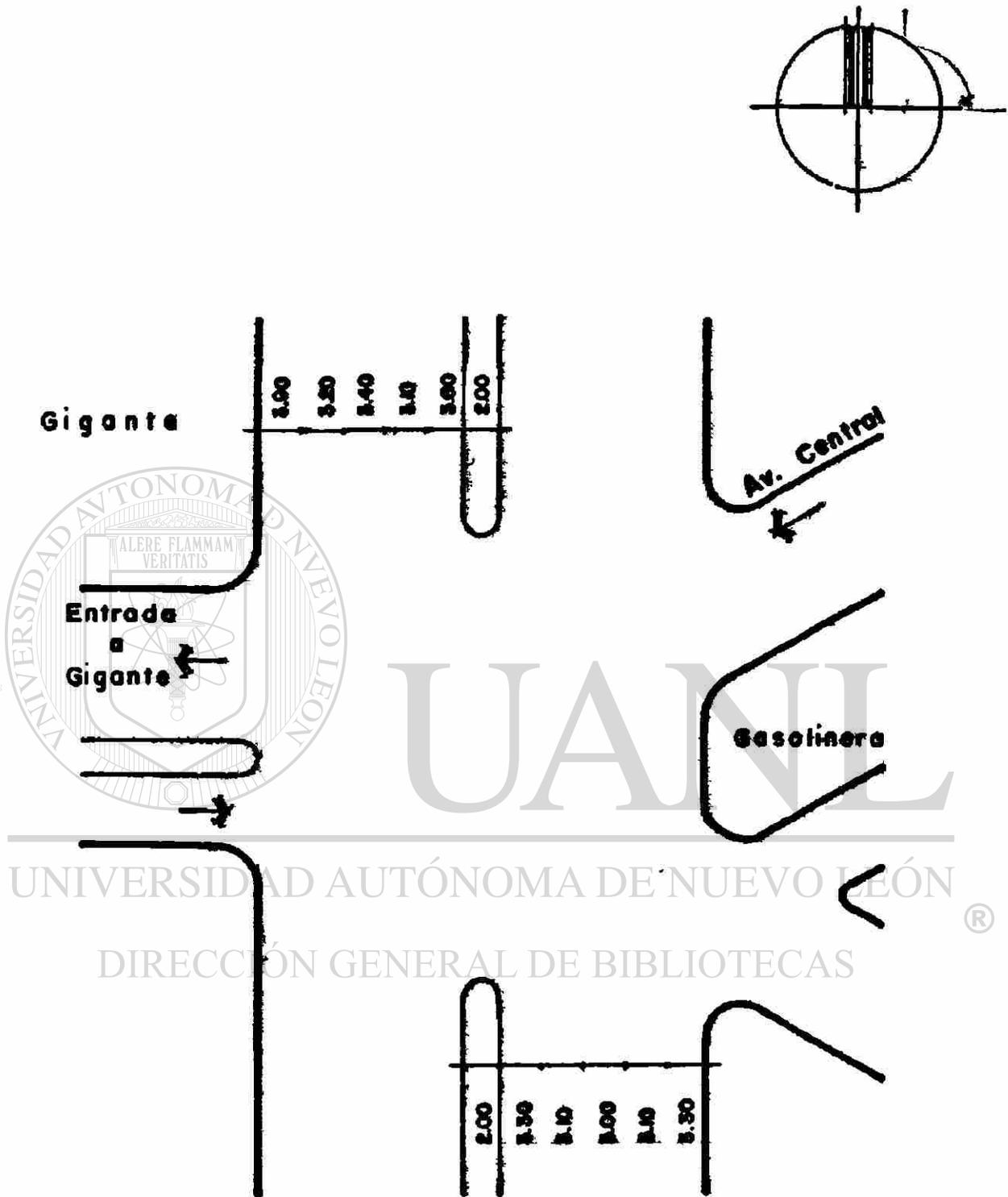


Figura 23 . Levantamiento Geométrico: Av. Universidad con Av. Central, San Nicolás de los Garza, N.L.

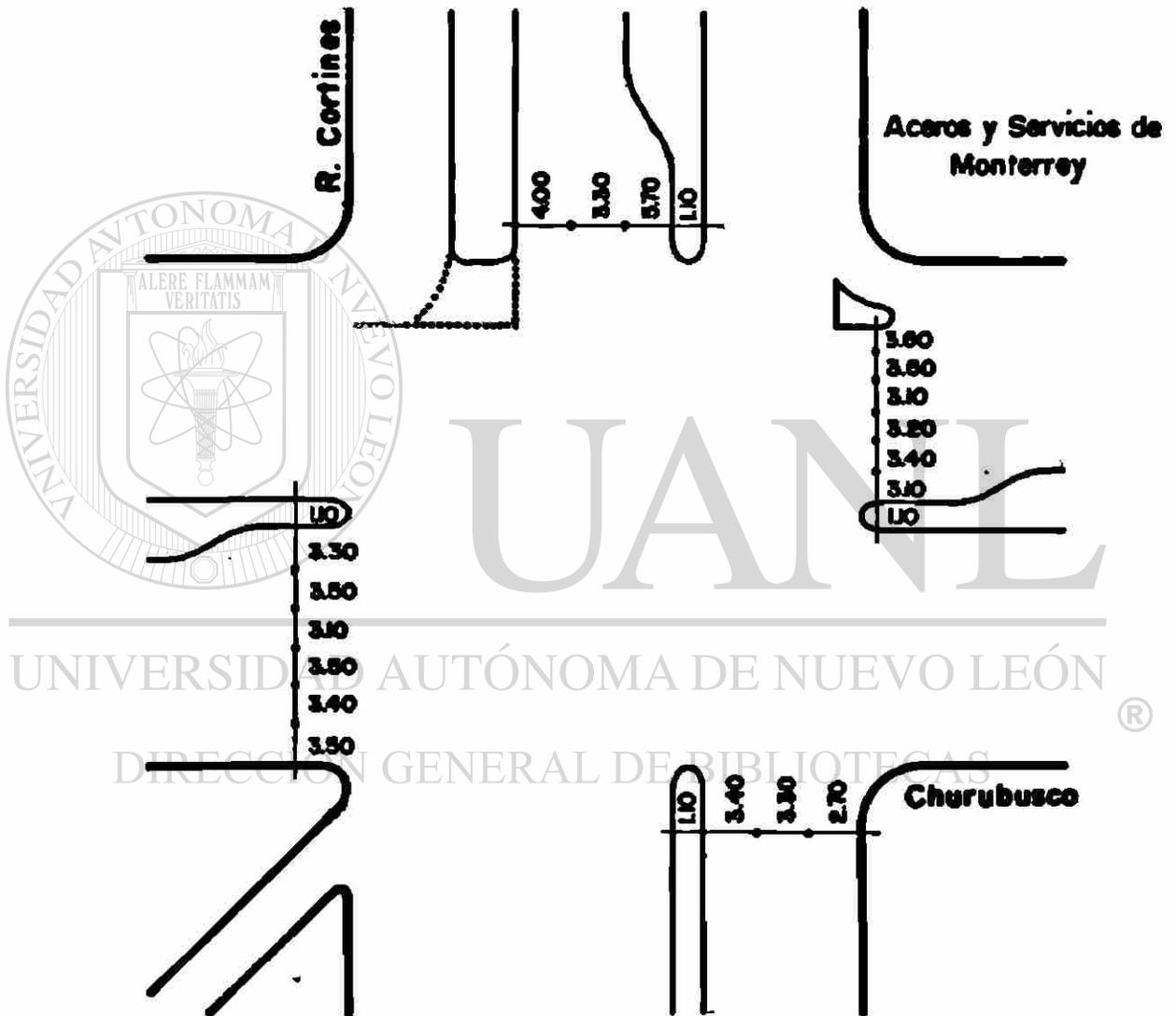
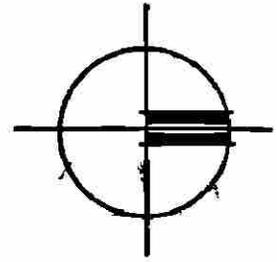


Figura 24. Levantamiento Geométrico: Av. Churubusco con Av. Ruiz Cortines, Monterrey, N.L.

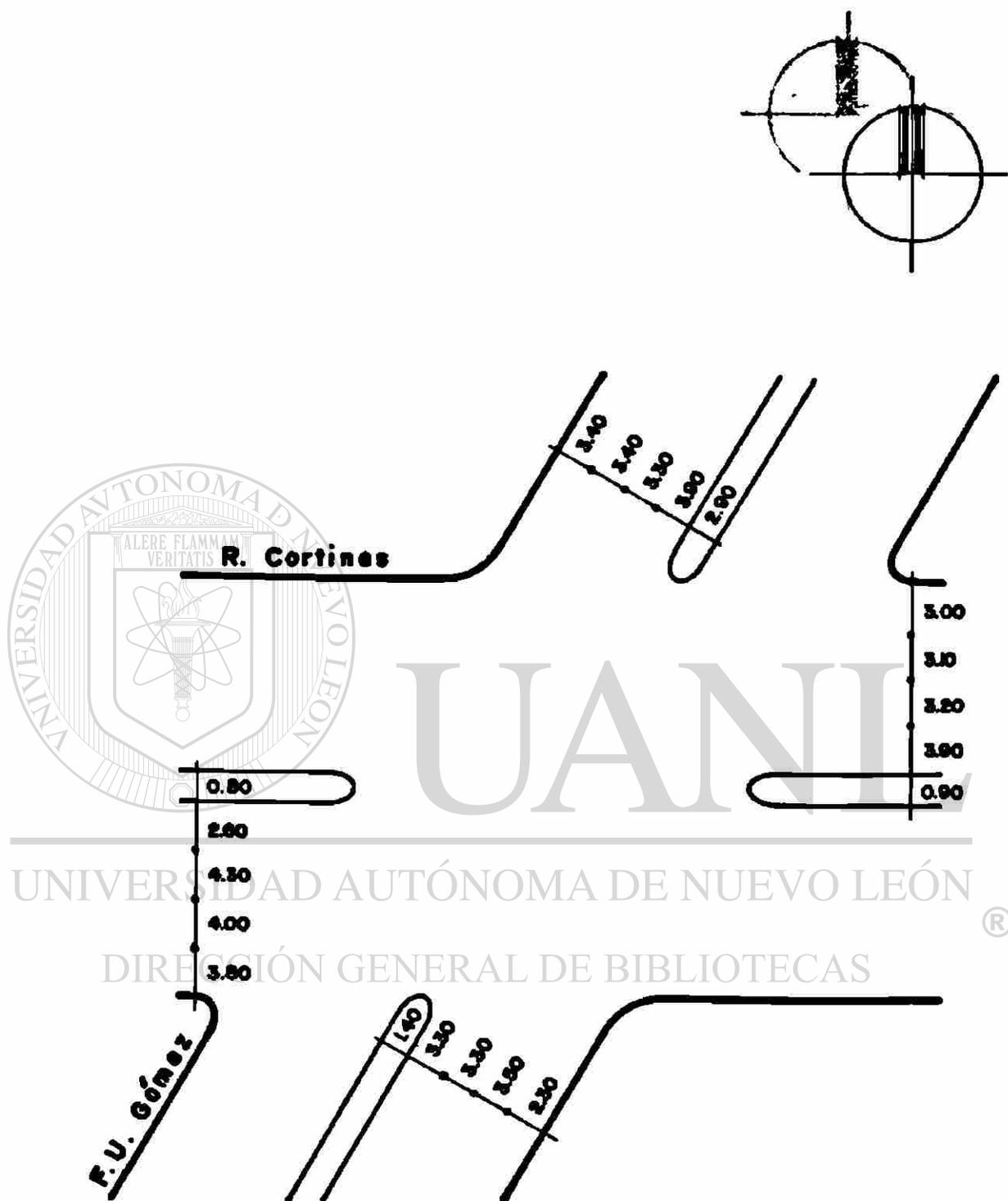


Figura 25. Levantamiento Geométrico: Av. Felix U. Gómez con Av. Ruiz Cortines, Monterrey, N.L.

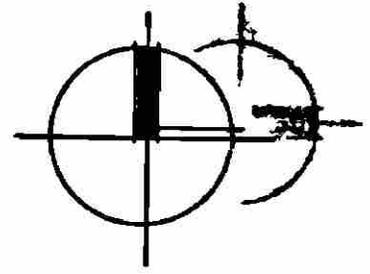


Figura 26. Levantamiento Geométrico: Av. Ruiz Cortines con Av. Guerrero, Monterrey, N.L.

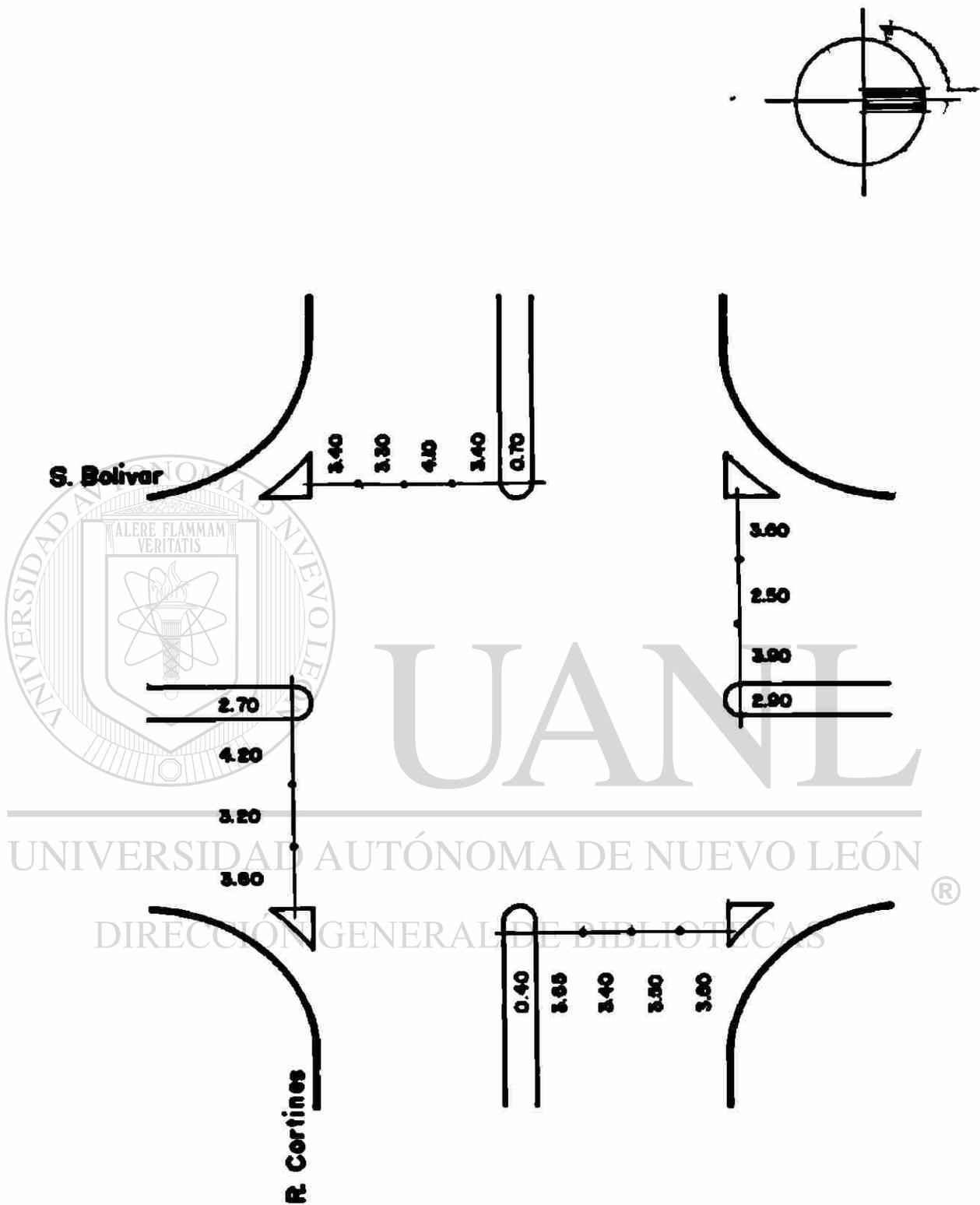


Figura 27. Levantamiento Geométrico: Av. Ruiz Cortines con Av. Simón Bolívar, Monterrey, N.L

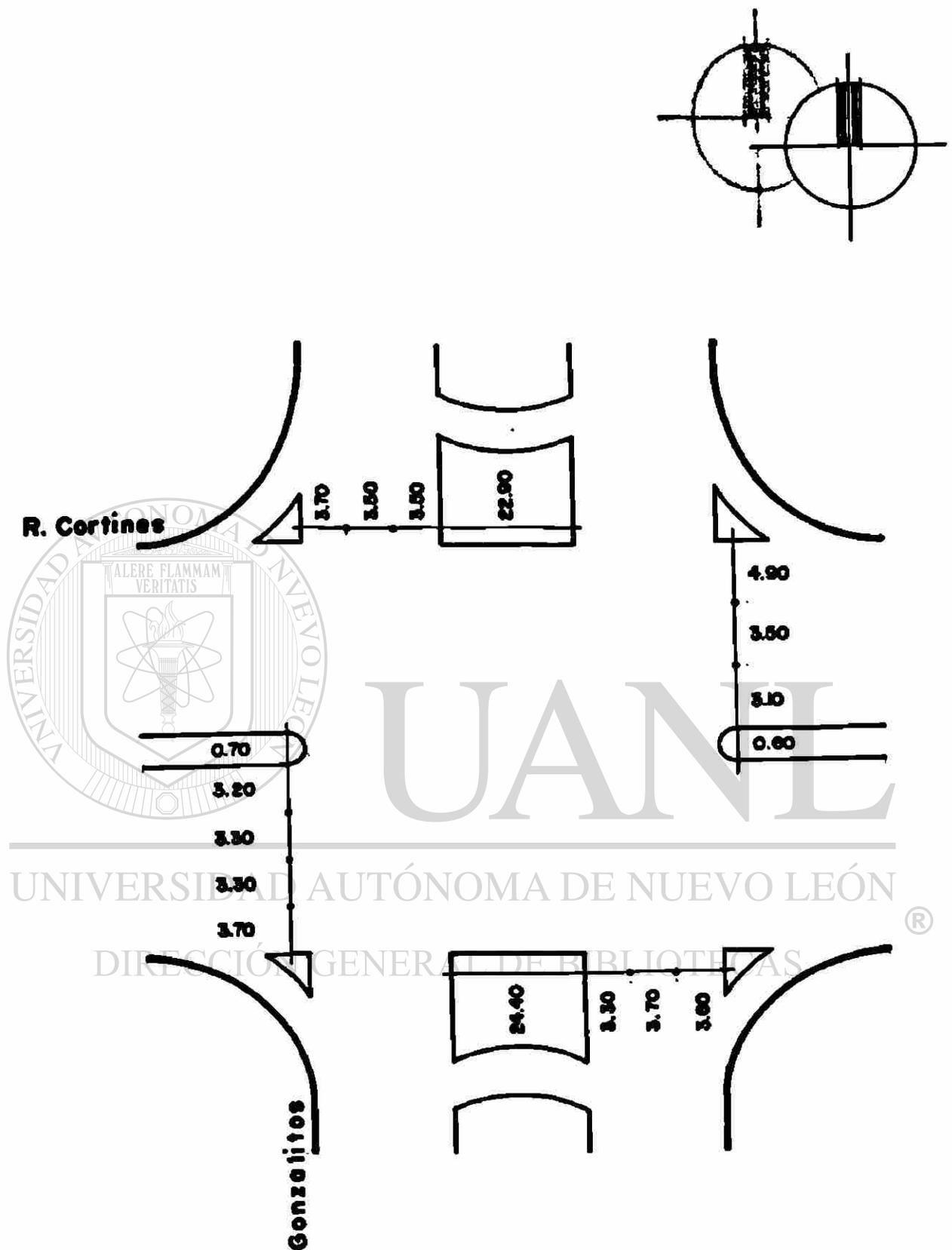


Figura 28. Levantamiento Geométrico: Av. Gonzalitos con Av. Ruiz Cortines, Monterrey, N.L

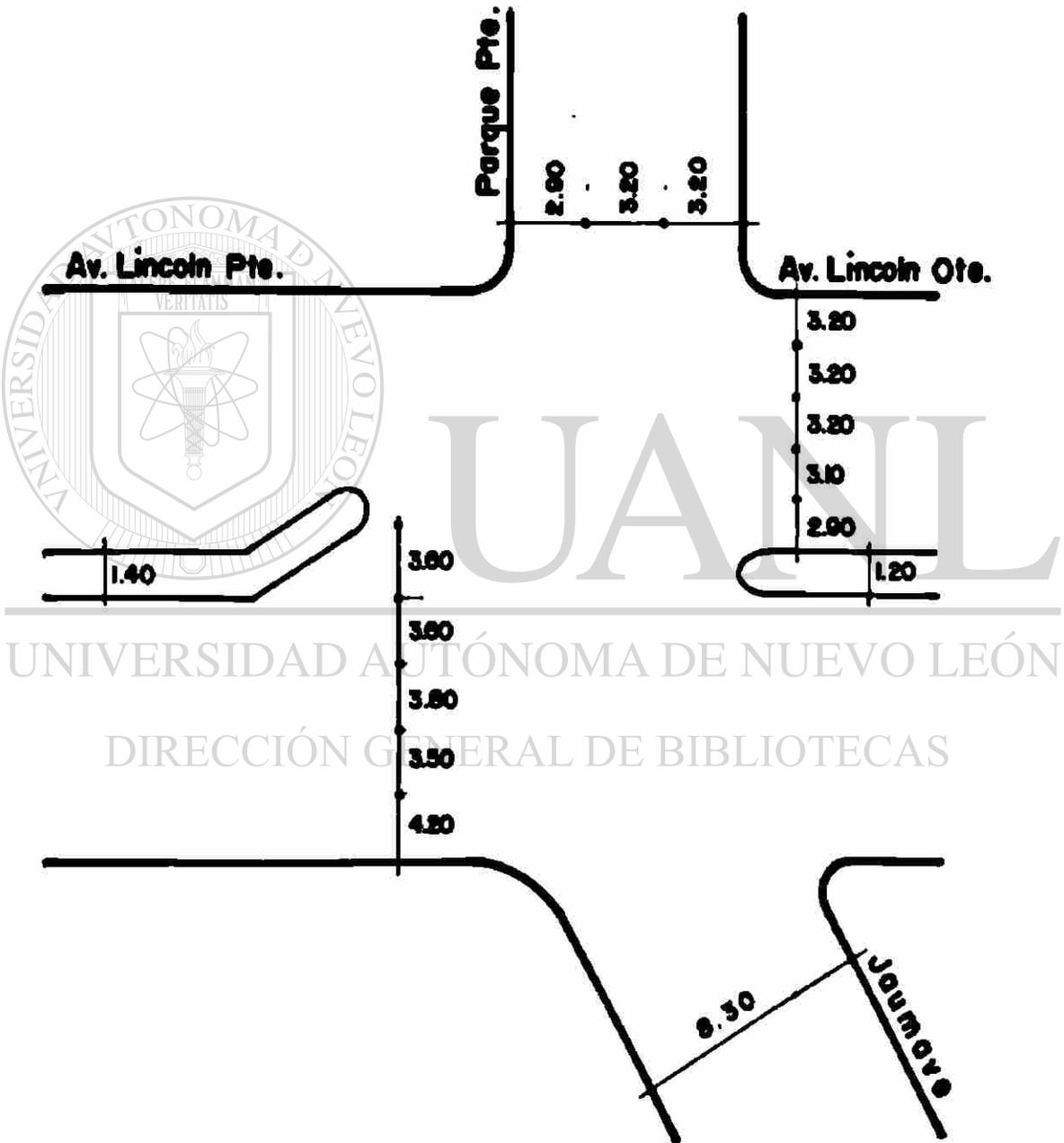
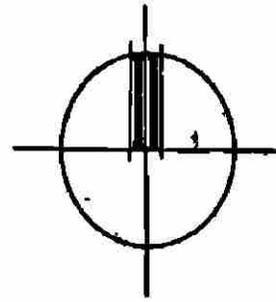


Figura 29. Levantamiento Geométrico: Av. Lincoln con Jaumave, Monterrey, N.L

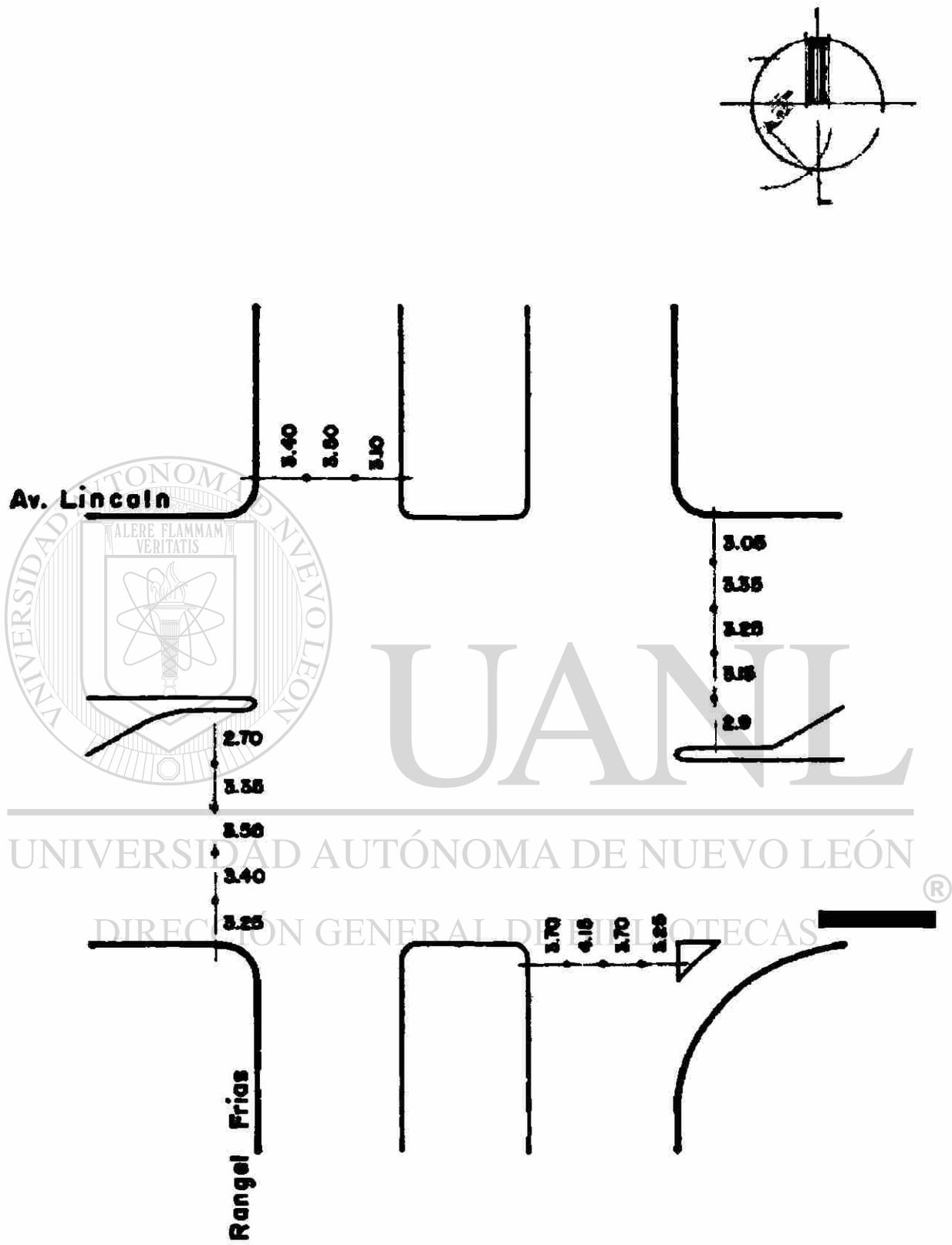


Figura 30. Levantamiento Geométrico: Av. Lincoln con Av. Rangel Frías, Monterrey, N.L

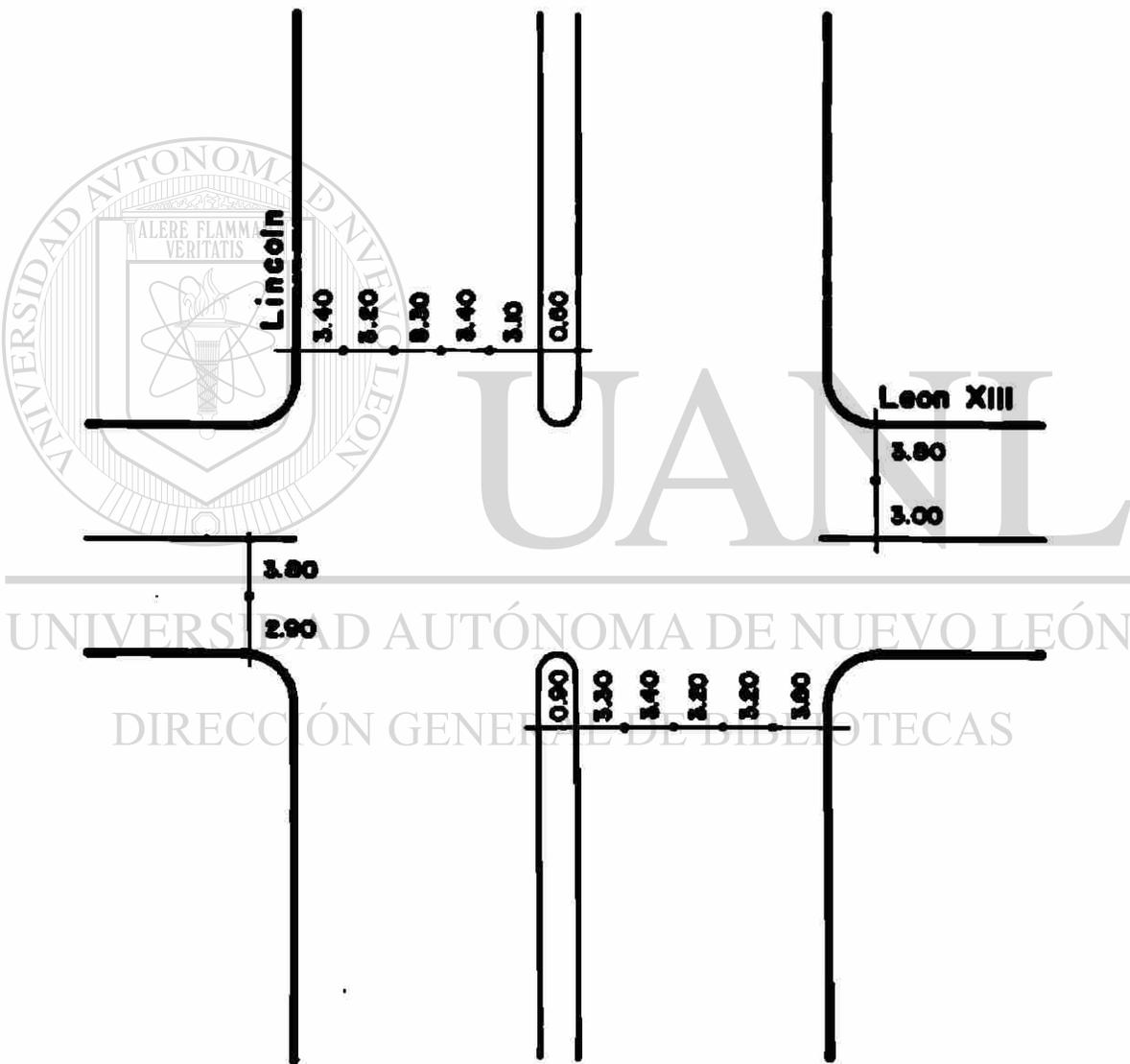


Figura 31. Levantamiento Geométrico: Av. Lincoln con León XIII, Monterrey, N.L.

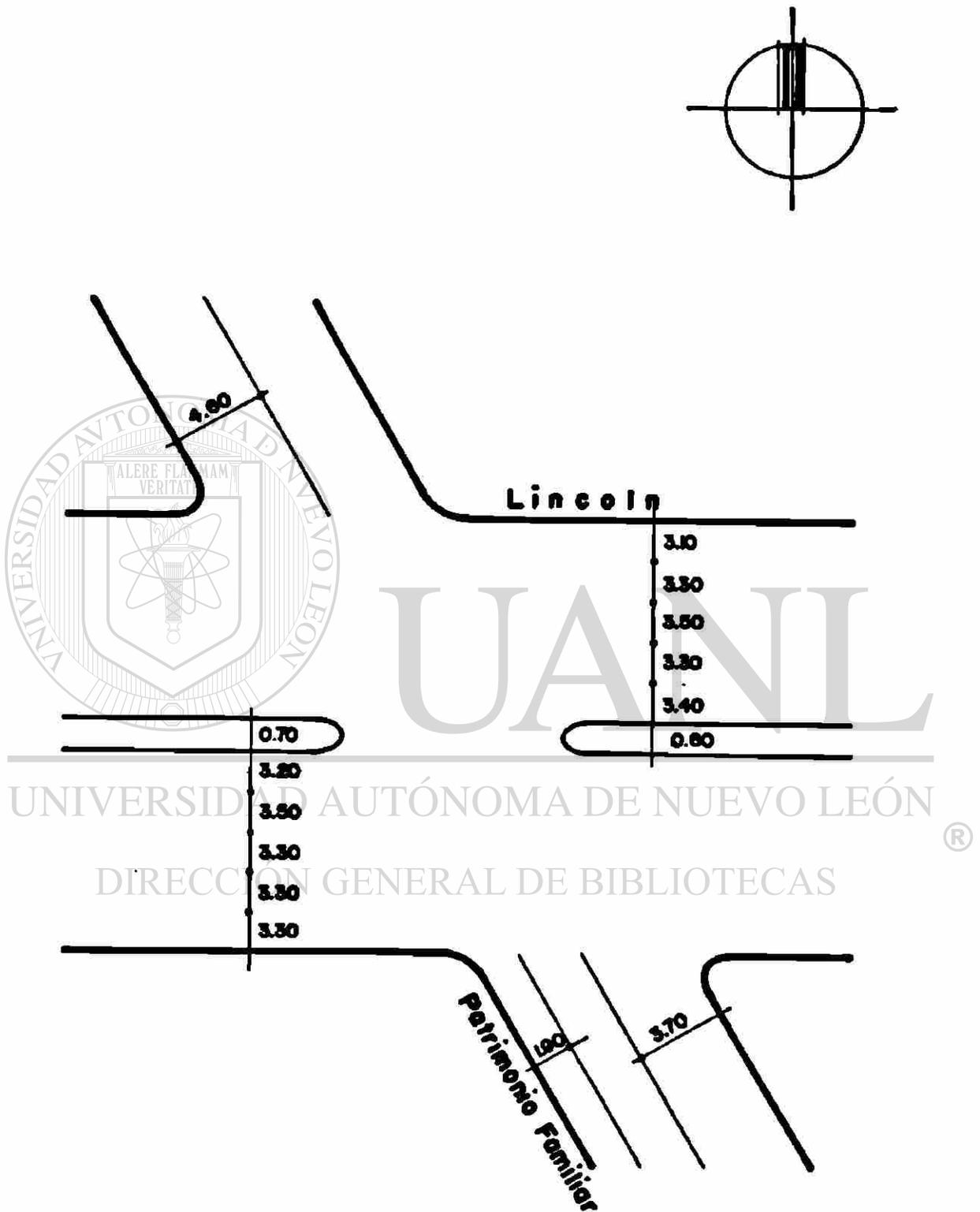


Figura 32. Levantamiento Geométrico: Av. Lincoln con Patrimonio Familiar, Monterrey, N.L

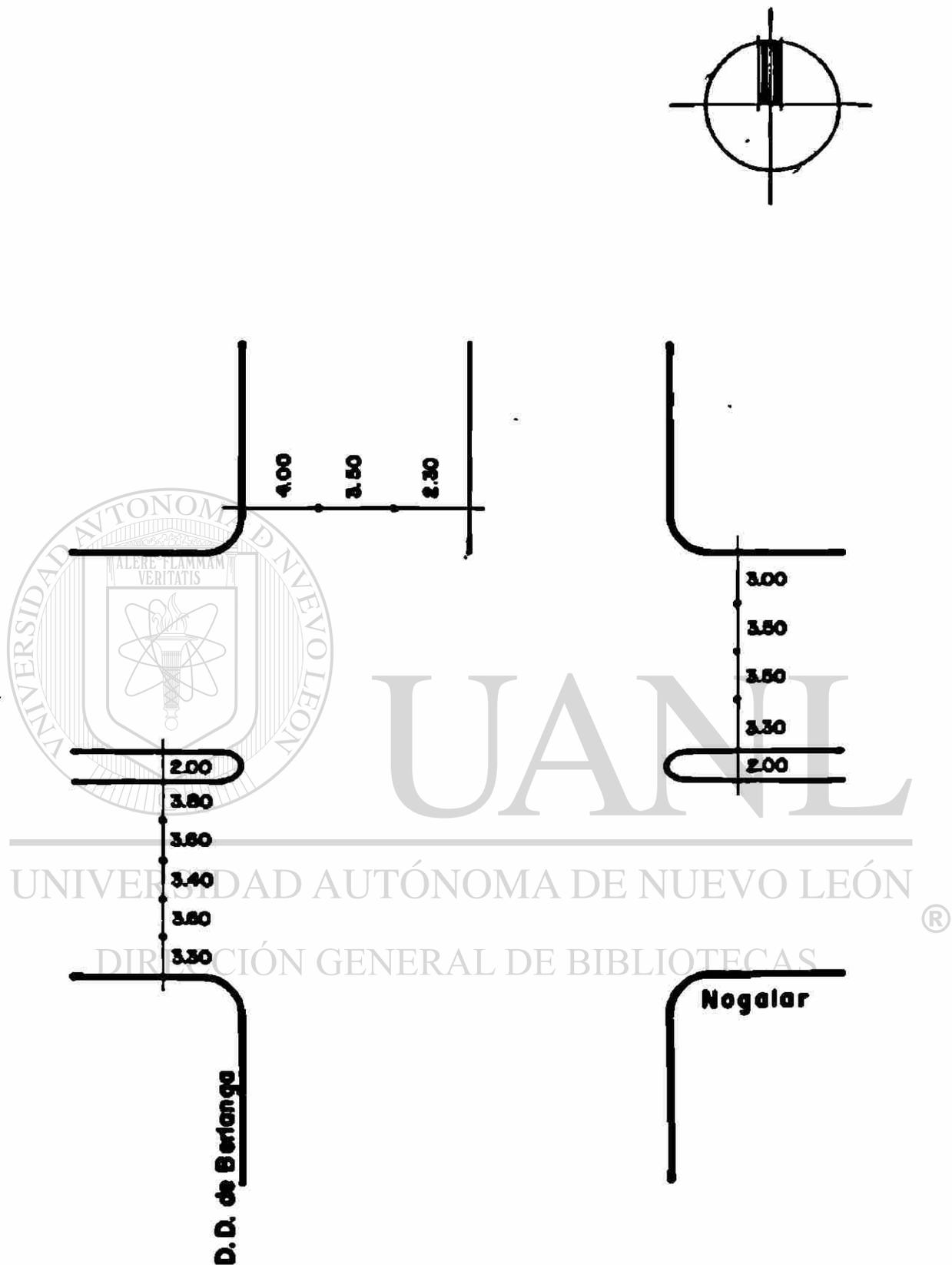


Figura 33. Levantamiento Geométrico: Av. Nogalar con Av. Diego Díaz de Berlanga, San Nicolás de los Garza, N.L

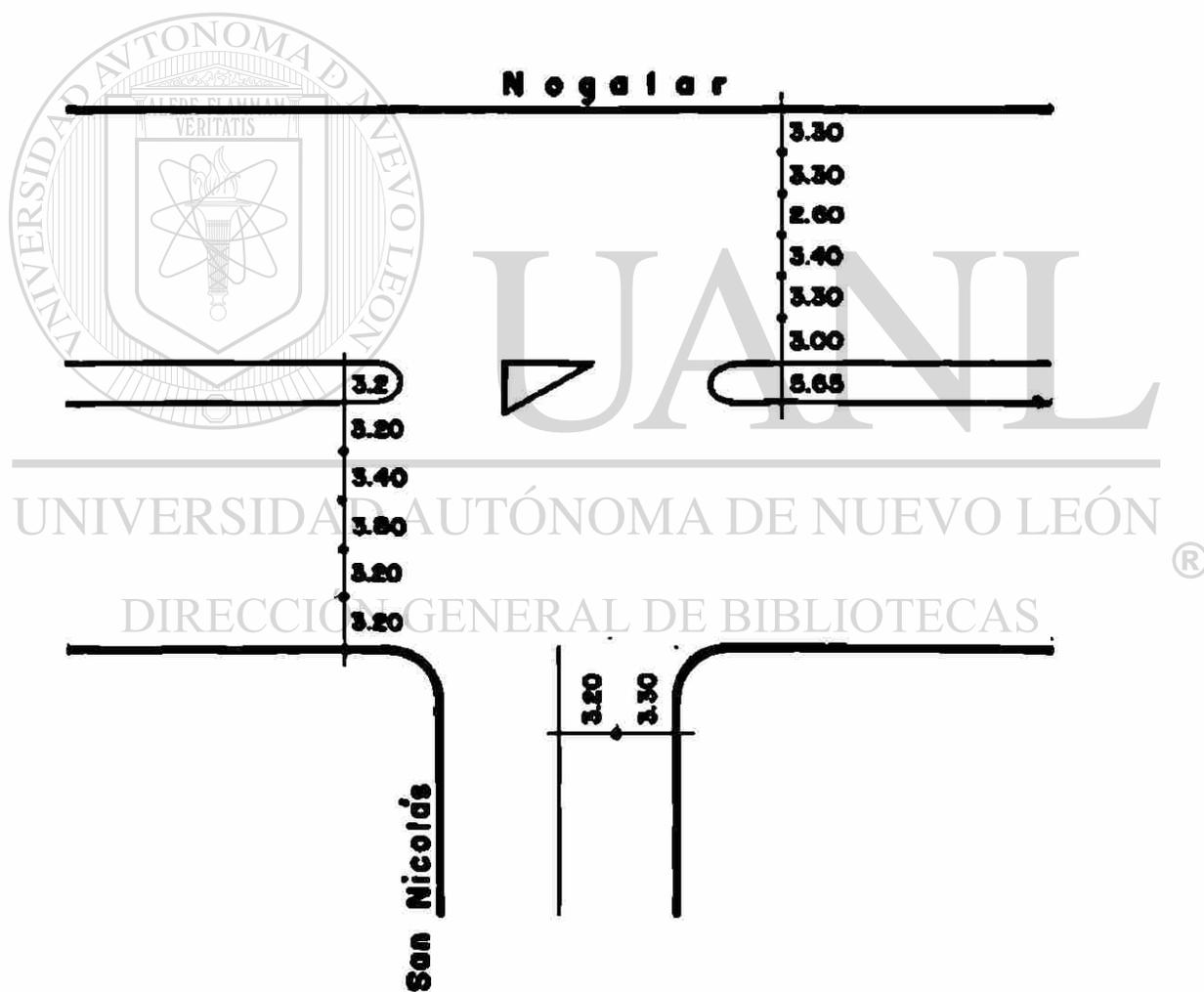
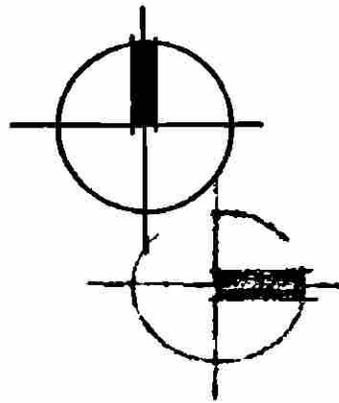


Figura 34. Levantamiento Geométrico: Av. Nogalar con Av. San Nicolás, San Nicolás de los Garza, N.L.

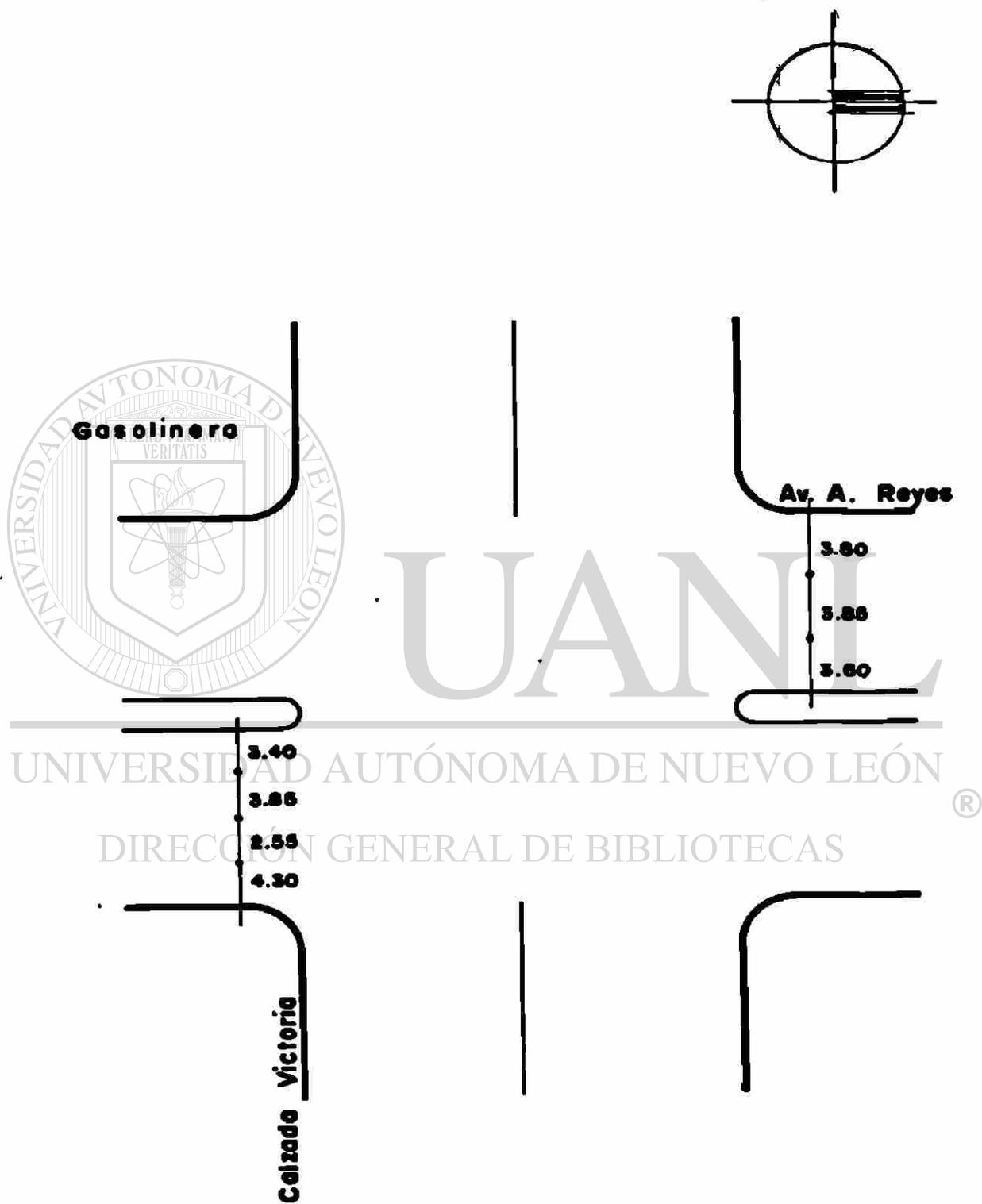


Figura 35. Levantamiento Geométrico: Av. Alfonso Reyes con Calzada Victoria, Monterrey, N.L

VI.1.2. Muestreo en Campo del Valor de Flujo de Saturación.

El flujo de saturación básico utilizado en el análisis de capacidad en intersecciones semaforizadas es de 1,900 vl/hr/c. Esta cifra debe ajustarse a las distintas condiciones prevalecientes en el tránsito, como son: la anchura de carriles, los giros a la izquierda, los giros a la derecha, los vehículos pesados, la inclinación de la rasante, el estacionamiento, los bloqueos producidos al estacionar, el tipo de zona, los bloqueos producidos por los autobuses y los bloqueos de los giros de vuelta izquierda. Como procedimiento alternativo, el flujo de saturación prevaleciente puede medirse directamente en el campo.

Las intensidades de saturación han sido medidas e investigadas por muchos grupos de los Estados Unidos de Norteamérica. Las condiciones climáticas extremas, o las composiciones de tránsito inusuales, o bien otras condiciones locales críticas pueden hacer que las cifras varíen en relación con las estimadas con los cálculos recomendados en la metodología. A continuación se resume el procedimiento de observación de la intensidad de saturación, en la figura 37 se muestra el formato de campo para el registro de las observaciones.

Se recomienda utilizar una brigada de dos personas, uno en funciones de cronometrador y el otro como registrador.

Procedimiento en campo:

1. Cumplimiento del formato de la figura 37, en su totalidad.
2. Selección de un punto de observación en donde se vean con claridad la línea de parada o el paso peatonal y las señales semaforicas.
3. Selección de un punto de referencia, normalmente el paso peatonal o la línea de parada. Los vehículos deben parar habitualmente detrás de esta referencia. Se considerará que un vehículo entra en la intersección cuando cruce esta referencia.
4. Se debe realizar un estudio para cada ciclo.

Obligaciones del observador:

1. Percibir cuál es el último vehículo detenido en la fila cuando el semáforo cambia y emite la luz verde.
2. Descripción de este último vehículo al cronometrador.
3. Anotar en el formulario los vehículos pesados y los que giran a la izquierda o a la derecha.
4. Anotar el tiempo que dicta el cronometrador.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Obligaciones del cronometrador:

1. Poner en marcha el cronómetro al comienzo del tiempo verde y anunciarlo (voceándolo) al observador.
2. Anunciar cada vehículo según cruce éste el punto de referencia con su eje trasero (ejemplo: “uno”, “dos”, “tres”. etc.).
3. Anunciar el tiempo del cuarto, décimo y último vehículo de la fila. Esto puede hacerse al salir de la fila con la ayuda de un cronómetro clásico. Los cronómetros nuevos, más sofisticados con memoria, permiten al cronometrador anunciar estos tiempos después de que se haya disipado la fila.

Se deben anotar todos aquellos sucesos especiales que puedan haber influido en el flujo de saturación, como son los autobuses, los vehículos que se paran por avería. Se deben medir y anotar el tipo de zona y la anchura e inclinación del carril que se estudia.

El período definido como flujo de saturación comienza cuando el eje trasero del cuarto vehículo en la fila cruza la línea de parada o de referencia, y termina cuando el último eje del último vehículo que estaba en la fila al comienzo del verde cruza el mismo punto. Como se ha descrito en las instrucciones, las medidas se hacen en cada ciclo y carril. Para reducir los datos se resta el tiempo registrado para el cuarto vehículo del tiempo registrado para el último vehículo de la fila. Esta cifra es el intervalo total de $n-4$ vehículos, siendo n el número total de vehículos en la fila al comienzo del verde (o el número del último vehículo en la fila). Se divide el intervalo total entre $n-4$ obteniéndose el intervalo medio por vehículo en flujo saturado. El flujo de saturación se calcula dividiendo 3,600 entre este valor.

$$S = 3600 / [(T_u - T_4) / (n_u - 4)] \quad (40)$$

Donde:

S = Flujo de saturación en campo

T_u = tiempo del último vehículo en segundos.

T_4 = tiempo del cuarto vehículo en segundos.

n_u = Número del último vehículo.

HOJA DE CAMPO - ESTUDIO DEL FLUJO DE SATURACION

Lugar _____
 Fecha _____ Hora _____ Ciudad _____
 Sentido del Tránsito hacia el _____



Observador: _____

Movimientos permitidos

- De frente
- Vuelta derecha
- Vuelta izquierda

Veh. en fila	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3			Ciclo 4			Ciclo 5			Ciclo 6		
	Tiempo	VP	MV															
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
Fin de la saturación																		
Fin del verde																		
No. de Veh. >20																		
No. de Veh. en amber																		

VP = Vehículos pesados (de más de 4 ruedas)
 MV = Vehículos en movimiento de Vuelta I= Izquierda, D= Derecha

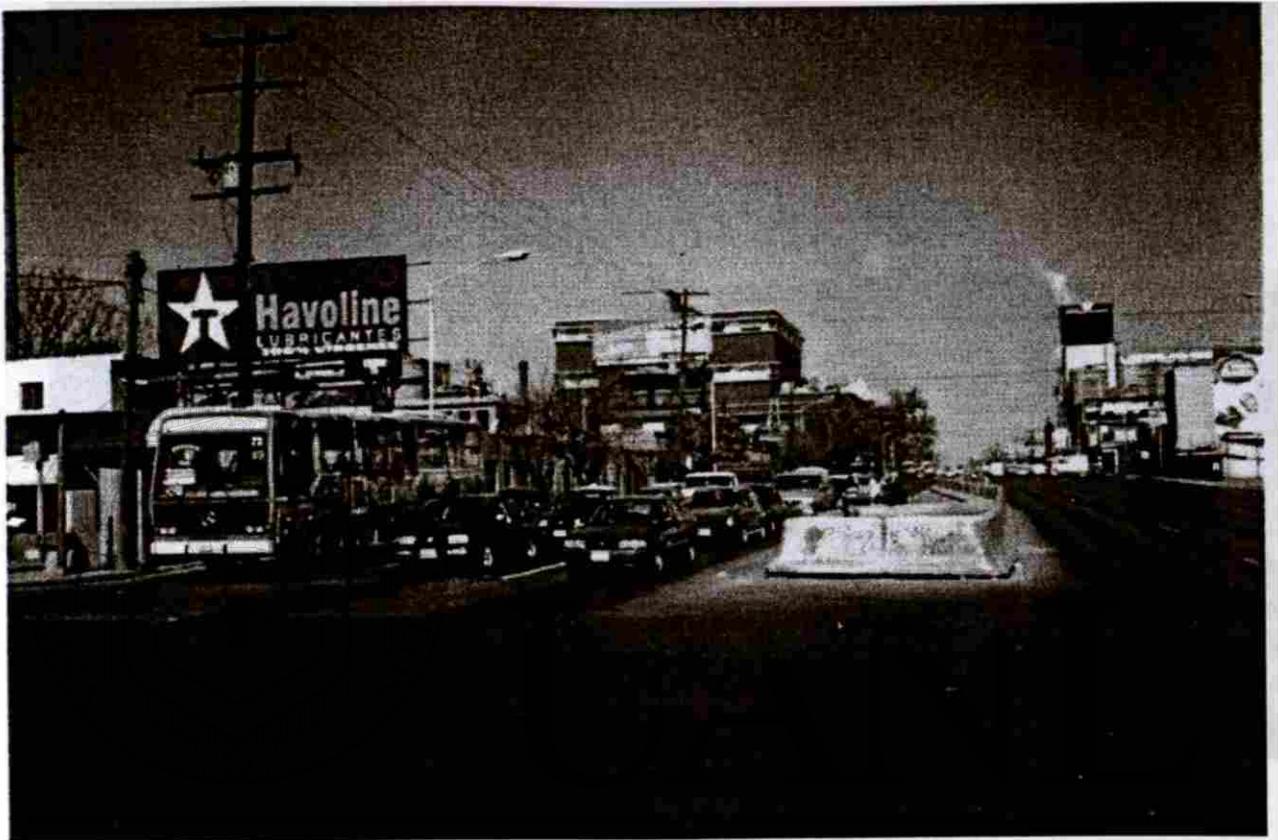
Inclinación _____ Tipo de Area _____
 o Pendiente _____

Figura 37.- Formato de campo para el registro de las observaciones del flujo de saturación.

VI.1.3. Información Fotográfica



Figura 38.- Intersección Av. Diego Díaz de Berlanga con Av. Nogalar Sur, se puede observar la fila de vehículos que se genera en el acceso poniente.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 39.- Intersección Av. Alfonso Reyes con Calzada Victoria, se observa el 2do. y 3er. Carril son utilizados por vehículos ligeros, además los anchos de carril son mayores de 3.5 mts.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 40.- Intersección Av. Lincoln con Av. Rangel Frías, muestra la saturación vehicular en la rama oriente.



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 41.- Intersección Av. Churubusco con Av. Ruíz Cortines, nótese las dimensiones de la intersección y el flujo vehicular existente.

VL2. Proceso de la Información

Como se mencionó en el análisis anterior, el período definido como flujo de saturación comienza cuando el cuarto vehículo cruza la línea de parada (referencia) y termina cuando el último vehículo que estaba en la cola al comienzo del verde cruza el mismo punto.

Para el cálculo del flujo de saturación se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Flujo de saturación} : 3600 / [(T_u - T_4) / (n_u - 4)] \quad (40)$$

Donde:

T_u = tiempo del último vehículo.

T_4 = tiempo del cuarto vehículo.

n_u = Número del último vehículo.

Para el proceso de los datos tomados en campo se utilizó el apoyo del paquete de computadora Excel, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 17.

Tabla 17.- Proceso datos de campo, flujo de Saturación

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación
Av. Universidad	2	10.19	36.16	19	2079
con Palacio de Justicia	2	12.00	36.00	16	1800
	2	10.21	32.72	15	1759
	2	7.58	30.06	16	1922
	2	7.19	29.52	15	1773
	2	9.18	33.72	15	1614
	2	10.20	33.18	17	2037
	2	11.21	33.80	17	2072
	2	11.59	35.54	15	1653
	2	15.19	33.75	13	1746
	2	10.30	32.56	16	1941
	2	7.03	32.60	16	1689
	2	12.03	33.02	15	1887
	2	13.03	35.34	15	1775
	2	14.16	35.71	14	1671
	2	11.59	35.37	17	1968
	2	12.19	34.06	15	1811
	2	10.11	35.03	18	2022
	2	12.23	35.10	15	1732
	2	12.34	33.16	14	1729
	2	11.39	34.34	15	1725
	2	10.49	31.50	15	1885
	2	10.19	31.93	15	1822
	2	14.19	35.19	15	1886
	2	17.59	34.94	12	1660
	2	10.59	35.31	17	1893
	2	8.00	35.00	20	2133
	2	8.00	34.00	18	1938
	2	8.00	33.00	17	1872
	2	11.00	35.00	18	2100
	2	10.00	34.00	18	2100
2	9.00	36.00	17	1733	
2	15.00	35.00	15	1980	
2	10.00	35.00	19	2160	
2	9.00	35.56	19	2033	
2	7.00	32.00	18	2016	
2	8.00	33.00	18	2016	
2	8.00	34.00	19	2077	
2	10.00	34.16	18	2086	

Tabla 17.- Continuación.

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación	
Av. Universidad con Palacio de Justicia	2	14.00	35.00	16	2057	
	2	16.00	35.00	15	2084	
	2	10.00	34.00	17	1950	
	2	10.00	33.00	15	1722	
	2	10.00	33.00	15	1722	
	2	11.00	34.00	16	1878	
	2	8.00	33.00	17	1872	
	2	9.00	34.09	18	2009	
	2	9.00	34.00	18	2016	
	2	13.00	35.00	16	1964	
	2	9.00	33.84	18	2029	
	2	9.00	34.00	16	1728	
	2	11.30	33.00	16	1991	
	2	14.00	34.00	15	1980	
	Av. Universidad con Av. Central	2	17.00	35.00	14	2000
		2	8.00	34.00	19	2077
		2	9.00	36.00	17	1733
		2	15.00	35.00	14	1800
		2	6.00	35.00	18	1738
2		12.00	35.00	16	1878	
2		10.00	34.00	15	1650	
2		10.00	35.00	17	1872	
2		12.00	34.00	16	1964	
2		8.00	35.00	18	1867	
2		7.00	34.00	18	1867	
2		10.00	35.00	18	2016	
2		8.00	35.00	18	1867	
2		14.00	35.00	16	2057	
2		7.00	35.00	20	2057	
2		8.00	34.00	18	1938	
2		12.00	35.00	15	1722	
2		8.00	35.00	18	1867	
2		9.00	35.00	16	1662	
2		8.00	36.00	19	1929	
2		10.00	35.00	17	1872	
2		11.00	34.00	15	1722	
2	10.00	35.00	16	1728		
2	13.00	35.00	14	1636		
2	8.00	35.00	18	1867		
2	15.00	35.00	15	1980		
2	7.00	35.00	19	1929		
2	12.00	35.00	15	1722		
2	13.00	35.00	16	1964		

Tabla 17.- Continuación.

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación
Av. Universidad con Av. Central	2	11.00	35.00	15	1650
	2	9.00	34.00	17	1872
	2	13.00	35.00	14	1636
	2	10.21	41.00	19	1754
	2	11.00	40.00	17	1614
Av. Churubusco con Av. Ruíz Cortines	2	7.00	27.00	15	1980
	2	9.00	26.00	13	1906
	2	14.00	27.00	10	1662
	2	10.00	26.00	12	1800
	2	10.00	27.00	12	1694
	2	9.00	26.00	12	1694
	2	8.00	26.00	13	1800
	2	7.00	27.00	14	1800
	2	12.00	27.00	12	1920
	2	12.00	27.00	12	1920
	2	9.00	27.00	13	1800
	2	9.00	26.00	12	1694
	2	9.00	27.00	13	1800
	2	7.00	27.00	13	1620
	2	14.00	27.00	12	2215
	2	10.00	27.00	12	1694
	2	6.00	26.00	15	1980
	2	8.00	26.00	12	1600
	2	8.00	28.00	15	1980
	2	10.00	28.00	13	1800
	2	10.00	27.00	13	1906
	2	8.00	27.00	13	1705
	2	8.00	28.00	14	1800
Av. Ruíz Cortines con Av. Félix U. Gómez	2	12.00	29.00	12	1694
	2	9.00	26.00	12	1694
	2	9.00	20.00	10	1964
	2	9.00	26.00	12	1694
	2	9.00	20.00	10	1964
	2	10.00	26.00	12	1800
	2	10.00	26.00	13	2025
	2	8.00	19.00	10	1964
	2	9.00	29.00	14	1800
	2	11.00	31.00	15	1980
	2	7.00	28.00	15	1886
	2	9.00	29.00	16	2160
	2	12.00	29.00	12	1694
	2	14.00	34.00	13	1620
	2	8.00	34.00	16	1662

Tabla 17.- Continuación.

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación	
Av. Ruíz Cortines con Av. Félix U. Gómez.	2	14.00	35.40	15	1850	
	2	6.00	23.47	14	2061	
	2	5.00	26.72	15	1823	
	2	6.00	23.87	12	1612	
	2	18.00	37.82	15	1998	
	2	7.00	25.00	12	1600	
	2	7.00	25.00	13	1800	
	2	10.00	24.85	12	1939	
	2	7.00	27.19	13	1605	
	2	7.00	24.19	13	1885	
	2	8.00	26.22	14	1976	
	2	10.00	25.56	11	1620	
	2	10.00	25.98	12	1802	
	2	10.00	27.69	12	1628	
	Av. Ruíz Cortines con Av. Guerrero	2	33.00	64.00	18	1626
		2	13.00	64.00	27	1624
	2	16.00	65.00	26	1616	
	2	9.00	30.00	14	1714	
	2	10.00	29.00	15	2084	
	2	13.00	30.00	13	1906	
	2	11.00	30.00	13	1705	
	2	10.00	30.00	14	1800	
	2	10.00	30.00	15	1980	
	2	23.00	30.00	8	2057	
	2	7.00	30.00	15	1722	
	2	9.00	33.00	15	1650	
Av. Ruíz Cortines con Av. Simón Bolívar	2	10.00	39.00	17	1614	
	2	7.00	40.00	20	1745	
	2	15.00	40.00	16	1728	
	2	13.00	39.00	17	1800	
	2	9.00	35.00	18	1938	
	2	9.00	33.00	16	1800	
	2	9.00	32.00	17	2035	
	2	10.00	34.00	17	1950	
	2	9.00	34.00	16	1728	
	2	13.00	35.00	17	2127	
	2	18.00	35.00	12	1694	
	2	19.00	35.00	12	1800	
	2	10.00	35.00	18	2016	
	2	13.00	35.00	14	1636	
	2	15.00	34.00	14	1895	
	2	9.00	40.00	18	1626	
2	14.00	41.00	16	1600		

Tabla 17.- Continuación.

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación
	2	9.00	41.00	20	1800
Av. Ruíz Cortines con Av. Gonzalitos	2	8.00	30.00	14	1636
	2	7.00	28.00	15	1886
	2	9.00	33.00	17	1950
	2	10.00	25.00	11	1680
	2	7.00	29.00	15	1800
	2	8.00	21.00	10	1662
Av. Lincoln con Jaumave	3	10	32	16	1964
	3	7	32	18	2016
	3	9	32	16	1878
	3	12	32	14	1800
	3	12	32	15	1980
	3	6	32	19	2077
	3	11	32	16	2057
	3	13	32	15	2084
	3	10	32	16	1964
	3	9	32	16	1878
	3	9	32	15	1722
	3	8	32	17	1950
	3	9	32	16	1878
	3	14	32	14	2000
	3	10	32	17	2127
	3	9	32	17	2035
	3	15	32	13	1906
	3	7	32	17	1872
	3	10	32	14	1636
	3	11	32	14	1714
	3	9	32	16	1878
	3	13	32	13	1705
	3	10	32	16	1964
	3	16	32	13	2025
	3	12	32	15	1980
	3	10	32	15	1800
	3	6	32	18	1938
	3	9	32	17	2035
	3	13	32	15	2084
	3	11	32	16	2057
	3	16	32	13	2025
	3	12	32	13	1620
	2	11	45	21	1800

Tabla 17.- Continuación.

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación
Av. Lincoln con Rangel Frías	2	7	44	22	1751
	2	11	42	18	1626
	2	10	43	20	1745
	2	12	43	22	2090
	2	10	43	21	1855
	2	11	43	21	1913
	2	9	42	23	2073
	2	9	42	20	1745
	2	10	42	19	1688
	2	10	42	21	1913
	2	8	40	20	1800
	2	10	39	18	1738
	2	10	40	19	1800
	2	8	42	21	1800
	2	12	37	17	1872
	2	9	39	18	1680
	2	13	42	17	1614
	2	18	40	16	1964
	2	11	40	17	1614
	2	11	40	19	1862
	2	8	43	23	1954
	2	9	42	21	1855
	2	10	40	18	1680
	2	10	42	21	1913
	2	9	42	21	1855
	2	8	41	21	1855
	2	8	42	21	1800
	2	8	43	22	1851
	2	8	42	23	2012
	2	10	42	21	1913
	2	9	42	19	1636
	2	8	40	20	1800
	2	10	40	19	1800
	2	11	42	22	2090
	2	10	42	21	1913
2	10	41	20	1858	
2	9	41	20	1800	
2	8	42	24	2118	

Tabla 17.- Continuación.

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación
Av. Lincoln con Rangel Frías	2	10	42	21	1913
	2	8	42	21	1800
	2	8	42	20	1694
	2	11	28	14	2118
	2	13	40	16	1600
	2	10	40	20	1920
	2	9	39	18	1680
	2	12	39	17	1733
	2	10	38	18	1800
	2	9	37	18	1800
Av. Lincoln con León XII	2	8	37	22	2234
	2	10	37	19	2000
	2	10	36	20	2215
	2	10	38	20	2057
	2	8	38	18	1680
	2	10	38	17	1671
	2	9	36	18	1867
	2	10	37	17	1733
	2	10	38	19	1929
	2	9	38	18	1738
	2	9	36	17	1733
	2	11	38	17	1733
	2	10	37	18	1867
	2	10	37	17	1733
	Av. Lincoln con Patrimonio Familiar	3	12	52	22
3		15	52	24	1946
3		14	53	22	1662
3		17	52	22	1851
3		12	40	18	1800
Av. Nogalar con D. Díaz de Berlanga	3	8	23	12	1920
	3	12	24	10	1800
	3	10	23	12	2215
	3	9	24	12	1920
	3	6	24	14	2000
	3	9	24	12	1920
	3	8	24	13	2025
	3	7	22	12	1920
	3	10	22	10	1800
	3	12	23	9	1636

Tabla 17.- Continuación.

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación
Av. Nogalar con D. Díaz de Berlanga	3	7	24	12	1694
	3	9	24	12	1920
	3	9	24	12	1920
	3	8	24	14	2250
	3	13	24	10	1964
	3	10	24	12	2057
	3	11	23	11	2100
	3	9	24	12	1920
	3	11	24	12	2215
	3	9	24	11	1680
	3	11	24	12	2215
	3	7	24	12	1694
	3	10	24	11	1800
	3	10	24	11	1800
	3	12	24	11	2100
	3	9	24	12	1920
	3	11	24	11	1938
	3	8	24	13	2025
	3	10	24	12	2057
	3	10	24	12	2057
	3	9	24	13	2160
	3	9	24	13	2160
	3	10	24	11	1800
	3	9	24	12	1920
	3	14	24	10	2160
	3	10	24	12	2057
	3	10	24	12	2057
	3	9	24	13	2160
	3	10	24	12	2057
	3	10	24	11	1800
	3	9	20	10	1964
	3	11	26	13	2160
	3	10	26	13	2025
	3	13	25	10	1800
	3	13	26	10	1662
	3	10	26	13	2025
3	9	26	13	1906	
3	9	26	13	1906	

Tabla 17.- Continuación.

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación
Av. Nogalar con D. Díaz de Berlanga	3	11	26	13	2160
	3	11	26	12	1920
	3	9	27	13	1800
	3	10	26	12	1800
	3	9	27	13	1800
	3	10	26	12	1800
	3	9	25	14	2250
	3	12	26	12	2057
	3	9	26	13	1906
	3	11	26	11	1680
	3	9	26	13	1906
	3	9	26	12	1694
	3	8	26	14	2000
	3	10	26	12	1800
	3	10	26	13	2025
	3	12	24	10	1800
	3	12	26	12	2057
	3	10	26	12	1800
	3	9	26	13	1906
	3	9	25	13	2025
	3	9	26	13	1906
	3	10	26	13	2025
	3	10	26	14	2250
	3	12	24	11	2100
	3	10	26	13	2025
	3	10	26	14	2250
	3	12	24	11	2100
	3	10	26	12	1800
	3	9	25	14	2250
	3	8	26	13	1800
	3	12	26	11	1800
	3	8	26	13	1800
	3	8	26	14	2000
	3	14	25	10	1964
	3	10	25	11	1680
	3	8	25	13	1906
3	11	26	13	2160	
3	10	26	12	1800	

Tabla 17.- Continuación.

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación	
Av. Nogalar con Av. San Nicolás	3	17	46	17	1614	
	3	8	46	26	2084	
	3	8	46	25	1989	
	3	14	46	23	2138	
	3	10	47	23	1849	
	3	8	47	26	2031	
	3	10	47	22	1751	
	3	10	47	21	1654	
	3	15	46	19	1742	
	3	10	46	22	1800	
	3	10	46	22	1800	
	3	8	47	26	2031	
	3	14	47	21	1855	
	3	17	46	17	1614	
	3	7	46	22	1662	
	3	14	46	19	1688	
	3	16	46	20	1920	
	3	13	46	21	1855	
	Av. Alf. Reyes con Calzada Victoria	2	33	47	11	1800
		2	8	47	22	1662
2		9	48	25	1938	
2		8	48	27	2070	
2		8	48	26	1980	
2		10	48	26	2084	
2		8	47	22	1662	
2		8	47	27	2123	
2		14	47	21	1855	
2		10	48	22	1705	
2		10	48	23	1800	
2		10	48	23	1800	
2		9	48	27	2123	
2		7	48	27	2020	
2		8	48	22	1620	
2		9	48	22	1662	
2		8	48	25	1890	
2		9	48	24	1846	
2		10	48	21	1611	
2		8	46	23	1800	
2	9	48	23	1754		
2	17	48	24	2323		

Tabla 17.- Continuación.

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación
Av. Alf. Reyes con Calzada Victoria	2	12	48	25	2100
	2	9	47	24	1895
	2	9	48	28	2215
	2	10	48	23	1800
	2	8	48	22	1620
	2	7	47	24	1800
	2	8	47	26	2031
	2	7	47	23	1710
	2	17	47	18	1680
	2	7	48	26	1932
	2	10	48	25	1989
	2	9	47	23	1800
	2	11	47	25	2100
	2	9	48	25	1938
	2	9	47	26	2084
	2	10	47	22	1751
	2	8	46	22	1705
	2	10	47	25	2043
	2	8	48	26	1980
	2	10	48	27	2179
	2	8	48	26	1980
	2	7	48	26	1932
	2	8	48	25	1890
	2	10	48	26	2084
	2	9	48	24	1846
	3	31	46	12	1920
	3	10	47	23	1849
	3	8	47	23	1754
	3	30	46	13	2025
	3	8	47	24	1846
	3	9	47	23	1800
	3	10	47	22	1751
	3	10	47	23	1849
	3	9	47	21	1611
3	7	48	23	1668	
3	9	47	23	1800	
3	31	46	12	1920	
3	11	47	20	1600	

Tabla 17.- Continuación.

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación
Av. Alf. Reyes con Calzada Victoria	3	11	47	22	1800
	3	10	47	23	1849
	3	9	47	22	1705
	3	11	47	21	1700
	3	10	47	23	1849
Av. Alf. Reyes con Av. Pedro Anaya	2	14	40	18	1938
	2	8	40	19	1688
	2	7	40	19	1636
	2	7	40	20	1745
	2	8	40	20	1800
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN	2	5	41	21	1700
	2	9	39	22	2160
	2	8	40	21	1913
	2	9	40	21	1974
	2	9	40	21	1974
	2	8	41	23	2073
	2	10	40	20	1920
	2	9	41	22	2025
	2	8	41	21	1855
	2	9	40	20	1858
	2	8	41	21	1855
	2	6	41	22	1851
	2	8	41	23	2073
	2	8	40	19	1688
	2	10	41	19	1742
	2	9	41	21	1913
	2	9	41	23	2138
	2	9	41	24	2250
	2	7	41	21	1800
	2	12	41	21	2110
	2	8	41	21	1855
	2	7	41	22	1906
	2	8	41	22	1964
	2	8	40	22	2025
	2	6	41	22	1851
	2	8	41	22	1964
	2	8	40	21	1913
2	8	41	19	1636	
2	8	41	23	2073	

Tabla 17.- Continuación

Intersección	Carril	Tiempo del 4to. Veh.	Tiempo del Ultimo Veh.	Número del Ultimo Veh.	Flujo de Saturación
Av. Alf. Reyes con Av. Pedro Anaya	2	8	41	19	1636
	2	7	41	24	2118
	2	8	41	21	1855
	2	10	41	21	1974
	2	9	41	21	1913
	2	12	41	21	2110
	2	7	41	25	2224
	2	5	40	24	2057
	2	8	41	23	2073
	2	9	41	22	2025
	2	7	41	21	1800
	2	8	41	21	1855
	3	7	40	22	1964
	3	11	41	19	1800
	3	11	41	19	1800
	3	9	40	18	1626
	3	11	40	18	1738
	3	10	41	18	1626
	3	10	41	19	1742
	3	8	41	23	2073
	3	8	39	19	1742
	3	6	39	19	1636
	3	8	41	21	1855
	3	7	40	24	2182
	3	7	39	22	2025
	3	9	41	24	2250
	3	8	39	18	1626
	3	10	41	22	2090
	3	12	40	18	1800
	3	8	39	21	1974
	3	7	40	19	1636
	3	9	40	20	1858
	3	8	40	19	1688
	3	13	41	18	1800
3	9	40	19	1742	
3	11	41	20	1920	
3	10	41	19	1742	

VI.3. Análisis de la Información

La estadística trata de la selección, análisis y uso de datos con el fin de resolver problemas. A toda persona, tanto en su ejercicio profesional como en su actividad diaria, se le ofrece información en forma de datos. Consecuentemente, algunos conocimientos de estadística le serán de utilidad a la población en general, pero en particular, el conocimiento estadístico será vital para ingenieros, científicos y administradores, debido a que de manera rutinaria manejan y analizan datos. Además, la probabilidad, que estudia las variaciones al azar en diversos sistemas se presenta para dar sustento a otras aplicaciones de la probabilidad y la estadística en ingeniería.

La estadística propicia un criterio para lograr mejoras, debido a que sus técnicas se pueden usar para describir y comprender la variabilidad. La variabilidad existe en todo tipo de procesos. Estas variabilidades están en todos los medios; las aplicaciones de la probabilidad y la estadística son numerosas en todos los casos de la ciencia aplicada en donde existan variaciones y donde las conclusiones acerca de un sistema estén basadas en datos observados. En realidad todo el trabajo experimental tiene esta naturaleza y la variabilidad es el común denominador de estos problemas.

¿Por qué ocurre la variabilidad?. En general, la variabilidad es resultado de los cambios que ocurren en las condiciones en las cuales se hacen las observaciones.

Por estadística y probabilidad entendemos los métodos para describir y modelar la variabilidad además de permitir la toma de decisiones cuando la variabilidad está presente.

Las técnicas de la estadística descriptiva pueden aplicarse ya sea a poblaciones enteras o a muestras.

A menudo, los datos disponibles resultan de una muestra, y en ocasiones el objetivo del responsable de la toma de decisiones es utilizar la información en la muestra para extraer una conclusión (o una deducción) acerca de la población de la que se extrajo la muestra.

A continuación, se presentan las técnicas básicas de la estadística descriptiva que son útiles en los problemas deductivos y de toma de decisiones.

Presentación gráfica de datos:

Hay muchos métodos gráficos y tabulares útiles en el resumen de datos. En esta sección presentamos unas cuantas de las técnicas de mayor utilidad.

Una distribución de frecuencia es un resumen más compacto de datos que las observaciones originales. Para construir una distribución de frecuencia, debemos dividir la gama de los datos en intervalos, que suelen denominarse intervalos de clase. Si es posible, los intervalos de clase deben ser de igual ancho, para incrementar la información visual en la distribución de frecuencias. Deben hacerse algunos juicios al seleccionar el número de intervalos de clase para dar una imagen razonable. El número de intervalos de clase que se utiliza depende del número de observaciones y de la cantidad de discriminación o dispersión en los datos. Una distribución de frecuencias en la que se emplean muy pocos o demasiados intervalos de clase no será muy informativa.

Histograma:

También es útil presentar la distribución de frecuencias en forma gráfica. Un diagrama de este tipo se denomina *histograma*. Para dibujar un histograma, se usa el eje horizontal para representar la escala de medida, y se dibujan las fronteras de los intervalos de clase, el eje vertical representa la escala de frecuencia (o frecuencia relativa). Si los intervalos de clase son de igual ancho, las alturas de los rectángulos dibujadas en el histograma son proporcionales a las frecuencias. Si los intervalos de clase son de ancho desigual, se acostumbra entonces dibujar rectángulos cuyas *áreas* son proporcionales a las frecuencias. Sin embargo, los histogramas son más fáciles de interpretar cuando los intervalos de clase son de igual ancho. El histograma brinda una interpretación visual de la forma de la distribución de las mediciones, así como información acerca de la diseminación o dispersión de los datos.

Cuando se pasa de los datos originales a la distribución de frecuencia o al histograma, cierta cantidad de información se ha perdido puesto que ya no tenemos las observaciones individuales. No obstante, esta pérdida de información es pequeña comparada con la precisión y facilidad de interpretación ganadas al utilizar la distribución de frecuencia y el histograma. En casos en los que los datos tomen sólo unos cuantos valores distintos, puede ser innecesario formar intervalos de clase.

Por último, recuérdese que la distribución de frecuencia y el histograma pueden ser relativamente sensibles a la elección del número de intervalos de clase y su ancho. Las distribuciones de frecuencia y los histogramas son más estables para conjuntos de datos más grandes, por ejemplo de tamaño 50, 100 ó mayores.

Del mismo modo que las gráficas pueden mejorar la presentación de datos, las descripciones numéricas son también valiosas, presentamos varias medidas numéricas importantes para describir las características de los datos.

Medidas de tendencia central (MEDIA):

La medida más común de tendencia central, o localización de los datos, es la media aritmética ordinaria. Debido a que casi siempre consideramos a los datos como la muestra, nos referimos a la media aritmética como la media de muestra. Si las observaciones en una muestra de tamaño n son x_1, x_2, \dots, x_n , entonces la media de muestra es:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (41)$$

La media de la muestra \bar{x} representa el valor promedio de la población, y se denota por medio de la letra griega μ (*mu*). Cuando hay un número finito de observaciones (digamos, N) en la población, entonces la media de la población es:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (42)$$

La moda es la observación que ocurre con mayor frecuencia en la muestra.

Medidas de dispersión:

La medida de dispersión más importante es la *varianza de la muestra*. Si x_1, x_2, \dots, x_n , es una muestra de n observaciones, entonces la varianza de la muestra es:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (43)$$

Desviación Estándar:

Debido a que s^2 se expresa en el cuadrado de las unidades originales, no es fácil interpretarla. Además, la variabilidad es un concepto poco familiar y más difícil que la localización o tendencia central. Sin embargo, podemos resolver “el problema de la dimensionalidad”, trabajando con la raíz cuadrada (positiva) de la varianza, s , denominada desviación estándar de la muestra.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$s = \sqrt{s^2} \quad (44)$$

Curtosis:

La curtosis representa la elevación o achatamiento de una distribución, comparada con la distribución normal. Una curtosis positiva indica una distribución relativamente elevada, mientras que una curtosis negativa indica una distribución relativamente plana.

Curtosis se define como:

$$\left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right\} \quad (45)$$
$$- \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

Donde:

s = es la desviación estándar de la muestra.

Coefficiente de Asimetría:

Esta función caracteriza el grado de asimetría de una distribución con respecto a su media. La asimetría positiva indica una distribución unilateral que se extiende hacia valores más positivos. La asimetría negativa indica una distribución unilateral que se extiende hacia valores más negativos.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La ecuación para la asimetría se define como:

$$\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (46)$$

Para los cálculos estadísticos antes mencionados se utilizó el paquete de computadora Excel, en la tabla 18 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 18. Resultados estadísticos de las muestras obtenidas en campo.

Flujo de Saturación	
Media	1875.7
Error Típico	7.2
Mediana	1866.7
Moda	1800.0
Desviación estándar	162.6
Varianza	26433.5
Curtosis	-0.7
Coefficiente de asimetría	0.2
Mínimo	1600.0
Máximo	2322
Suma	966000.8
Cuenta	515
Nivel de Confianza,	14.07

Gráfica de la probabilidad:

Los métodos gráficos también son útiles cuando se selecciona una distribución de probabilidad para describir datos. La graficación de probabilidad es un método gráfico para determinar si los datos se ajustan a una distribución hipotética basada en un examen visual subjetivo de los datos. El procedimiento general es muy simple y puede efectuarse con rapidez. La graficación de la probabilidad requiere papel gráfico especial, conocido como papel de probabilidad, que se ha diseñado para la distribución hipotética. Se dispone ampliamente de papel de probabilidad para las distribuciones normal, lognormal, de Weibull y diversas distribuciones *ji* cuadrada y gamma. Para construir una gráfica de probabilidad, se clasifican primero las observaciones en la muestra de la más pequeña a la más grande. Esto es, la muestra X_1, X_2, \dots, X_n , se arreglan como $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)}$, donde $X_{(j)} \leq X_{(j+1)}$. Las observaciones ordenadas $X_{(j)}$ se grafican después contra su frecuencia acumulativa observada en papel de probabilidad apropiado. Si la distribución hipotética describe de manera adecuada los datos, los puntos graficados caerán aproximadamente sobre una línea recta; si los puntos graficados se desvían de modo significativo de una línea recta, entonces el modelo hipotético no es apropiado. Usualmente, la determinación de si los datos se grafican o no como una línea recta es subjetiva.

En la figura 42, se muestra la gráfica del análisis de los datos, nótese que la mayoría de los puntos siguen una recta, lo que quiere decir que nos representa una distribución normal.

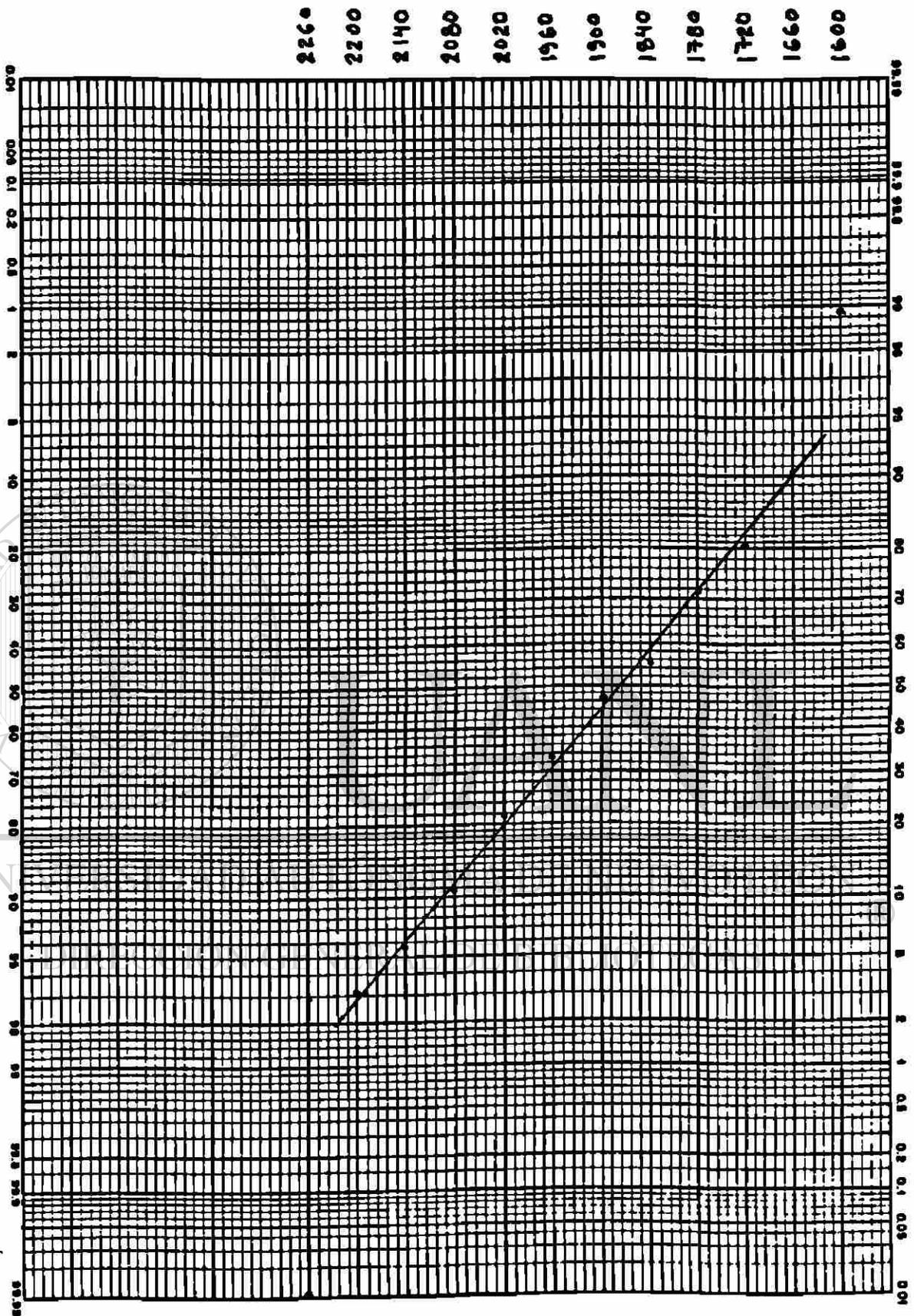


Figura 42. Gráfica de Probabilidad, Distribución Normal.

VL4. Determinación del Máximo Valor de Flujo de Saturación.

Con ayuda del paquete de computación Excel, se analizaron los datos y se calcularon los parámetros estadísticos.

En la figura 43, se muestra el Histograma de frecuencias, así como la ojiva del porcentual acumulado.

La tabla 19, nos presenta la clase, la frecuencia y el porcentaje acumulado, con estos datos procederemos a calcular el 85 percentil el cual nos representará el valor de flujo de saturación para intersecciones semaforizadas para el área metropolitana de Monterrey.

Interpolación del 85%.

$$85\% = \frac{2080 - 2020}{89.33 - 78.37} (85 - 78.37) + 2020 = 2056$$

$$85\% = 2050 \text{ veh / hr / carril . (Máximo Valor de Flujo de Saturación).}$$

El 15% restante son valores que por características de la zona o la toma de datos no es representativo.

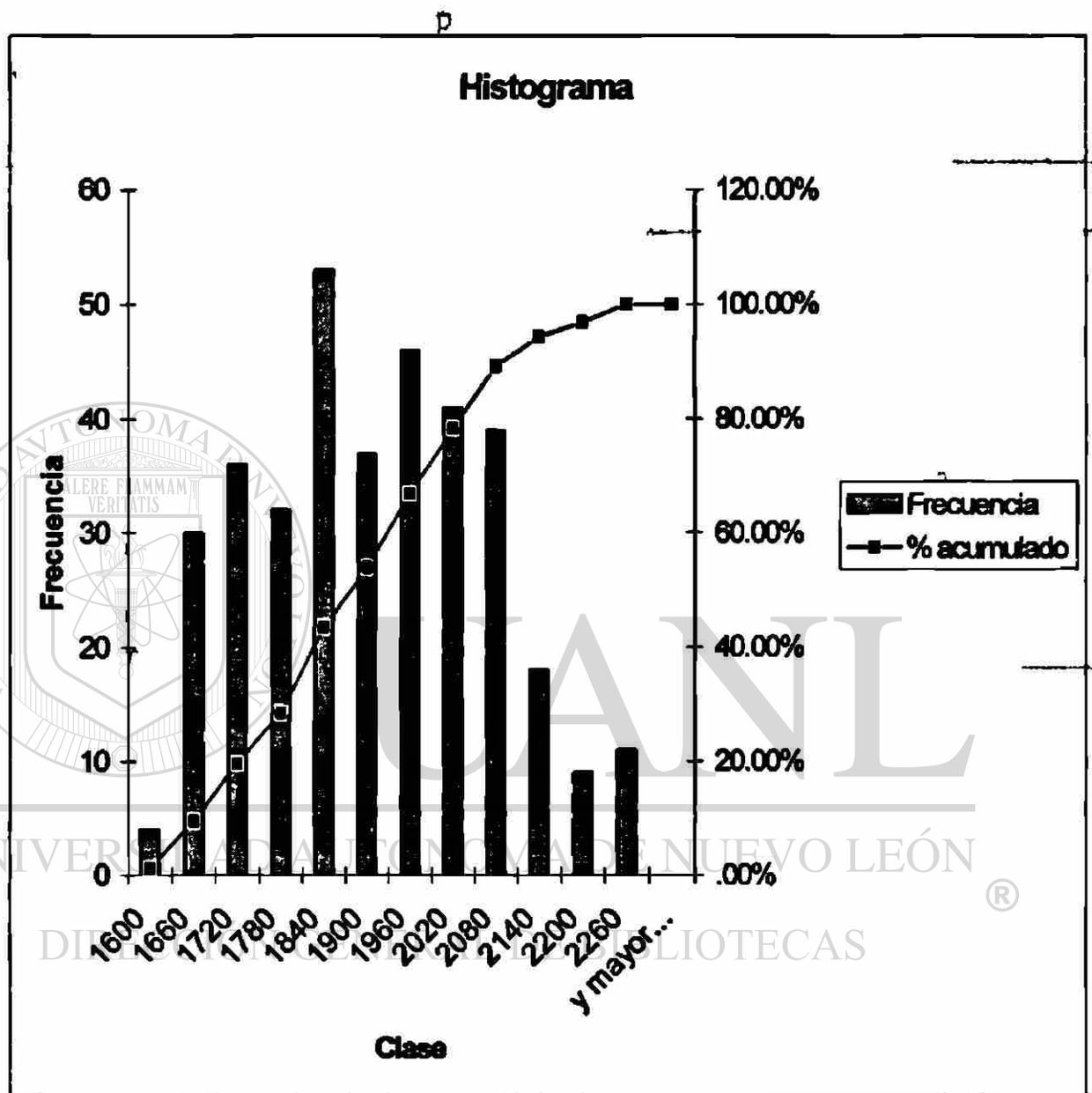


Figura 43. Histograma de frecuencias y ojiva del flujo de saturación.

Tabla 19. Clase, frecuencia y porcentaje acumulado de las muestras de campo, del flujo de saturación,

CLASE	FRECUENCIA	% ACUMULADO
1600	4	1.12
1660	30	9.55
1720	36	19.66
1780	32	28.65
1840	53	43.54
1900	37	53.93
1960	46	66.85
2020	41	78.37
2080	39	89.33
2140	18	94.38
2200	9	96.91
2260	11	100.00
y mayor	0	100.00

VII. ANALISIS DE CAPACIDAD UTILIZANDO EL MÁXIMO VALOR DE FLUJO DE SATURACION OBTENIDO

El valor de flujo de saturación ideal obtenido es de 2050 veh/hr/carril, este valor se coloca en el módulo de valor de flujo de saturación .

VII.1. Ejemplo 2

Realizaremos el análisis de la intersección semaforizada. Av. Churubusco con Av. Ruiz Cortines, misma del ejemplo del Capítulo V.4., pero ahora utilizando el flujo de saturación igual a 2050 veh/hr/carril, y compararemos los resultado.

Solución:

a) *Módulo de Entrada.*

El formulario del *Módulo de Entrada* de este ejemplo aparece en la figura 44.

b) *Módulo de Ajuste de Volúmenes.*

La figura 45, muestra el formulario de *Módulo de Ajuste de Volúmenes.*

c) *Módulo de Intensidad de Saturación.*

- La figura 46, muestra el formulario para el Módulo del flujo de saturación, para el ejemplo 2. En la columna 2 de este módulo se repiten las descripciones de los grupos de carriles. Se asume como intensidad de saturación ideal el valor de 2050 veh/hr/carril, resultado de esta investigación

d) Módulo de Análisis de Capacidad.

La figura 47, muestra el módulo de Análisis de Capacidad. En la columna 2 se repite la descripción del grupo de carriles. En la columna 3 se escriben los flujos ajustados (V) obtenido del módulo de ajustes, en la columna 4 se escriben las intensidades de saturación (S) obtenidas del módulo del valor de flujo de saturación. Con estos valores se obtienen la relación V/S las cuales se colocan en la columna 5.

Ahora se aprecia cuales son los grupos de carriles críticos, es decir los de mayor relación V/S en cada acceso. La relación de la suma de carriles críticos es 0.744, es decir.

$$\begin{aligned}\Sigma(V/S) &= 0.123 + 0.211 + 0.225 + 0.185 \\ \Sigma(V/S) \text{ críticos} &= 0.744\end{aligned}$$

Este valor se coloca en la sección inferior del módulo.

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

$$g/c \text{ (Av. Ruíz Cortines hacia el este)} = \frac{22}{120} = 0.183$$

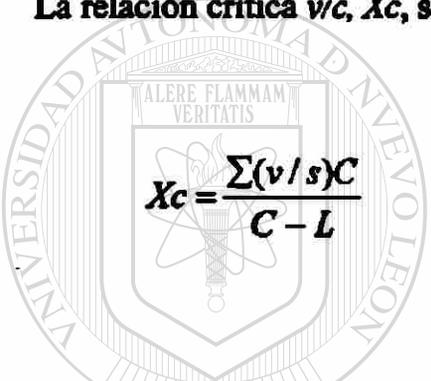
$$g/c \text{ (Av. Ruíz Cortines hacia el oeste)} = \frac{27}{120} = 0.225$$

$$g/c \text{ (Av. Churubusco hacia el norte)} = \frac{27}{120} = 0.225$$

$$g/c \text{ (Av. Churubusco hacia el sur)} = \frac{32}{120} = 0.267$$

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

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



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

$$X_c = \frac{0.744(120)}{120 - 12}$$

$$X_c = 0.827$$

e) *Módulo de Nivel de Servicio*

La figura 48, muestra el módulo de nivel de servicio. Las descripciones de los grupos de carriles se anotarán en la columna 2. En la columna 3 se escribe la relación volumen/capacidad (X), en la columna 4 la relación de verde (g/C), en la columna 5 se calcula la demora uniforme d_1 (ecuación 34).

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

Calculando d_1 para todos los grupos de carriles:

$$d_1(RE,1) = 0.38(120)(1 - 0.183)^2 / (1 - (0.183)(0.223)) = 31.73 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RE,2) = 0.38(120)(1 - 0.183)^2 / (1 - (0.183)(0.672)) = 34.7 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RO,1) = 0.38(120)(1 - 0.225)^2 / (1 - (0.225)(0.920)) = 34.5 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RO,2) = 0.38(120)(1 - 0.225)^2 / (1 - (0.225)(0.938)) = 34.5 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RN,1) = 0.38(120)(1 - 0.225)^2 / (1 - (0.225)(1.0)) = 35.3 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RN,2) = 0.38(120)(1 - 0.225)^2 / (1 - (0.225)(0.956)) = 34.9 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RN,3) = 0.38(120)(1 - 0.225)^2 / (1 - (0.225)(0.615)) = 31.8 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RS,1) = 0.38(120)(1 - 0.267)^2 / (1 - (0.267)(0.223)) = 26.1 \text{ seg/veh}$$

$$d_1(RS,2) = 0.38(120)(1 - 0.267)^2 / (1 - (0.267)(0.693)) = 30.1 \text{ seg/veh}$$

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

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

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

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

$$d_2(RE,1) = 0.0 \text{ seg/veh} (X = 0.223, c = 637, m = 16)$$

$$d_2(RE,2) = 1.8 \text{ seg/veh} (X = 0.672, c = 671, m = 16)$$

$$d_2(RO,1) = 18.3 \text{ seg/veh} (X = 0.92, c = 414, m = 16)$$

$$d_2(RO,2) = 12.8 \text{ seg/veh} (X = 0.938, c = 854, m = 16)$$

$$d_2(RN,1) = 34.6 \text{ seg/veh} (X = 1.0, c = 401, m = 16)$$

$$d_2(RN,2) = 9.6 \text{ seg/veh} (X = 0.956, c = 1688, m = 16)$$

$$d_2(RN,3) = 3.0 \text{ seg/veh} (X = 0.615, c = 262, m = 16)$$

$$d_2(RS,1) = 0 \text{ seg/veh} (X = 0.223, c = 934, m = 16)$$

$$d_2(RS,2) = 0.8 \text{ seg/veh} (X = 0.693, c = 1926, m = 16)$$

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

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

$$\text{Demora } (RE,1) = 31.7(1) + 0 = 31.7 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora } (RE,2) = 34.7(1) + 1.8 = 36.5 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora } (RO,1) = 34.5(1) + 18.3 = 52.8 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora } (RO,2) = 34.7(1) + 12.8 = 47.5 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora } (RN,1) = 35.3(1) + 34.6 = 69.9 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora } (RN,2) = 34.9(1) + 9.6 = 44.5 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora } (RN,3) = 31.8(1) + 3.0 = 34.8 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora } (RS,1) = 26.1(1) + 0 = 26.1 \text{ seg/veh}$$

$$\text{Demora } (RS,2) = 30.1(1) + 0.8 = 30.9 \text{ seg/veh}$$

La columna 11, se describen los niveles de servicio por grupo de carril, utilizando la demora total (columna 10) con la tabla 2.

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

$$\text{Dem. Acceso} = \frac{\Sigma(\text{Demora})(\text{Vol. Ajustado})}{\Sigma \text{Volumen Ajustado}}$$

$$\text{Dem. RE} = \frac{31.7(142) + 36.5(451)}{142 + 451} = 35.4 \text{ seg./v}$$

$$\text{Dem. RO} = \frac{52.8(381) + 47.5(801)}{381 + 801} = 49.2 \text{ seg./v}$$

$$\text{Dem. RN} = \frac{69.9(401) + 44.5(1613) + 34.8(161)}{401 + 1613 + 161} = 48.5 \text{ seg./v}$$

$$\text{Dem. RS} = \frac{26.1(208) + 30.9(1334)}{208 + 1334} = 30.3 \text{ seg./v}$$

Comparando estas demoras en la tabla 2, se establece el Nivel de Servicio por acceso y se coloca en la columna 13.

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

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

por vehículo

$$\text{Demora en la Intersección} = \frac{35.4(593) + 49.2(1182) + 48.5(2175) + 30.3(1542)}{593 + 1182 + 2175 + 1542}$$

$$\text{Demora en la Intersección} = 42.2 \text{ seg./veh.}$$

Comparando el valor anterior con la tabla 2, le corresponde un Nivel de Servicio "E", en toda la intersección.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Av. Chu	Av. Ruíz Cortines	Fecha:	15-Dic-97
Proyecto		Monterrey, N.L.	

VII.2.- Comparación de los resultados.

Intersección Av. Churubusco con Av. Ruíz Cortines.

FLUJO DE SATURACION IDEAL <i>veh/hr/carril</i>	NIVEL DE SERVICIO	DEMORA EN LA INTERSECCION <i>seg/veh</i>
1900 *	***	***
2050 **	E	40.4

* *Manual de Capacidad vial de E.E.U.U. (1994).*

** *Investigación.*

*** *No se recomienda el cálculo.*

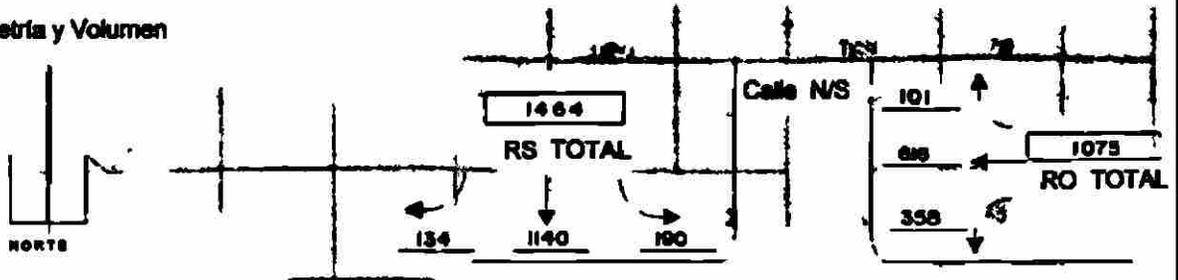
Los cálculos de los análisis de capacidad con el nuevo valor de flujo de saturación (2050 veh/hr/c) da como resultado un mejor nivel de servicio, al disminuir las demoras por vehículo, para el ejemplo analizado utilizando el nuevo valor de flujo de saturación es posible calcular la demora por vehículo.

El nuevo valor de flujo de saturación se emplearía para análisis operacional, así como para diseñar los tiempos de las fases de un semáforo, estos cálculos serán representativos de las condiciones prevaletientes del tránsito y de los usuarios en el área Metropolitana de Monterrey.

MODULO DE ENTRADA

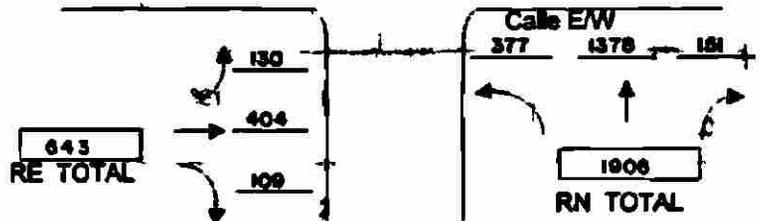
Intersección:	Av. Churubusco con Av. Ruiz Cortines Con el nuevo valor de flujo de Saturación (2050 veh/hr/c)	Fecha:	15-Dic-97
Analista:	D. E. I. T.	Período Analizado:	7:45-8:45
Proyecto No.:	↑	Tipo de Área:	<input type="checkbox"/> CBD <input checked="" type="checkbox"/> Otro
		Ciudad/Estado:	Monterrey, N.L.

Geometría y Volumen



Identificar en el Diagrama

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



CONDICIONES GEOMETRICAS Y DE LA CIRCULACION

ACCESO	PENDIENTE (%)	% HV	Carril de Estacionamiento Adyacente		Autobús (NB)	FHP	Conflicto Peatonal (peat/hr.)	Semáforo Para Peatones		Tipo de Arribo
			S o N	Nm				S o N	Tiempo Min.	
RE	1	8	N	0	0	0.94	50	N	40.8	3
RO	1	2	N	0	0	0.94	50	N	40.8	3
RN	2	5	S	20	15	0.94	50	N	27.0	3
RS	2	7	N	0	15	0.94	50	N	27.0	3

Pendiente: + ascendente - descendente
 HV: veh. con más de 4 ruedas.
 Nm: Maniobras de Estación/hr.
 N_a: Parada de Autobuses/hr.
 FHP: Factor de Hora Pico.
 Conflicto Peatonal= peat/hr.
 Min. Tiempo: Mínimo Verde Para Cruce Peatonal.
 Tipo de arribo: Tipo 1-5

FASES

SEÑALIZACION	RN	RE	RS	RO				
Tiempo	V= 27 A+R= 3	V= 22 A+R= 3	V= 32 A+R= 3	V= 27 A+R= 3	V=	A+R=	V=	A+R=
Fijo o Actuado	FIJO							
Vuelta Protegida	→							
Vuelta Permitida		↑						
Peatones								
								Duración del Ciclo 120...Seg.

Figura 44.- Módulo de Entrada, Ejemplo 2.

MÓDULO DE AJUSTES DE VOLUMENES										
1 Acceso	2 Movimiento	3 Volumen Movimiento (ubr)	4 Factor de Hora Pico FHP	5 Intensidad Máxima (ubr) 3-4	6 Grupo de Carreles	7 Intensidad en Carreles de Grupo Vg (ubr)	8 Número de Carreles U	9 Utilización de Carreles Factor U Tabla 6	10 Intensidad Ajustada V (ubr) 7-9	11 prop. de LT o RT Por o Por
RE	LT	130	0.94	138		138	2	1.03	142	LT 1.0
	TH	404	0.94	430		430	2	1.05	461	
	RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RO	LT	358	0.94	381		381	1	1.0	381	LT 1.0
	TH	618	0.94	655		763	2	1.05	801	RT 0.14
	RT	101	0.94	107						
RN	LT	377	0.94	401		401	1	1.0	401	LT 1.0
	TH	1378	0.94	1466		1466	4	1.10	1613	
	RT	151	0.94	161		161	1	1.0	161	RT 1.0
RS	LT	190	0.94	202		202	2	1.03	208	LT 1.0
	TH	1140	0.94	1213		1213	4	1.10	1334	
	RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 45. Módulo de Ajuste de Volúmenes, Ejemplo 2.

MODULO DEL VALOR DE FLUJO DE SATURACION												
Grupo de Carriles		3 Intensidad de Saturación Ideal (veh/c)	Factores de Ajuste									13 Intensidad Saturación ajustada S (veh/c)
1 Aco.	2 Movimiento de los grupos de carriles		4 No. de Carriles N	5 Ancho de Carril m	6 Vehículos Pesados m	7 Fond. k	8 Estacionam. k	9 Bloqueo de Autobuses k	10 Tipo de Acer. k	11 Giro Der. k	12 Giro Izq. k	
				Tabla 7	Tabla 8	Tabla 9	Tabla 10	Tabla 11	Tabla 12	Tabla 13	Tabla 14	
RE	LT	2050	2	0.97	0.926	0.995	1.0	1.0	1.0	1.0	0.95	3481
	TH	2050	2	0.97	0.926	0.995	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3664
	RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RO	LT	2050	1	0.97	0.98	0.995	1.00	1.0	1.0	1.0	0.95	1842
	TH	2050	2	0.97	0.98	0.995	1.00	1.0	1.0	0.979	1.00	3797
	RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RN	LT	2050	1	0.97	0.953	0.99	1.0	1.0	1.0	1.0	0.98	1782
	TH	2050	4	0.97	0.953	0.99	1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	7504
	RT	2050	1	0.97	0.953	0.99	0.80	0.94	1.0	0.826	1.0	1185
RS	LT	2050	2	0.97	0.935	0.99	1.00	1.0	1.0	1.0	0.95	3497
	TH	2050	4	0.97	0.935	0.99	1.00	0.98	1.0	1.0	1.0	7215
	RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 46. Módulo de Ajuste del Valor de Flujo de Saturación, Ejemplo 2.

MODULO DE ANALISIS DE CAPACIDAD								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceso	Movimiento de Grupo de Carriles	Volumen Ajustado V (v/hr)	Intensidad Saturación Ajustada S (v/hr)	Relación de Intensidades vs S	Relación Tiempo de Verde gC	Capacidad Grupo de Carriles C (v/hr)	Relación V/C 37 X	Grupo de Carriles Crítico (r)
RE		142	3481	0.041	0.183	637	0.223	
		451	3664	0.123	0.183	671	0.672	*
		-	-	-	-	-	-	-
RO		381	1842	0.207	0.225	414	0.92	
		801	3797	0.211	0.225	854	0.938	*
		-	-	-	-	-	-	-
RN		401	1782	0.225	0.225	401	1.0	*
		1813	7504	0.215	0.225	1888	0.958	
		161	1165	0.138	0.225	262	0.615	
RS		208	3497	0.059	0.267	934	0.223	
		1334	7215	0.185	0.267	1926	0.693	*
		-	30	-	-	-	-	-
Duración del Ciclo C = <u>120</u> Seg.					$\sum (v/s) = 0.744$ Crítico			
Tiempo Perdido por Ciclo L = <u>12.0</u> Seg.					$x = \frac{\sum (v/s)C}{C-L} = 0.827$			

Figura 47. Módulo de Análisis de Capacidad, Ejemplo 2.

MODULO DE NIVEL DE SERVICIO												
Grupo de Carriles		Primera Demora				Segunda Demora			Demora y NS Grupo de Carriles		Demora Total y NS	
Acc.	Mov. de Grupo de Carriles	Retardo α X	Relación de Vendedores ρ_C	Demora unitaria de Seg.Veh.	Ajuste factor DF Tabla 16	Capacidad de Grupo de Carriles C (veh)	de . col. Partido m. Tabla 16	Demora incremental de seg./veh.	Demora, d Seg/veh. (90% - 95)	N.L. Opc. de Carriles Tabla 2	Dem. Acc. (seg/veh)	NS Acc. Total Tabla 2
RE		0.223	0.183	31.7	1.0	637	16	0	31.7	D	35.4	D
		0.672	0.183	34.7	1.0	671	16	1.8	36.6	D		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RO		0.920	0.225	34.5	1.0	414	16	18.3	52.8	E	49.2	E
		0.938	0.225	34.7	1.0	854	16	12.8	47.5	E		
		-	-	-	-	-	-	-	15	E	-	-
RN		1.0	0.225	35.3	1.0	401	16	34.8	69.9	F	48.5	E
		0.958	0.225	34.9	1.0	1688	16	9.6	44.5	E		
		0.615	0.225	31.8	1.0	262	16	3.0	34.8	D		
RS		0.223	0.267	28.1	1.0	934	16	0	28.1	D	30.3	D
		0.693	0.267	30.1	1.0	1928	16	0.8	30.9	D		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Demora en la Intersección <u>42.2</u> seg./veh.						NS de la Intersección <u>E</u> (Tabla 2)						

Figura 48. Módulo de Nivel de Servicio, Ejemplo 2.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Manual de Capacidad Vial (1994) está basado, principalmente, en los estudios que se han realizado en los Estados Unidos de América, éste se utiliza en nuestro país para calcular la capacidad de las carreteras, tanto para el diseño como para determinar la operación de la infraestructura vial; aunque, es lógico pensar que las condiciones que imperan en nuestro país son diferentes a las de Estados Unidos de América.

Por lo tanto, se propone que después de la realización de esta investigación, se modifique el valor de flujo de saturación ideal para el análisis de la capacidad de intersecciones semaforizadas, para que los resultados obtenidos con este ajuste, realmente representen las condiciones en que operan las intersecciones semaforizadas, en el área Metropolitana de Monterrey.

Esta investigación verifica y comprueba la hipótesis planteada al inicio, pero lo que es más importante, brinda un valor de flujo de saturación representativo para las condiciones que prevalecen en México; además, muestra la información, necesaria para realizar un análisis de capacidad en intersecciones semaforizadas. Con estos resultados se podrán estimar con mayor exactitud los siguientes parámetros:

- Las Demoras por vehículo (perdidas horas/hombre):
- Los Tiempos de recorrido.
- La disminución en los grados de Contaminación
- La menor ocurrencia de Accidentes

Con la estimación representativa para México de estos parámetros, al ingeniero o el planificador se ayudarán para incrementar la información en que se sustente su criterio para la toma de decisiones, en materia de:

- Evaluación de proyectos.
- Diseño de intersecciones a Nivel y Desnivel.
- Diseño de tiempos de semáforos.
- Justificación de la colocación de un semáforo.

En el capítulo VII, se efectuó un ejemplo comparativo entre el considerar o no el nuevo valor de flujo de saturación (2050 veh/hr/c). Se observó que los niveles de servicio obtenidos en los análisis son muy similares a los que se presentan en la realidad; ya que con el valor de flujo de saturación anterior (1900 veh/hr/c) se podían obtener niveles de servicio bajos y demoras muy superiores a los reales. Este error ya no se cometerá al utilizar el nuevo procedimiento que se plantea como resultado de esta investigación.

Actualmente, el Manual de Capacidad Vial, no es una norma; pero define los niveles de servicio en una forma cuantitativa y cualitativa y no recomienda niveles mínimos de aceptabilidad, ya que esto dependerá de los recursos económicos con los que se cuente. Con el tiempo, este Manual pasará a formar parte de las normas, tal como lo requieren diversos organismos y los especialistas en esta área.

IX. BIBLIOGRAFIA

U.S.A. NATIONAL RESEARCH COUNCIL
Transportation Research Board
Highway Capacity Manual
Washington, D.C.
1992

CAL Y MAYOR RAFAEL
Ingeniería de Tránsito
México
Representaciones y Servicios de Ingeniería
1994

GUIDO RADELAT EGUES
Manual de Ingeniería de Tránsito
Argentina
Internacional Road Federation.

RODOLFO ALDAPE CANTU

JOSE JALLE ALARI

Los Semáforos y el Control Dinámico del Tránsito
México
Representaciones y Servicios de Ingeniería

PAUL. C. BOX JOSEPH C. OPPENLANDER

Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito
México
Representaciones y Servicios de Ingeniería

RICHARD A. JONHSON.

Probabilidad y Estadística para Ingenieros de Miller Y Freud.
5ta. Edicion
Prentice Hall, Hispanoamericana.

