00711
TTE-N

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN

"METODOLOGIA PARA EL ANÁLISIS DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS"

Tesina sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios Maestría en Ingeniería de Transporte para optar al grado de Master en Ingeniería de Transporte

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

PRESENTADO POR:

CARLOS USEDA RAMÍREZ

DENIS JOSE SILVA MERCADO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

Universidad Nacional de Ingeniería
Nicaragua
Septiembre 2003

M.T.I.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

DEDICATORIA

Dedico el esfuerzo de este trabajo:

A **DIOS** nuestro señor, luz que alumbra mi camino, por la oportunidad que me ha brindado ante la vida.

A la memoria de mi madre **LIGIA RAMIREZ VALLADARES**, quien gracias a su férrea voluntad pudo hacer realidad mis sueños.

A mi padre **CARLOS USEDA GOMEZ**, un ejemplo en mi vida, quien desde niño me inculcó el amor al saber.

A la memoria de mi hermano **JOSE**, con quien compartí aquellos días de niñez, llenos de ingenuidad y alegría, aquellos días de adolescencia, llenos de amor, sumisión y rebeldía, aquellos años de Universidad, que calaron profundamente en nuestras vidas, aquellos años juntos que nos unieron para siempre.

A mis hijos, **Mayra**, **Jania**, **Jessica** y **Nigel Omar**, como un ejemplo que ellos deben imitar y superar.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

DEDICATORIA

Dedico el esfuerzo realizado en el presente trabajo a la gloria de Dios y la Virgen de Guadalupe.

De igual forma dedico este esfuerzo a mi Madre Isabel y mi segunda Madre Doña Maria, a mi esposa Brenda y mi hijo Denis.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro agradecimiento a quienes colaboraron desinteresadamente en el desarrollo de este trabajo, a la Firma consultora CONSULTRANS, quienes en todo momento nos brindaron su apoyo técnico y de equipo de campo, al Ingeniero Alfredo Canales de COMERGESA quien nos asesoró en lo correspondiente al tema de semaforización, a la firma consultora PROINTEC quienes colaboraron en el levantamiento de campo, al Ing. Gilberto Chavarría de la Alcaldía de Managua quien nos asesoró y suministró los registros existentes de esa institución, a la Dirección de Administración de Pavimentos del MTI.

De manera especial agradecemos la colaboración del Ingeniero Bernardo Calvo, Tutor de nuestra Tesis.

Finalmente expresamos nuestro sincero agradecimiento al Organismo financiero Banco Mundial, quien hizo posible la realización de esta Maestría, al MTI por darnos oportunidad de participar en ella y a la Universidad Nacional de Ingeniería por enriquecer nuestro conocimientos en el ramo de la ingeniería de transporte, y a todos aquellos que de una u otra manera aportaron al desarrollo de la presente tesina.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

Esta Tesina fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Maestría de Ingeniería de Transporte de la universidad Nacional de Ingeniería, como requisito parcial para optar al grado de Master en Ingeniería de Transporte.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

_____

Presidente

_____

Secretario

_____

Vocal

_____ _____

Carlos Useda Ramirez Denis Silva Mercado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.176
Managua, Mayo 15 del 2003.

Ingenieros
CARLOS ALBERTO USEDA RAMIREZ
DENIS SILVA MERCADO
Presente

Estimados Tesistas:

Es de mi agrado informarles que el **PROTOCOLO** de su Tesina de la Maestría del Transporte, titulado **"METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS"** Ha sido aprobada por esta Decanatura .

Así mismo les comunico estar totalmente de acuerdo que el tutor de su trabajo final sea el **Ing. BERNARDO CALVO ROJAS.**

La fecha limite para que presente concluido su trabajo de investigación debidamente revisado por su tutor guía será el 20 de Agosto del 2003.

Esperando de ustedes puntualidad en la entrega de su tesina, me suscribo.

Atentamente,

DECANO
MANAGUA, NICARAGUA

ING. JULIO MALTEZ MONTIEL
Decano

CC: Tutor
Lic. Narda Briones – Fortalecimiento Institucional M.T.I.
Archivo-consecutivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERIA DE TRANSPORTE

METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

INDICE

			PAGINA
CAPITULO I	**I.1**	INTRODUCCION	2 - 3
	I.2	ANTECEDENTES	3 - 5
	I.3	JUSTIFICACION	5
	I.4	OBJETIVOS	6
CAPITULO II	**TEORIA SOBRE INTERSECCIONES**		7 - 24
CAPITULO III.	**METODOLOGÍA DE TRABAJO**		25 - 37
CAPITULO IV.	**IV.1**	**LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**	38
	IV.1-1	LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE INTERSECCIONES	38 - 41
	IV.1-2	CONDICIONES SEMAFÓRICAS	42 - 51
	IV.1-3	CONTEOS DE TRÁFICO	52 - 57
	IV1-4	OTROS LEVANTAMIENTOS DE CAMPO	58
CAPITULO V.	**V.1**	**RESULTADOS**	59
	V.1-1	ESTUDIOS DE VELOCIDAD	59 - 62
	V.1-2	ESTUDIOS DE FLUJO DE SATURACION	63 - 67
	V.1-3.1	ESTUDIO DE DEMORAS	67 - 70
	V.1-3.2	ESTUDIO DE COLAS DE VEHÍCULOS	71 - 78
	V.1-4	CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO	79
	V.2	**ANÁLISIS DE RESULTADOS**	80 - 92
CAPITULO VI.	**VI.1**	**CONCLUSIONES**	93 - 94
	VI.2	**RECOMENDACIONES**	94 - 98
	VI.3	**BIBLIOGRAFÍA**	99
	VI.4	**ANEXOS**	100 - 123

CAPITULO I

I.1 INTRODUCCIÓN

Las intersecciones semaforizadas constituyen uno de los componentes más complejos de un sistema vial. Para analizarlas hay que tener en cuenta una amplia variedad de variables, tales como, intensidad y distribución de los movimientos vehiculares, la composición del tránsito, las características geométricas de la vía y los detalles de la aplicación de los semáforos.

El presente trabajo consiste en una investigación de las metodologías de análisis de intersecciones semaforizadas y su aplicación a nuestras condiciones nacionales. Para ello, se implementa una metodología de campo que permite conocer los valores reales de las principales variables que intervienen en el análisis de intersecciones semaforizadas, tales como, volúmenes de tráfico, velocidad, flujo de saturación, tiempo de demora media de vehículos y estudio de colas de vehículos, lo que finalmente lleva a determinar la capacidad y niveles de servicio.

El estudio se centra en una de las arterias de mayor circulación de la ciudad de Managua, como es la pista Juan Pablo II, desde el Siete Sur hasta la intersección con la Carretera Norte en el sector de Plásticos Robelo y de aquí hasta la intersección La Subasta, así como otros puntos de la ciudad seleccionados por ser un punto critico de la ciudad, como es la intersección de Rubenia ó por cumplir con las condiciones físicas requeridas por el estudio, como es el caso de la intersección de Villa Fontana.

El propósito de este trabajo es, por una parte cumplir con la etapa investigativa, académica, sobre temas aún no abordados con suficiente profundidad ó poco abordados en nuestro medio, como un incentivo ó invitación a los profesionales de la Ingeniería a profundizar un poco más sobre este tema. Por otra parte, trascender a la etapa de aplicación, en aras de tratar de aportar a la solución de la problemática de congestionamiento que presenta la ciudad de Managua.

En la actualidad se hace necesario modernizar la planeación y el diseño de las intersecciones semaforizadas, mediante modelos matemáticos que permitan la optimización del sistema implementado hasta el momento, lo que ha redundado en el desarrollo de diferentes programas computacionales, que es conveniente confrontar con la realidad vial y así establecer su aplicabilidad en nuestro medio, no menos importante es plantearse la necesidad de modernización de nuestro sistema actual.

I.2 ANTECEDENTES

La Red vial de la ciudad de Managua compuesta por distribuidores primarios, colectores primarios y colectores secundarios, presenta aproximadamente 180 intersecciones, de estas se identifica solamente una con las características de paso a desnivel, 9 son Rotondas (no se incluyen las últimas construidas en la carretera norte, ya que no son soluciones a intersecciones, sino retornos) y 58 intersecciones son semaforizadas. Otras intersecciones tienen señales de alto para dirigir el tráfico. De las 58 intersecciones semaforizadas el 40% presentan condiciones de congestionamiento en casi cualquier hora del día, la tendencia lógica es de complicación en los próximos años, alcanzando niveles de congestionamiento intolerables.

Un estudio de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón(JICA), titulado **"Plan Integral de Transporte y Vialidad del Municipio de Managua"** efectuado en 1998, recomendaba realizar encuestas de conteo de tráfico en todas esas 58 intersecciones señalizadas, análisis de intersecciones, ajuste de las fases de semáforos y el mejoramiento geométrico menores para las intersecciones criticas. Cinco años después las necesidades de tomar en cuenta dichas recomendaciones son mayores, el nivel de saturación de algunas intersecciones se ha incrementado, sin embargo, poco se ha hecho, en lo que corresponde al mejoramiento de las intersecciones existente, tal como lo recomendaba este estudio.

En lo que respecta al estudio y análisis de intersecciones, debemos reconocer la inquietud e iniciativa que ha tenido la Universidad Nacional de Ingeniería(UNI) por medio de la Facultad de Tecnología de la Construcción(FTC), al desarrollar algunos temas de investigación relacionados con esta problemática. No obstante, hay mucho por hacer desde el punto de vista de la investigación, esta ha sido la razón fundamental que nos ha llevado a desarrollar este tema, lamentablemente existen restricciones de tiempo que obviamente nos limitan el alcance y profundización de nuestro trabajo, pero que consideramos puede ser un pequeño aporte ó al menos un incentivo a otros para investigar las condiciones particulares de nuestras vías y el comportamiento real del tráfico, para plantear soluciones a los problemas a que hemos hecho referencia.

En general se puede afirmar que la red vial de Managua ya esta congestionada en sus arterias principales, producto del incremento en la flota vehicular de manera desordenada, así como también debido a la falta de implementar un plan de ordenamiento territorial y de población.

Para la solución de todo lo anterior se requiere de acciones inmediatas, a corto, mediano y largo plazo que van desde la ordenación y establecimiento legal e institucional para garantizar la estabilidad del plan de uso del suelo, la reubicación de asentamientos existentes, respeto al derecho de vía, **completar y profundizar la identificación de las secciones congestionadas**, desarrollar las vías en áreas urbanizadas planificadas, hasta desarrollar nuevas vías.

I.3 JUSTIFICACION

. La situación actual de congestionamiento de algunas intersecciones localizadas en las arterias principales de la ciudad de Managua, así como las condiciones del sistema de semaforización requiere de especial atención, tanto a nivel de planeación como de diseño.

. Los estudios de intersecciones que se han realizado son muy limitados y superficiales, en la mayoría de los casos no se llegan a estudiar todas las variables que intervienen en el análisis, tales como velocidad, flujos de saturación, demoras reales y estudio de colas de vehículos. Otras, como conteos vehiculares son muy deficientes y sumamente limitados en el tiempo.

. Es necesario desarrollar el tema de intersecciones semaforizadas iniciando con trabajos de investigación que nos permitan conocer en nuestro medio los valores reales de las variables que intervienen en el análisis de estas, trabajos que deberán tener continuidad con el propósito de, por una parte, llegar a plantear soluciones más eficientes a la problemática actual y futura, por otra, llegar a proponer metodologías de análisis más acorde a nuestra realidad.

1.4 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar una metodología de campo para el estudio de las variables que intervienen en el análisis operacional de intersecciones semaforizadas, cuyo propósito final es determinar la capacidad y el nivel de servicio de estas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Estudiar las condiciones actuales de las principales intersecciones semaforizadas de dos de las arterias principales de Managua.

2. En base a los resultados de este trabajo proponer algunas recomendaciones para futuros estudios y análisis de intersecciones semaforizadas.
3. Proponer algunas soluciones puntuales en par algunas intersecciones localizadas en el tramo en estudio.

CAPITULO II

TEORIA SOBRE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

Con el propósito de que se tenga un mayor entendimiento y comprensión del tema, se ha destinado un capítulo para la parte teórica, punto de partida de las investigaciones.

En el se muestran algunas definiciones de términos que se mencionaran en lo sucesivo y durante todo el desarrollo de este documento. Se presenta la Metodología para el análisis de intersecciones semaforizadas del Manual Norteamericano de Capacidad (HCM), la cual ha servido de guía para el desarrollo de este trabajo.

II.1 DEFINICIONES

Capacidad: Es la tasa de volumen máximo que puede pasar por una intersección desde un acceso, bajo condiciones prevalecientes.

Nivel de servicio: es una medida de la calidad de la circulación, que se traduce en el grado de satisfacción o contrariedad que experimenta quien usa la vía.

Condiciones prevalecientes: son condiciones existentes que influyen directamente en la capacidad de las vías.

Flujo de saturación: El volumen que entraría en una intersección semaforizada, por un carril o acceso, si el semáforo estuviera siempre en verde y los vehículos no parasen.

Intervalo de entrada: tiempo que transcurre entre la entrada de un vehículo y la del siguiente.

Intervalo de saturación: se produce cuando los intervalos de entradas se vuelven constante.

Brecha: tiempo que media entre el paso por un punto de una vía del extremo trasero de un vehículo y el delantero del que le sigue.

Demora media por control: es el tiempo perdido por detención, por aceleración y deceleración y el tener que avanzar lentamente en una cola intermitente.

Relación (V/C): es la relación volumen(demanda) capacidad(oferta).

Semáforos: son dispositivos electromagnéticos y electrónicos diseñados y producidos para facilitar el control del tránsito de circulación discontinua

Ciclo: secuencia completa de indicaciones del semáforo.

Intervalo: período de tiempo durante el cual todas las indicaciones permanecen constantes.

Movimiento Direccional: circulación de vehículos que siguen direcciones determinadas (a la izquierda, de frente, a la derecha).

Fase: parte del ciclo asignada a cualquier combinación de movimientos direccionales que reciben simultáneamente el derecho de paso durante uno ó más intervalos.

Desfase: En un sistema de semáforos, es la diferencia de tiempo entre el comienzo de una fase y el inicio de la fase correspondiente en otro, real ó imaginario, que se toma de referencia.

Tiempo de verde: Es el tiempo dentro de una fase cuando se exhibe la indicación verde.

Tiempo de verde efectivo: Es el tiempo que se aprovecha por los movimientos que se permiten en una fase dada. Se suele tomar como el tiempo de verde más el amarillo y menos el tiempo perdido para la fase considerada.

Semáforos de tiempo fijo: Se fijan previamente las duraciones de ciclo y los intervalos que permanezcan constante.

Semáforos semiaccionados por el tránsito: Se acostumbra en intersecciones de una vía preferente con otra subordinada. La indicación verde se exhibe permanentemente para los accesos de la vía preferente, hasta que los detectores en los accesos de la vía subordinada determinan que ha llegado uno ó más vehículos.

Semáforos accionados por el tránsito: Aquí todas las fases del semáforo se regulan por las actuaciones en los detectores. Se suelen especificar duraciones máximas y mínimas de los intervalos de verde para cada fase, así como el orden de las fases.

Giros protegidos: Son los movimientos vehiculares que se hacen sin conflicto alguno.

Giros permitidos: son los que se permiten cuando hay conflictos con movimientos vehiculares o peatonales, tales como las vueltas a la izquierda en oposición de movimientos de frente opuestos, o las vueltas a la derecha a través de un paso peatonal con derecho a cruzar.

II.2 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

En la Metodología del **HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM)** existen dos tipos de análisis para intersecciones semaforizadas, estas son: **el análisis operacional y el análisis de planeación.**

El análisis operacional permite determinar la capacidad y el nivel de servicio de cada grupo de carriles o acceso, lo mismo que el nivel de servicio de la intersección.

El análisis de planeación es para dimensionar la intersección o para determinar la suficiencia de la capacidad de la intersección para fines de planeación. En este nivel de análisis no se obtienen niveles de servicio. Sin embargo, se obtienen criterios acerca de la intersección con respecto a su funcionamiento (funciona bajo capacidad, cerca de capacidad o sobre capacidad).

Para el desarrollo de esta investigación nos centraremos en la metodología para el análisis operacional de intersecciones, a partir de allí, pero introduciendo algunas variantes, en lo que respecta a las metodologías de campo, es que estudiaremos el comportamiento y determinaremos los valores reales de esas variables (volúmenes de tránsito, velocidad, flujo de saturación, tiempo de demoras, colas de vehículos) en las principales arterias de la red vial de Managua.

Tomando en cuenta la complejidad de este análisis, el **HCM** divide el procedimiento en cinco módulos, los cuales se resumen a continuación:

1. MODULO DE ENTRADA

En este módulo se recopilan los datos necesarios para efectuar un análisis operacional, para ello se requiere conocer:

a) **Las condiciones geométricas**, tales como: tipo de área, número de Carriles, ancho de carriles, pendientes de accesos, existencia de carriles exclusivos para giros a la izquierda o derecho, longitud de los carriles de giro y condiciones de estacionamiento.

b) **Las condiciones de tránsito**, esto es: volúmenes por movimiento izquierdo, derecha y de frente en vehículos por hora (VPH), factor de hora de máxima demanda (FHMD), porcentaje de vehículos pesados, volúmenes de peatones conflictivos (peatones / hora), número de autobuses que se paran en la intersección, actividad de estacionamiento en maniobras de estacionamientos por hora y tipo de llegada.

c) **Condiciones de semaforización**, se refiere a la longitud de ciclo en segundos, tiempos de verdes, operación del semáforo (actuado vs. Fijo), actuación para peatones, tiempo verde mínimo para peatones y plan de fases).

Dentro de los conceptos anteriores conviene aclarar los siguientes:

Tipos de llegada

Este concepto es de suma importancia, ya que la forma en que los vehículos se aproximan a la intersección tiene una influencia importante en el estimado de las demoras y determinación del nivel de servicio. El manual de tránsito identifica las diferencias por tipo, según el siguiente detalle:

Tipo 1: El peor. Una columna densa que llega al principio de la fase roja.

Tipo 2: Columna densa que llega a la mitad de la fase roja o una columna dispersa durante toda la fase roja.

Tipo 3: Llegadas aleatorias, generalmente regidas por una distribución de Poisson.

Tipo 4: Columna densa que llega a la mitad de la fase verde o columna dispersa que llega durante toda la fase verde.

Tipo 5: El mejor. Una columna llega al inicio del verde.

Tipo 6: Este tipo de llegadas esta reservada para progresiones de calidad excepcional, en rutas con características de progresión ideales. Representa columnas densas a lo largo de un número de intersecciones cercanas unas con otras con tránsito transversal mínimo, casi despreciable.

Fase verde mínima requerida por los peatones

El tiempo verde mínimo requerido por los peatones para cruzar una intersección esta dado por la siguiente ecuación:

$$Gp = 7.0 + (W/1.2) - Y \qquad \text{(ecuación 1)}$$

Siendo:

Gp = tiempo de verde mínimo requerido por los peatones, en segundos.

W= distancia desde el borde de la banqueta hasta el centro del carril más lejano de la vía que se intenta cruzar, o hasta el refugio (isla central de más de 1 m.) más cercano, en m.

Y= intervalo de cambio, todo rojo más amarillo, en segundos.

Por considerarlo de importancia y para tenerlos como referencia, a continuación se presentan valores prefijados de uso en el análisis operacional y de planeación de intersecciones. Estos valores están basados en datos recopilados en los Estados Unidos. En otros países, estos valores pueden variar y deben ser calibrados.

Características de Tránsito	**Valor**
- Tasa de flujo de saturación ideal	1900 vphpvpc
- Volumen conflictivo de peatones	bajo: 50 peat./hr.; moderado: 200 peat/hr; Alto: 400 peat/hr.
- Porcentaje de vehículos pesados	2
- Pendiente (porcentaje)	0
- Número de autobuses parándose	0/hr.
- Condiciones de estacionamiento	No hay estacionamiento
- Tipos de llegadas	
- Grupos de carriles con movimiento de frente	3 si aislada
- Grupo de carriles sin movimiento recto	4
- Factor de hora de máxima demanda	0.90
- Factor de utilización de carril	

Semaforización y Geometría

- Tipos de semáforos	Tiempo fijo
- Rango de longitud de ciclos	60 – 120 seg.
- Tiempo perdido	3.0 seg./fase
- Amarillo más todo rojo	4.0 seg./fase
- Tipos de área	No DCC (Distrito Central Comercial)
- Ancho de carriles	3.65 m.

2. MODULO DE AJUSTES DE VOLUMENES

a) Cálculo del factor de hora de máxima demanda.

Los volúmenes horarios se convierten a flujo durante 15 minutos a través del factor de la hora de máxima demanda, según lo siguiente:

$$Vp = \frac{V}{FHMD} \qquad \text{(ecuación 2)}$$

siendo:

Vp : Volumen ajustado por el factor de hora de máxima demanda

V : volumen durante la hora de máxima demanda

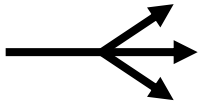
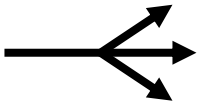
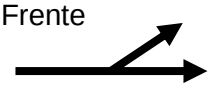
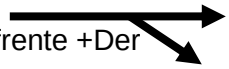
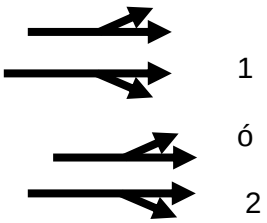
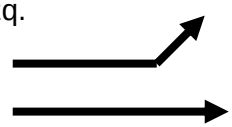
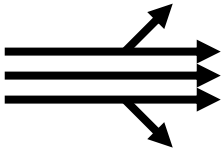
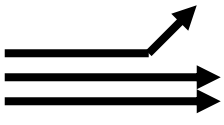
FHMD: factor hora de máxima demanda

b) Determinación de grupo de carriles

El **HCM** calcula por separado una Capacidad para cada grupo de carriles de acceso a la intersección. El grupo de carriles se define como uno o más carriles de circulación con una sola línea de detención y cuya capacidad la comparten todos los vehículos que circulan por el carril o carriles. Se determinan principalmente por el movimiento direccional que sirven.

De este modo, un carril exclusivo para vuelta a la izquierda constituye un grupo, pero si se trata de un carril izquierdo en el que van mezclados vehículos que giran a la izquierda y otros que siguen de frente, y estos últimos predominan, el carril izquierdo se puede agrupar con otro u otros que sirven exclusiva o predominante vehículos que siguen de frente. El Cuadro II.2-1 presenta algunas posibilidades de agrupamiento típico de carriles. (Manual de Tránsito. Dr. Guido Radelat)

(Cuadro II.2-1) POSIBILIDADES DE AGRUPAMIENTO DE CARRILES

No. De Carriles	Movimiento por carril	Posibilidades de Agrupación
1	Izq. + de frente + der 	1. 
2	Exc l. Izq. De frente + der.	2. posibilidades de grupo
2	Izq + Frente  De frente +Der 	 1 ó 2
3	Excl izq.  De frente De frente + derec	 1 2 ó  1 2 3

Las siguientes recomendaciones aplican para los agrupamientos de carriles:

1. Carriles exclusivos a la izquierda o derecha deben ser normalmente designados como un grupo de carriles separados. En caso de carriles compartidos de frente y giros a la derecha o izquierda, el grupo de carriles depende de la proporción de giros dentro del carril.

2. En afluentes con carriles a la izquierda exclusivos, todos los demás carriles en el afluente son considerados, por lo general, como un grupo de carriles.

3. Cuando un afluente con más de un carril incluye un carril que es compartido por giros a la izquierda y tránsito de frente, es necesario determinar si las condiciones son equilibradas o si hay tantos giros a la izquierda que el carril actúa como un “carril exclusivo a la izquierda de facto”.

c. Ajuste por Distribución de Carriles

Después de que los volúmenes de tránsito han sido ajustados para reflejar las fases de flujo máximo de 15 minutos y los grupos de carriles han sido establecidos, las tasas de flujo en cada uno de los grupos de carriles se ajustan para que reflejen las diferencias de distribución entre carriles. Cuando existe más de un carril, la distribución de los volúmenes de tránsito no es por lo general uniforme. El ajuste por utilización incrementa la tasa de flujo de tránsito de análisis para reflejar el efecto del tránsito en el carril más utilizado. Entonces:

$$V = vg * U \qquad \text{(ecuación 3)}$$

siendo:

V - Tasa de flujo ajustada para el grupo de carriles en VPH

Vg -- Tasa de flujo sin ajustar para el grupo de carriles en VPH

U - Factor de utilización de carril

$$U = \frac{Vgl * N}{Vg} \qquad \text{(ecuación 4)}$$

siendo:

Vgl -- Tasa de flujo sin ajustar en un carril con el mayor volumen en el grupo de carriles

N - Número de carriles en el grupo de carriles

b) Ajustes para Giros a la Derecha permitidos en Rojo (GDR)

Cuando GDR se permite, el volumen de vehículos que giran a la derecha se reduce por el volumen que gira durante la fase roja para ese afluente. El número de vehículos que giran a la derecha en rojo es en función a una serie de factores:

- Distribución de carriles en el afluente (compartidos o exclusivos)
- Demanda por movimiento a la derecha
- Visibilidad en el afluente
- Grado de saturación del flujo recto conflictivo
- Patrón de llegadas en el ciclo de semáforos
- Fases de semáforos a la izquierda en la calle conflictiva
- Conflictos con peatones

3- MODULO DE FLUJO DE SATURACIÓN

El flujo de saturación puede determinarse mediante estudios de campo o calcularse con la siguiente expresión:

$$S = So * N * fa * fhv * fp * fi * faut * fa * fder * fizq.$$

(ecuación 5)

donde:

S = tasa de saturación para el grupo de carriles, esta se expresa como el total para todos los carriles en el grupo de carriles bajo condiciones prevalecientes, en vphpv (vehículos por hora por verde)

So = tasa de saturación ideal por carril, por lo general 1,900 vphpvpc (vehículo por hora por verde por carril.

N = número de carriles en el grupo de carriles.

Fa = factor de ajuste por el ancho del carril

Fhv = factor de ajuste por vehículos pesados.

Fp = factor de ajuste por pendiente del afluente.

Faut= factor de ajuste para el efecto de bloqueo de autobuses que se paran cerca de la intersección.

Fa = factor de ajuste para el tipo de área.

Fder= factor de ajuste para giros a la derecha en el grupo de carriles.

Fizq.= factor de ajuste para giros a la izquierda.

En este módulo se calcula una tasa de flujo de saturación para cada grupo de carriles. Los cálculos comienzan con la selección de una tasa de saturación ideal, por lo general 1,900 vphpc (vehículos por hora por carril) y luego se ajustan de acuerdo a condiciones prevalecientes. Obviamente las medidas en el campo producen mejores resultados.

En intersecciones semaforizadas es importante tener conocimiento del comportamiento del tráfico para efectos de análisis y diseño. Conocer la tasa de servicio con la cual se descargo una cola de vehículos que espera en un semáforo es de sana importancia. La metodología del Manual de Capacidad (HCM) para estudios de saturación es la siguiente:

- Tomar nota de cuantos vehículos están parado en la cola al inicio de verde

Los factores de ajuste toman en cuenta las condiciones prevalecientes que son diferentes a las condiciones ideales, para las cuales el flujo de saturación ideal es de 1900 vphpcpv (vehículos por hora por carril por verde).

Las condiciones ideales son: 0% de pendiente, sin vehículos estacionados, sin vehículos girando a la izquierda y giros a la derecha en un máximo del 10% del tráfico total.

Los ajustes son:

- Por ajustes de carril (fa)
- Ajustes para pendientes y vehículos pesados
- Ajustes por actividad de estacionamiento
- Ajustes para giros a la derecha
- Ajustes para giros a la izquierda

4. MODULO DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD

a) Proporción de flujo para un grupo de carriles (v/s)i

Es la proporción de tiempo mínimo de verde que necesita el grupo de carriles "i"para mantener condiciones de flujo sub saturadas.

$$V/S = \frac{Volumen, Vi}{SaturaciónSi} \quad \text{(ecuación 6)}$$

b) Capacidad del grupo de carriles

La capacidad de un grupo de carriles está dada por la multiplicación del flujo de saturación del grupo por la proporción de verde efectivo para ese grupo con respecto al ciclo y se calcula así:

$$Ci = Si\left(\frac{verd.efect.}{C}\right) \quad \text{(ecuación 7)}$$

c) Proporción volumen / capacidad Xi

La Proporción de volumen / Capacidad para un grupo de carriles esta dada por lo siguiente

$$Xc = \frac{\sum\left(\frac{v}{s}\right)}{\left(\frac{C-L}{C}\right)} \quad \text{(ecuación 8)}$$

Donde C= Tiempo del ciclo; L= tiempo perdido; v/s= proporción de flujo para un grupo de carriles.

Cálculo De Niveles de Servicio

Los niveles de servicio de intersecciones semaforizadas están dados por el promedio de demoras de tiempo parado por vehículo. Los criterios para asignación de los niveles de servicio son los siguientes:

Cuadro II.2-2

NIVELES DE SERVICIO	DEMORAS DE TIEMPO PARADO POR VEHICULO (SEG)
A	MENORES DE 10
B	MAYORES DE 10 Y MENORES DE 20
C	MAYORES DE 20 Y MENORES DE 35
D	MAYORES DE 35 Y MENORES DE 55
E	MAYORES DE 55 Y MENORES DE 80
F	MAYORES DE 80

Fuente: Ingeniería de Transito, Dr. Guido Radelat.

Cálculo De Demoras

Las demoras promedio de tiempo parado por vehículo en un grupo de carriles esta dado por la siguiente ecuación:

$$d = d1 * DF + d2 \quad \text{(ecuación 9)}$$

$$d = 0.38 \frac{\left[1 - \left(\frac{ver.efect.}{C}\right)\right]^2}{1 - \left(\frac{ver.efect.}{C}\right) Min(x1)} + 173 x^2 \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \left(\frac{mx}{X}\right)} \right]$$

(ecuación 10)

donde:

d = demoras promedio

C = longitud de ciclo

Verd. Efect. /C = proporción verde para el grupo de carriles

X = proporción de volumen / capac., para el grupo de carriles

M = término que representa el efecto de los tipos de llegada y el grado de columna.

El primer término de la ecuación anterior corresponde a las demoras uniformes. El segundo término a las demoras de incremento, las demoras calculadas con la fórmula anterior son multiplicadas por un factor de ajuste que depende del tipo de llegadas.

Factores de Ajustes de Demoras

Este ajuste toma en cuenta el impacto del tipo de control y de la calidad de progresión sobre las demoras, los efectos son mutuamente exclusivos (no pueden ser ambos al mismo tiempo).

II.3 OTROS ASPECTOS TEÓRICOS

Por considerarlo de suma importancia para conocer los aspectos de campo que comprenden esta investigación, se amplia un poco más sobre los conceptos de flujo de saturación, los que se presentan a continuación.

La capacidad de una intersección esta en función del flujo de saturación y del tiempo de verde efectivo que asigna el semáforo, se expresa por medio de la siguiente ecuación:

Capac.(c).= flujo de sat.(S) * T. de verde efectivo(g efect)./T. de Ciclo(C)

(Ecuación 11)

El flujo, tasa o intensidad de saturación como es identificado en diferentes libros y manuales, es el flujo expresado en vehículos por hora, que es servido por un grupo de carriles, asumiendo que la fase verde, esta disponible indefinidamente en el acceso.

Para el cálculo del flujo algunos autores han propuesto la siguiente fórmula:

$$S = 525\ L$$ (ecuación 12)

donde L=ancho de la intersección en mts.

Esta fórmula (12) se aplica solamente si las intersecciones presentan condiciones de operación tales como: sin vehículos estacionados, sin vehículos girando a la izquierda y giros a la derecha en un máximo del 10% del tráfico total. Si las intersecciones no cumplen estas condiciones, la aplicación continúa siendo válida, aunque el flujo de saturación obtenido deberá ser corregido a fin de incorporar el efecto de condiciones específicas locales.

El flujo de saturación se define en términos de vehículos de pasajeros por hora de tiempo de verde, con el propósito de homogenizar en una unidad patrón los diversos tipos de vehículos que circulan en las vías. Para lograr lo anterior, a cada tipo de vehículo le corresponde un factor de equivalencia, que esta determinado en función de la relación de espacio entre éste y el vehículo patrón.

Parámetros internacionales sugieren los siguientes factores de equivalencia, que se muestran en el Cuadro III.2-1:

FACTORES DE EQUIVALENCIA PARA DIVERSOS TIPOS DE VEHÍCULOS

Cuadro III.2-1

TIPOS DE VEHÍCULOS	FACTOR DE EQUIVALENCIA
Automóvil	1.0
Camión liviano	1.0 < C2
Camión medio ó pesado	1.75, C2, C3
Bus	2.25
Camión articulado	2.5 T2, T3
Moto	0.33
Bicicleta	0.20

Esto factores de equivalencia fueron utilizados en el presente trabajo, en lo correspondiente a flujo de saturación, así mismo, se obtuvo estos valores para vehículos pesados y buses en base a las condiciones prevalecientes en las intersecciones estudiadas.

CAPITULO III

III. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En este capítulo se establece la Metodología de trabajo a implementar, es decir la manera como se ha programado el desarrollo de la investigación para alcanzar los objetivos planteados. Así mismo se definen los procedimientos de campo que se utilizarán en cada caso.

La metodología establecida para el desarrollo de este trabajo se dividió en cinco etapas, que son:

III.1 Recopilación de información

III.2 Trabajos de campo, los cuales a la vez los subdividiremos en: levantamiento físico de intersecciones, conteos de tráfico, determinación de las condiciones de los semáforos y estudios de los parámetros que intervienen en el análisis de intersecciones como son velocidad, flujos de saturación, demoras de vehículos y estudio de colas de vehículos.

III.3 Procesamiento y análisis de la información.

III.4 Elaboración de documento preliminar, realizado a lo largo del desarrollo de todo el trabajo.

III.5 Elaboración y Revisión documento final.

III.1 RECOPILACIÓN DE INFORMACION

. Investigación bibliográfica para el conocimiento de conceptos generales que faciliten el entendimiento de las variables a medir directamente ó estimar mediante cálculos.

. Investigación sobre metodologías de análisis de intersecciones semaforizadas, a partir de la cual se estableció el procedimiento para el desarrollo de esta trabajo. Fundamentalmente se parte de la Metodología del Manual de Capacidad norteamericano (HCM), cuyas investigaciones constantemente están siendo actualizadas, aunque también se obtuvo información de otras metodologías implementadas en otros países, tal como el Manual RILSA, realizado para condiciones de tráfico en Alemania u otras experiencias importantes, como es un experimento de campo realizado en la Universidad de Colombia, sobre esto último, solo se pudo obtener información básica, pero que es conveniente ampliar en un futuro, dado que este experimento es muy interesante por presentar condiciones de tráfico similares a las nuestras y cuyo objetivo fundamental es establecer una metodología aceptable que se ajuste a las condiciones reales propias de nuestro medio.

. Recopilación de información de campo ya existente y disponible, tal como conteos de tráfico que realiza la ALCALDÍA DE MANAGUA, revisión de estudios realizados con anterioridad, tanto a nivel académico desarrollados por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), como otros estudios de fundamental importancia que se han desarrollado sobre el tema, como es el **"Plan de vialidad y transporte del Municipio de Managua",** realizado por la Cooperación del Japón.

III.2 TRABAJOS DE CAMPO

Para el desarrollo de este trabajo, se seleccionaron diez intersecciones a las cuales se les realizaría un estudio de velocidades y flujo de saturación y de esas diez, se seleccionaron tres para el estudio de capacidad y nivel de servicio. Partiendo de esa selección y distribución por tipo de análisis, se programaron y desarrollaron los trabajos de campo, en el siguiente orden:

III.2.1 LEVANTAMIENTO FÍSICO DE INTERSECCIONES

Se refiere a la determinación de las condiciones geométricas, esto es, configuración física de las intersecciones en términos del número de carriles, ancho de carriles, pendientes de los accesos, movimientos por carril, ubicación de estacionamientos.

En el desarrollo de esta actividad se utilizó equipo de topografía y computación (estación total y personal especializada).

III.2.2 CONTEOS DE TRÁFICO

Con el propósito de conocer la demanda real , se realizaron conteos de tráfico en las intersecciones RUBENIA, ENEL Y SIETE SUR, estos conteos se efectuaron en horas pico, por tres días en las dos primeras y durante doce horas, por siete días en la tercera. Esto nos permite conocer el movimiento por acceso, por tipo de vehículo(livianos, buses y camiones).

III.2.3 DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE LOS SEMAFOROS

Se levantó “in situ” información relativa a fases y tiempos de los semáforos en cada una de las intersecciones (verde, amarillo, rojo y longitud de los ciclos).

III.2.4 ESTUDIOS DE VELOCIDAD

Con el propósito de disponer de una panorámica completa sobre todos las variables que interviene en el estudio, se realizó un estudio de velocidades

PROCEDIMIENTO

Para el estudio de velocidades, se utilizaron 3 vehículos, que se incorporaban y adecuaban al movimiento del flujo vehicular en las intersecciones, obteniendo así las velocidades reales de circulación. Las velocidades obtenidas fueron las que alcanzan los vehículos durante el cruce de la intersección, antes y durante se alcanza el flujo de saturación, así como los vehículos que pasan sin detenerse. También se determinó la velocidad de llegada de los vehículos a los accesos.

El número de pruebas realizadas para cada vehículo eran 10 por acceso, los tres vehículos se incorporaban a la cola de vehículos distribuidos a lo largo de ésta, de los resultados obtenidos se calculaba un valor promedio. Estos valores estaban en relación con las pendientes longitudinales de cada acceso y otras condiciones geométricas de las intersecciones.

III.2.5 ESTUDIOS DE FLUJOS DE SATURACION

Se seleccionaron 10 intersecciones, 6 de las cuales están ubicadas en la pista Juan Pablo II, 2 en la carretera norte, las otras 2 están ubicadas en Rubenia y Villa Fontana. En todas se observó las velocidades y los flujos reales de los vehículos. En el siguiente cuadro se detallan las intersecciones estudiadas:

Cuadro III.1

No	INTERSECCIÓN	CONOCIDO COMO
1	Pista Juan Pablo II – Carretera Sur	SIETE SUR
2	Pista Juan Pablo II - Pista Universitaria	ENEL CENTRAL
3	Pista Juan Pablo II – 27 Avenida	EL RIGUERO
4	Pista Juan Pablo II - Pista El Dorado	EL DORADO
5	Pista Juan Pablo II – Calle 14 de Sept.	EL EDEN
6	Pista Juan Pablo II – Pista Larreynaga	LARREYNAGA
7	Pista Juan Pablo II – Carretera Norte	PLASTICOS ROBELO
8	Carretera Norte – Pista Mayoreo	LA SUBASTA
9	Pista La Sabana – Pista Huembes	RUBENIA
10	Pista Juan Pablo II – Carretera a Masaya	VILLA FONTANA

Es importante destacar que para llevar a cabo esta actividad, es indispensable que se disponga de las condiciones de verde saturado, esto es, disponer de una cola de vehículo que permita mantener un flujo de saturación durante el tiempo de verde. Así mismo, tener control sobre las condiciones particulares del flujo de vehículos, como son los giros izquierdos y derechos, ya que en estas maniobras los vehículos generalmente consumen mayor tiempo que los vehículos que siguen de frente. También controlar los tipos de vehículos que forman el flujo, esto último debido a que los vehículos pesados (camiones y buses), por su mayor longitud y menor poder de aceleración que los automóviles, necesitan más tiempo para despejar la intersección, contrario a los vehículos menores como motos, que tienen una capacidad de movimiento superior al automóvil.

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL FLUJO DE SATURACIÓN

Para facilitar el trabajo y poder verificar datos se utilizó una cámara de video, estableciendo el siguiente procedimiento:

1) Una vez presentadas las condiciones de saturación, se hacen la tomas durante diez ciclos, en cada tiempo de verde, para cada acceso. La cámara se instala antes del semáforo y contiguo al acceso en estudio, de tal manera que se capte el perfil de la cola de vehículos, teniendo absoluto control sobre el movimiento de cada vehículo desde el instante en que cada uno inicia el movimiento hasta que pasa la línea de detención. Este trabajo es auxiliado con un señalero que indica el inicio y fin del tiempo de verde.

En algunos casos particulares la cámara se instala de tal manera de tener una vista en planta, para captar giros . Posteriormente se obtiene de estos videos la siguiente información:

- Tomar nota de cuantos vehículos está parado en la cola al inicio de la fase verde.
- Tomar nota de los vehículos tipos de vehículos de pesados en la cola (bicicletas, motos, livianos, buses y vehículos de carga).
- Tomar nota de los vehículos que giran(izquierdo, derecho).
- Tomar nota de los vehículos estacionados.

Cronometrar el paso de los vehículos que estaban parados en la cola(únicamente) por la intersección, anotando el tiempo que tardaron en pasar los primeros cuatro vehículos, los primeros diez y el tiempo que se tardó la cola completa en pasar (en este caso se refiere a los vehículos que logran pasar durante el tiempo de verde).

DETERMINAR EL INTERVALO DE ENTRADA A LA INTERSECCIÓN

Consiste en determinar los intervalos de entrada de cada vehículo al área de cruce de la intersección, una vez que pasan la línea de detención.

PROCEDIMIENTO

1) Una vez que están dadas las condiciones de saturación, se verificó las condiciones de la cola vehicular .

2) Se espera la indicación de verde del semáforo para iniciar.

3) A partir del punto anterior, se determinó el tiempo que cada vehículo pasa la línea de detención. De manera práctica esto es, asignar un cronómetro a cada uno de lo vehículos en la cola, una vez que aparece la indicación de verde, se activan todos los cronómetros, los cuales se van desactivando en la medida que cada vehículo pasa la línea de detención, hasta que finaliza el tiempo de verde.

Para fines de cálculo se presentan las fórmulas utilizadas, sin embargo, para mejor entendimiento en los anexos de este documento se muestran los formatos utilizados.

El intervalo y flujo de saturación, está dados por:

$$D = (G_x - G_4)/X_{-4} \qquad \text{(ecuación 13)}$$

$$S = 3600/D \qquad \text{(ecuación 14)}$$

Donde

Gx= tiempo que tardan en pasar los vehículos que estaban originalmente parados en la cola en segundos.

G4= tiempo que tardan en pasar los primeros cuatro vehículos en la cola en segundos

X= número de vehículos en la cola

El propósito de los estudios de saturación es determinar los valores reales en las diferentes intersecciones, para relacionarlos entre ellos. Sin embargo, estos valores se verán afectados por las condiciones geométricas de las intersecciones u otras condiciones prevalecientes. Por lo que no todos los valores obtenidos fueron representativos. No obstante, hemos hecho una selección donde se observen condiciones físicas diferentes tales como pendiente longitudinal u otras.

III.2.6 DETERMINACIÓN DE LAS DEMORAS REALES

Uno de los propósitos de este trabajo es obtener valores reales, para compararlos con los resultados obtenidos aplicando los métodos tradicionales, es por ello que para la determinación de las demoras reales y tomando en cuenta las condiciones físicas y de accesibilidad de las intersecciones, de manera experimental, se implementaron dos metodologías, las que a continuación se resumen así:

1. Utilización de cámara de video, esto en atención a otras experiencias, lo cual tiene sus ventajas ya que permite obtener precisión en el conteo de los vehículos que transitan en una vía ó en un acceso (a cada vehículo se le puede hacer un seguimiento en cuanto a medición de tiempo, según lo requiera el estudio).

   Así mismo, la cámara de video tiene la opción de cubrir varios carriles simultáneamente para realizar un aforo con precisión (discriminando por tipo de vehículo).

PROCEDIMIENTO 1

El experimento se realizó siguiendo los siguientes pasos:

a) Localización de las intersecciones a estudiar en un plano de la ciudad.

b) Levantamiento topográfico y dibujo de las intersecciones semaforizadas RUBENIA y ENEL.

c) Identificación de los accesos donde se iba a efectuar la grabación. En la intersección ENEL, se tomó el acceso sur (UNAN – HOSPITAL MILITAR), En la intersección RUBENIA, se tomaron los accesos Norte y Oeste.

d) Medir con el cronómetro el tiempo de ciclo de los semáforos, para determinar el tiempo de grabación (10 ciclos).

e) Localización de la cámara de video, se estableció el lugar de filmación. Esto es muy importante tomarlo en cuenta con suficiente anticipación, generalmente se buscan lugares que tengan la suficiente altura, para poder cubrir la longitud de cola. Debemos reconocer que esa fue una de las limitantes en nuestro trabajo, lo cual debe tomarse en cuenta para futuras experiencias.

Posteriormente se realizó el procesamiento del video, el cual consistió en:

. Identificación y discriminación de los vehículos a efectuar la medición.

. Determinación con el cronómetro del video de los tiempos de los semáforos y del tiempo de inicio de los ciclos.

. Conteos de los vehículos que llegan, discriminando vehículos livianos, buses y camiones que llegan al acceso en tiempo de rojo hasta el último vehículo que se encuentra en la cola.

. Conteo de los vehículos que salen en condiciones saturadas, discriminando vehículos livianos, buses y camiones que salen (sumatoria de vehículos que llegan + vehículos que pasan por el acceso sin parar en el tiempo de verde)

. Determinación del tiempo de verde saturado

. Eliminación de los ciclos donde las condiciones de flujo vehicular no fueron normales y que se vieron afectados por factores externos.

Finalmente, para determinar las demoras reales, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Demora de cada ciclo

Demora (seg.) = hora de llegada (hora minuto, segundos) - hora de salida (hora, minutos, segundos)

Porcentaje de paradas

% paradas = H /N (ecuación 14)

Donde,

N: total de vehículos que pasan por el acceso (veh.)

H: Total de vehículos que tienen que para en el acceso (veh.)

Demora promedio

Las demoras promedios se calculan por medio de la siguiente ecuación:

D promedio = Sumatoria de demoras / N

Donde las demoras son las obtenidas por cada vehículo y N es el número de vehículos que llegan en un ciclo, expresados en seg./veh.

La segunda metodología implementada fue determinar la demora de los vehículos que llegan al acceso de manera aleatoria, según lo siguiente:

2. Control de llegadas aleatoria al acceso.

PROCEDIMIENTO 2

Llegadas aleatorias al acceso, se seleccionaron de forma aleatoria los vehículos que llegan al acceso, durante el ciclo, tomándose las horas de llegadas y las horas de salidas (hasta que pasan intersección). La diferencia horaria es la demora real de cada vehículo. La demora promedio es la obtenida de las sumas de las demoras obtenidas para cada vehículo entre el número de vehículos. Este control también se realiza para diez ciclos consecutivos.

III.2.7 ESTUDIO DE COLAS DE VEHICULOS

En vista de que se han verificado condiciones de saturación en algunos accesos de las intersecciones de RUBENIA Y ENEL, se dispuso hacer un análisis del comportamiento de colas de vehículos, el cual consistió en observar el comportamiento de la cola durante la hora de máxima demanda, durante una semana, a partir de la cual se pudo establecer una longitud de cola promedio, medida en número de vehículos y longitud de la cola expresada en metros, todo esto, con el propósito de tener una idea más real y exacta de la situación de saturación del acceso y cuanto de esa demanda es posible satisfacer, mediante diferentes alternativas .

PROCEDIMIENTO

. Se seleccionaron los accesos a estudiar.

. Una vez definido el acceso se procede a colocar referencia a cada 20 mts

. Durante la hora de máxima demanda (equivalentes a 30 ciclos) al inicio del verde de cada ciclo se determina la longitud alcanzada por la cola, tomando los tipos de vehículos que la integran (bicicleta, motos, livianos, buses, camiones de carga).

. Se determina la capacidad del semáforo para desalojar la cola en cada ciclo.

. Determinar la longitud de cola no atendida por el semáforo en cada ciclo.

III.3 PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez obtenida toda la información de campo, se procedió al análisis de la información, estableciendo un análisis comparativo entre los valores reales obtenidos y los calculados.

III.4 ELABORACIÓN DOCUMENTO PRELIMINAR

La elaboración del documento preliminar se inició una vez se obtuvieron los primeros levantamiento, incorporando los resultados en la medida que avanzaban los trabajos. Por lo tanto, estuvo sujeto a constantes cambios y revisiones, por parte nuestra y solamente cuando se contaba con un documento más conclusivo se pasaba a revisión. En alguna oportunidad, parte de la información tuvo que ser levantada dos veces por las contradicciones obtenidas en los resultados, situación muy común cuando se están realizando investigaciones de campo.

III.5 ELABORACIÓN Y REVISIÓN DOCUMENTO FINAL

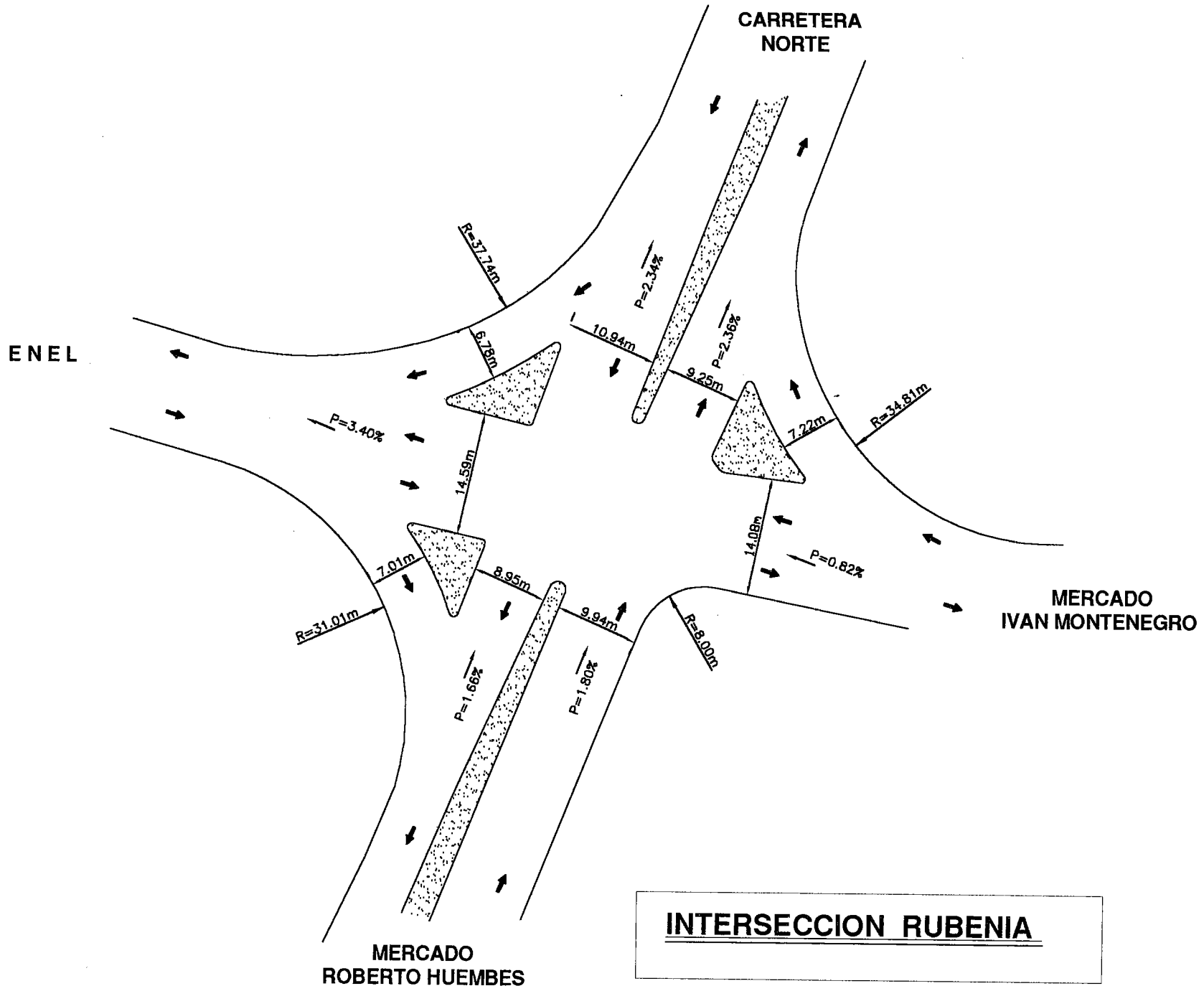
Finalmente y en base a los resultados obtenidos se hicieron las conclusiones del estudio y las recomendaciones que consideramos conveniente implementar, tanto en las intersecciones estudiadas, así como en otras que estaban relacionadas con nuestro trabajo, terminando así el documento que nuevamente fue sometido a revisión hasta obtener su versión definitiva .

CAPITULO IV

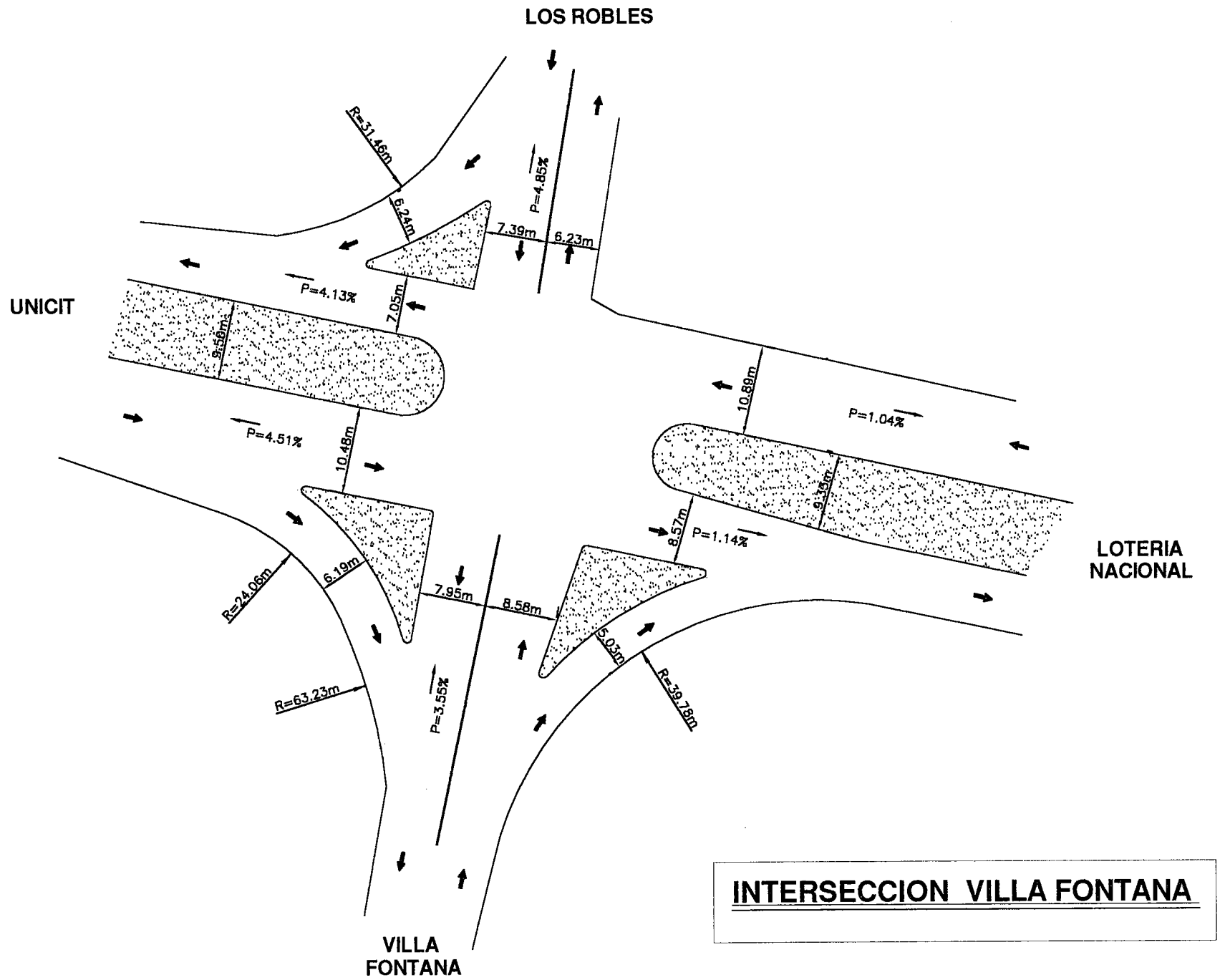
IV. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION

En este capítulo se presentan todos los levantamientos realizados, desde los levantamientos topográficos de intersecciones, condiciones semafóricas, conteos de tráfico hasta los parámetros que intervienen en el análisis operacional de intersecciones semaforizadas, lo cual se resume a continuación:

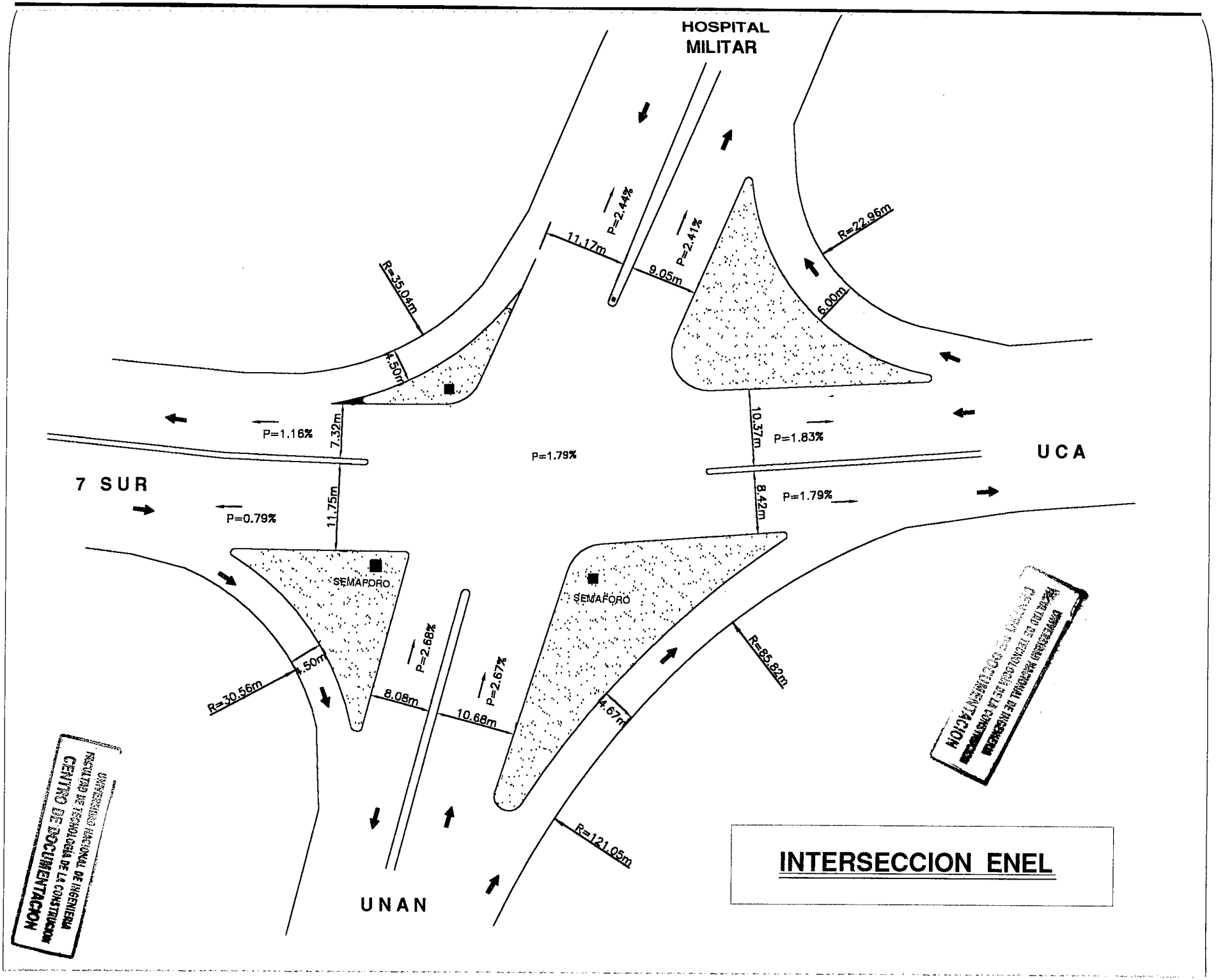
IV.1-1 LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS DE INTERSECCIONES



INTERSECCION RUBENIA



INTERSECCION VILLA FONTANA


HOSPITAL
MILITAR
R=35.04m
4.50m
11.17m
P=2.44%
P=2.41%
9.05m
R=22.96m
6.00m
P=1.16%
7.32m
P=1.79%
10.37m
P=1.83%
UCA
7 SUR
11.75m
P=0.79%
8.42m
P=1.79%
SEMAFORO
SEMAFORO
R=30.56m
4.50m
8.08m
P=2.68%
P=2.67%
10.68m
4.67m
R=85.82m
R=121.05m
UNAN
INTERSECCION ENEL

IV.1-2 CONDICIONES SEMAFORICAS

Las fases de los semáforos en las diferentes intersecciones estudiadas son:

1. INTERSECCIÓN RUBENIA

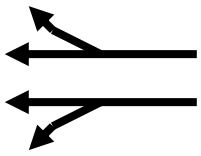
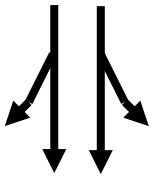
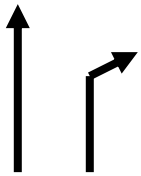
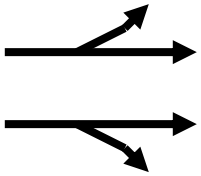
FASES DE SEMÁFOROS

Cuadro IV-1

TIEMPO (seg)					
Fase No.	**Acceso**	**Verde**	**Amarillo**	**Rojo**	**Ciclo**
1	Este	24	3.5	62.5	90
2	Norte	36	3.5	50.5	90
3	Sur	19	3.5	67.5	90
4	Oeste	19	3.5	67.5	90

DIAGRAMA DE FASES

Fig. IV-1

FASES			
1	**2**	**3**	**4**
			

2. INTERSECCIÓN ENEL CENTRAL

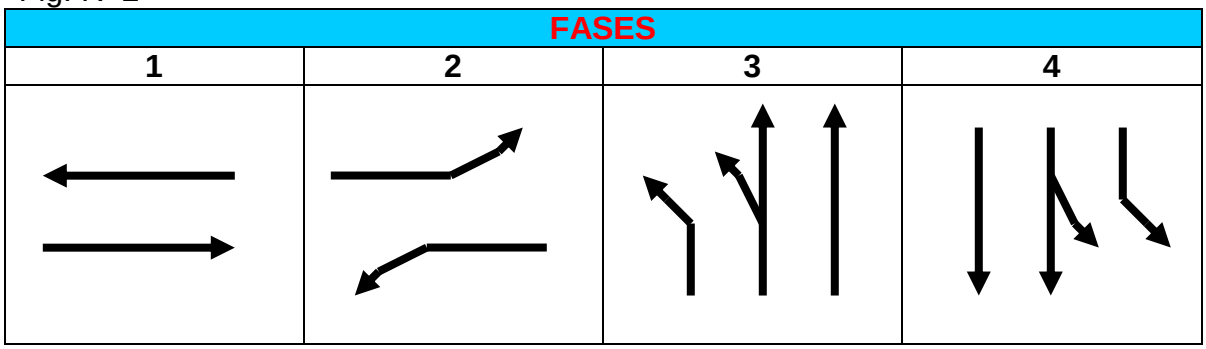
FASES DE SEMÁFOROS

Cuadro IV-2

TIEMPO (seg)					
Fase No.	**Acceso**	**Verde**	**Amarillo**	**Rojo**	**Ciclo**
1	Este-Oeste	37	3	82	122
2	E/Wgiro izq	10	3	109	122
3	Sur	29	3	90	122
4	Norte	32	3	87	122

DIAGRAMA DE FASES

Fig. IV-2



3. INTERSECCIÓN SIETE SUR

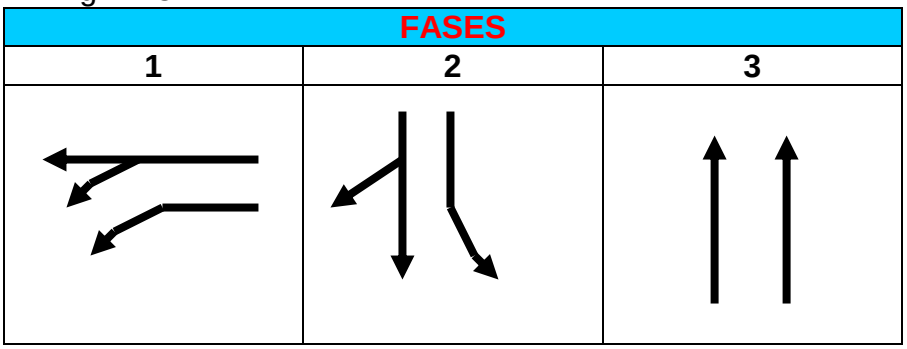
FASES DE SEMÁFOROS

Cuadro IV-3

TIEMPO (seg)					
Fase No.	**Acceso**	**Verde**	**Amarillo**	**Rojo**	**Ciclo**
1	Este	32	3	84	119
2	Norte	87	4	28	119
3	Sur	47	4	68	119

DIAGRAMA DE FASES

Fig. IV-3



4. INTERSECCIÓN VILLA FONTANA

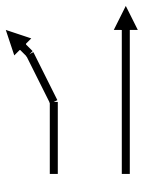
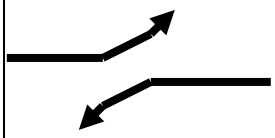
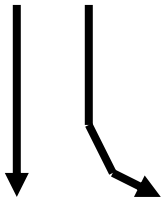
FASES DE SEMÁFOROS

Cuadro IV-4

TIEMPO (seg)					
Fase No.	**Acceso**	**Verde**	**Amarillo**	**Rojo**	**Ciclo**
1	Sur	14	3	63	80
2	E/W G.I.	10	3	67	80
3	Este–Oeste	32	3	45	80
4	Norte	14	3	63	80

DIAGRAMA DE FASES

Fig. IV-4

FASES			
1	**2**	**3**	**4**
			

5. INTERSECCIÓN PLÁSTICOS ROBELO

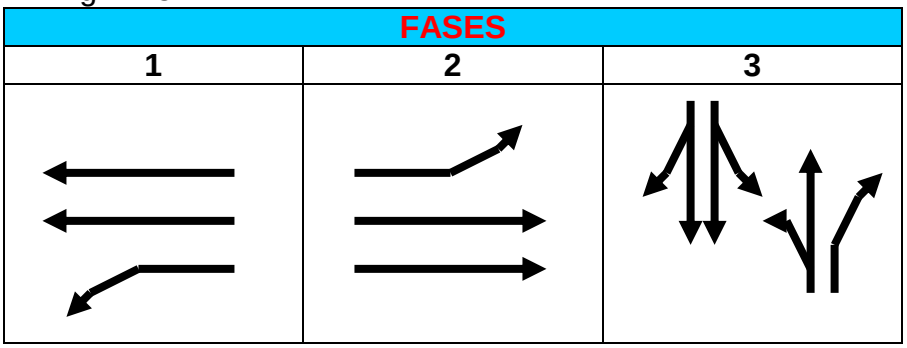
FASES DE SEMÁFOROS

Cuadro IV-5

TIEMPO (seg)					
Fase No.	**Acceso**	**Verde**	**Amarillo**	**Rojo**	**Ciclo**
1	Este	32	3	65	100
2	Oeste	40	3	57	100
3	Norte-Sur	19	3	78	100

DIAGRAMA DE FASES

Fig. IV-5



6. INTERSECCION EL DORADO (T)

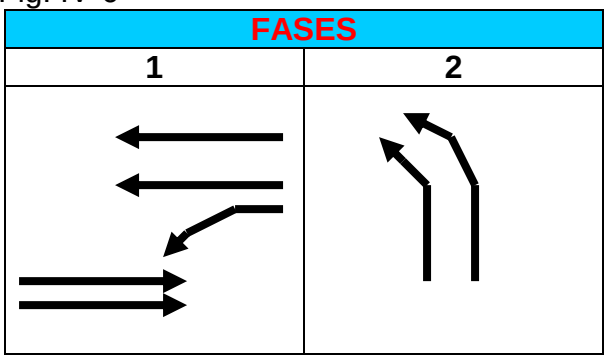
FASES DE SEMÁFOROS

Cuadro IV-6

		TIEMPO (seg)			
Fase No.	**Acceso**	**Verde**	**Amarillo**	**Rojo**	**Ciclo**
1	Norte-Sur	42	2	23	67
2	Este	20	2	45	67

DIAGRAMA DE FASES

Fig. IV-6



7. INTERSECCIÓN EL EDEN

FASES DE SEMÁFOROS

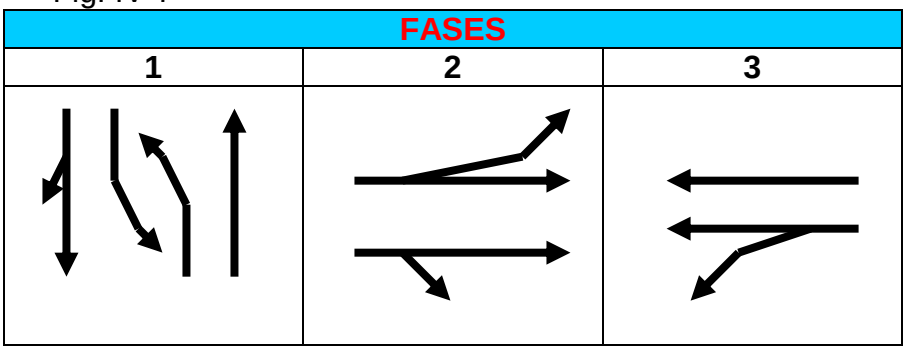
Cuadro IV-7

		TIEMPO (seg)			
Fase No.	**Acceso**	**Verde**	**Amarillo**	**Rojo**	**Ciclo**
1	Norte-Sur	25	3	42	70
2	Oeste	18	3	49	70
3	Este	18	3	49	70

Tiempo (segundos)

DIAGRAMA DE FASES

Fig. IV-7



8. INTERSECCIÓN LARREYNAGA

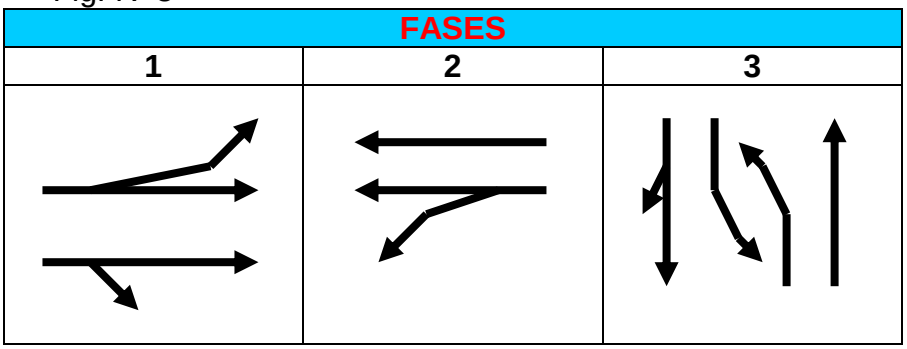
FASES DE SEMÁFOROS

Cuadro IV-8

TIEMPO (seg)					
Fase No.	**Acceso**	**Verde**	**Amarillo**	**Rojo**	**Ciclo**
1	Oeste	21	4	75	100
2	Este	21	4	75	100
3	Sur-Norte	21	4	75	100

DIAGRAMA DE FASES

Fig. IV-8



9. INTERSECCIÓN LA SUBASTA

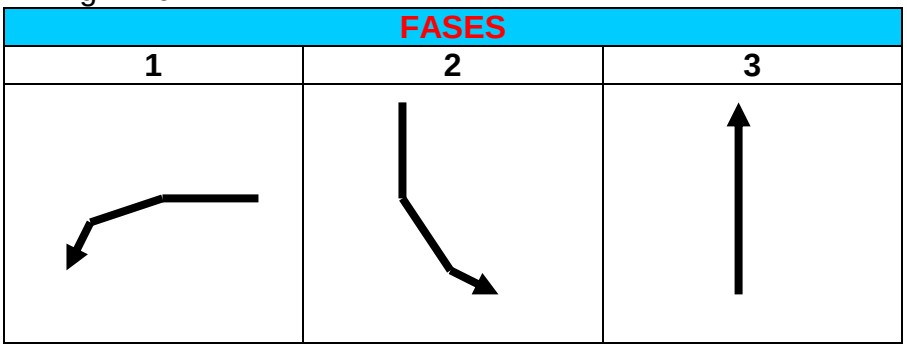
FASES DE SEMÁFOROS

Cuadro IV-9

TIEMPO (seg)					
Fase No.	**Acceso**	**Verde**	**Amarillo**	**Rojo**	**Ciclo**
1	Sur	31	2	53	86
2	Este	21	3	62	86
3	Oeste	32	2	50	86

DIAGRAMA DE FASES

Fig. IV-9



10. INTERSECCIÓN EL RIGUERO

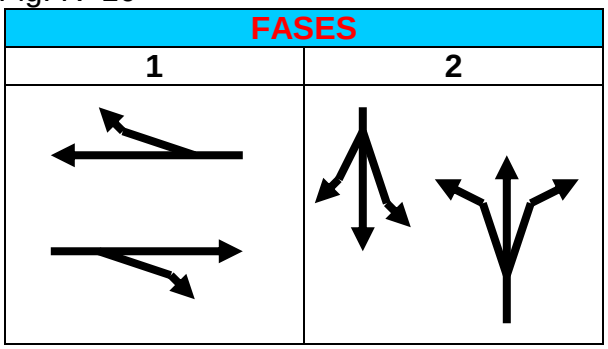
FASES DE SEMÁFOROS

Cuadro IV-10

TIEMPO (seg)					
Fase No.	**Acceso**	**Verde**	**Amarillo**	**Rojo**	**Ciclo**
1	Norte-Sur	38	3	21	62
2	Este-Oeste	16	3	43	62

DIAGRAMA DE FASES

Fig. IV-10



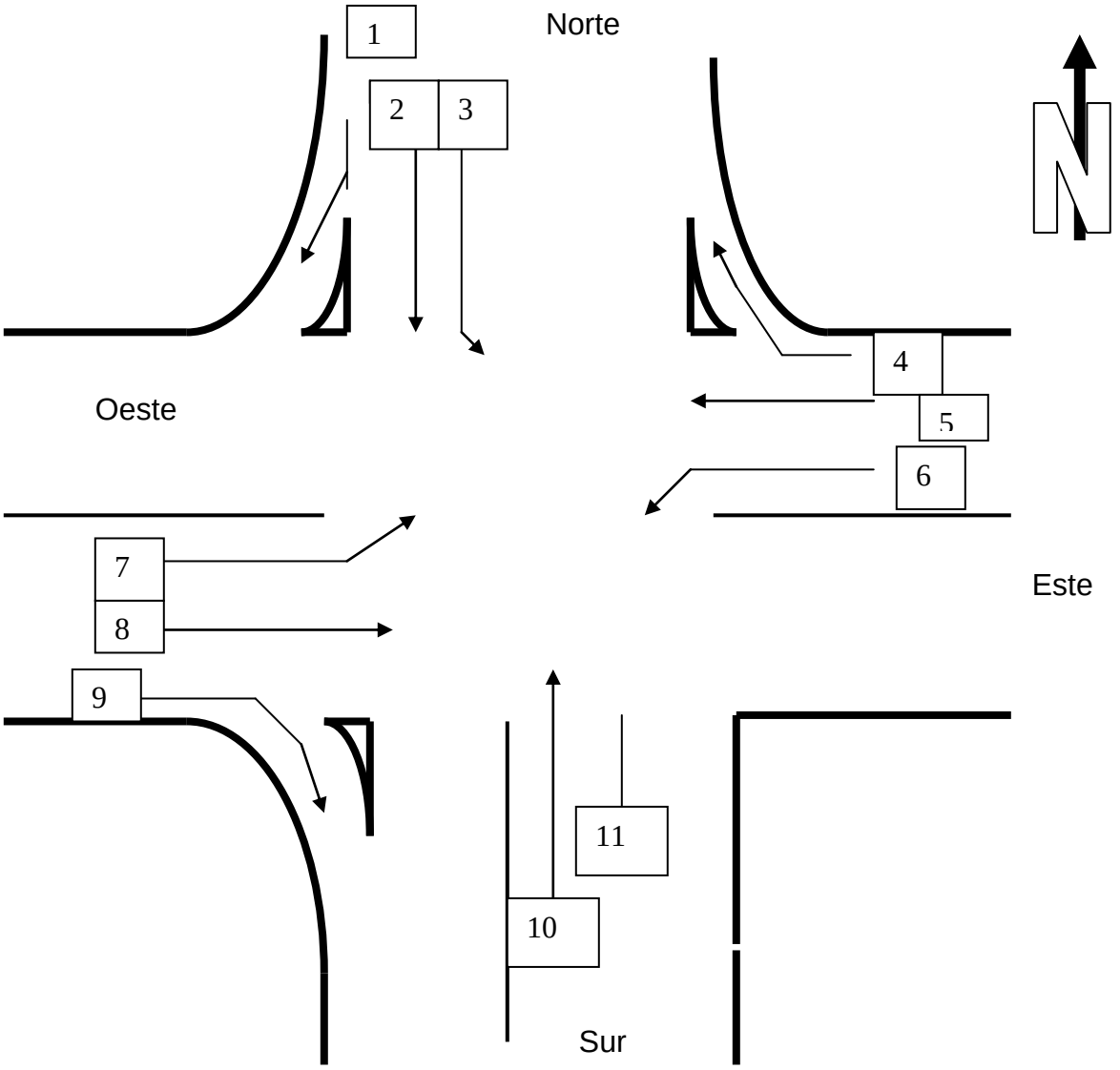
IV.1-3 CONTEOS DE TRÁFICO

VOLÚMENES DE TRAFICO DIARIO

INTERSECCIÓN RUBENIA

Cuadro III-11

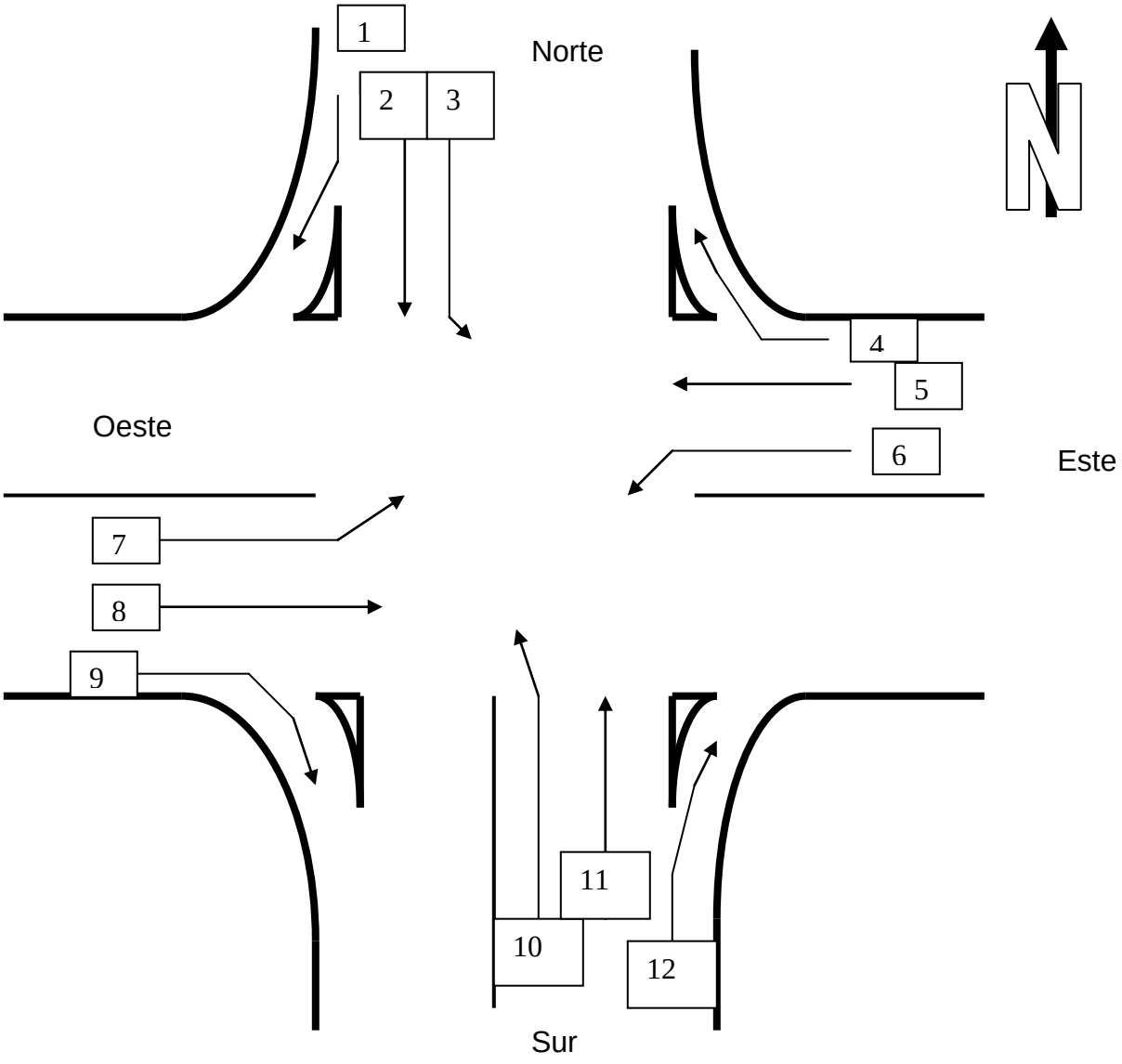
MOVIMIENTO	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
DE FRENTE	(2) 6,621	(10) 4,513	(5) 4,021	(8) 5,847
G. IZQUIERDO	(3) 2,141	-	(6) 5,070	(7) 1,119
G. DERECHO	(1) 1,610	(11) 8,956	(4) 746	(9) 30



INTERSECCIÓN ENEL

Cuadro IV-12

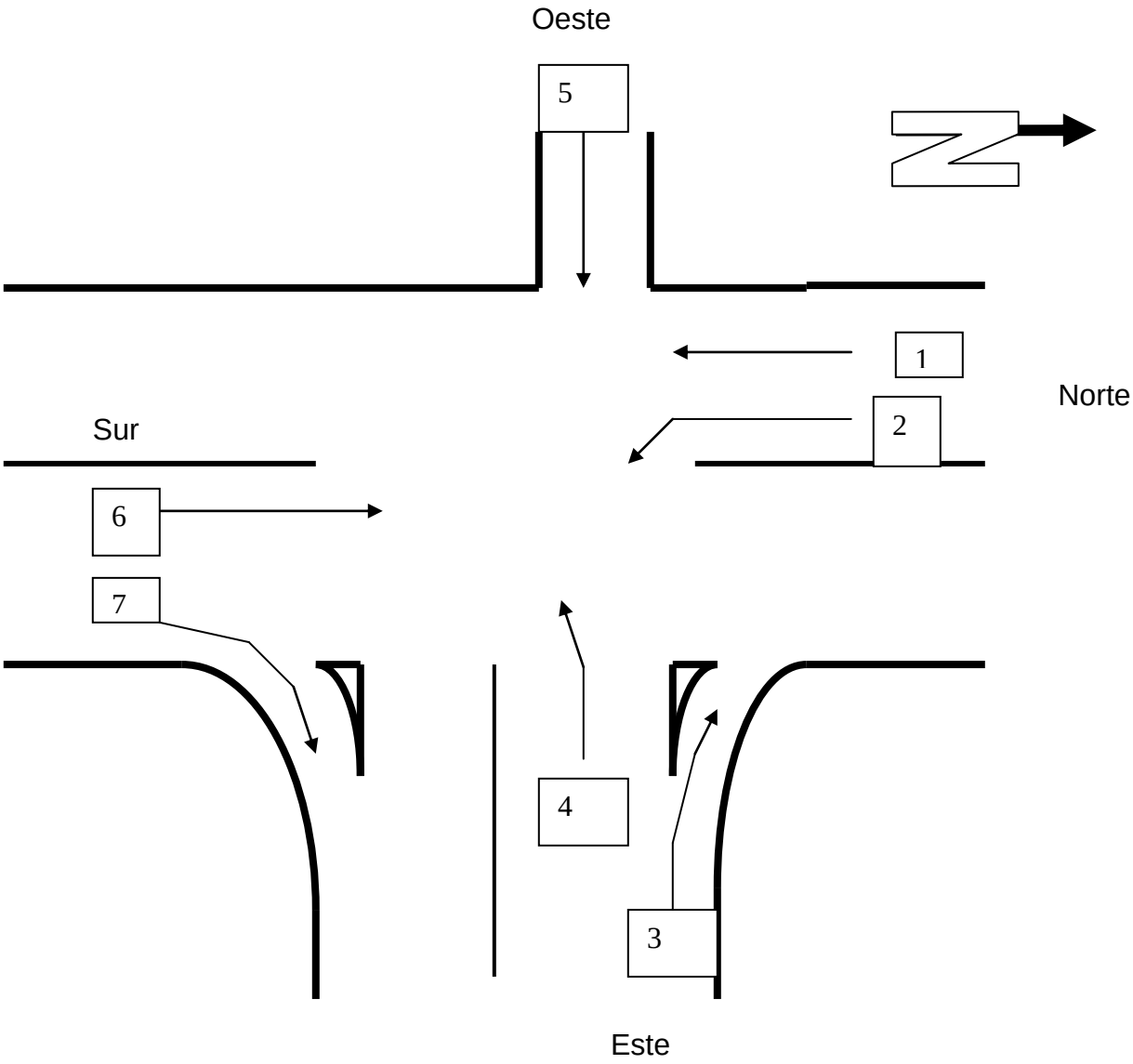
MOVIMIENTO	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
DE FRENTE	(2) 4,094	(11) 4,980	(5) 10,408	(8) 11,049
G. IZQUIERDO	(3) 2,708	(10) 5,930	(6) 1,270	(7) 1,920
G. DERECHO	(1) 593	(12) 707	(4) 2,282	(9) 3,923



INTERSECCIÓN SIETE SUR

Cuadro IV-13

MOVIMIENTO	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
DE FRENTE	(1) 9,592	(6) 5,250	-	-
G. IZQUIERDO	(2) 3,201	-	(4) 4,436	-
G. DERECHO	-	(7) 5,004	(3) 2,787	(5) 341



LOS VOLÚMENES DE TRÁFICO OBTENIDOS EN HORA PICO FUERON LOS SIGUIENTES:

INTERSECCIÓN RUBENIA

VOLÚMENES DE TRÁFICO

Cuadro IV-14

MOVIMIENTO	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
DE FRENTE	311	368	311	406
G. IZQUIERDO	353	-	353	59
G. DERECHO	107	684	-	-

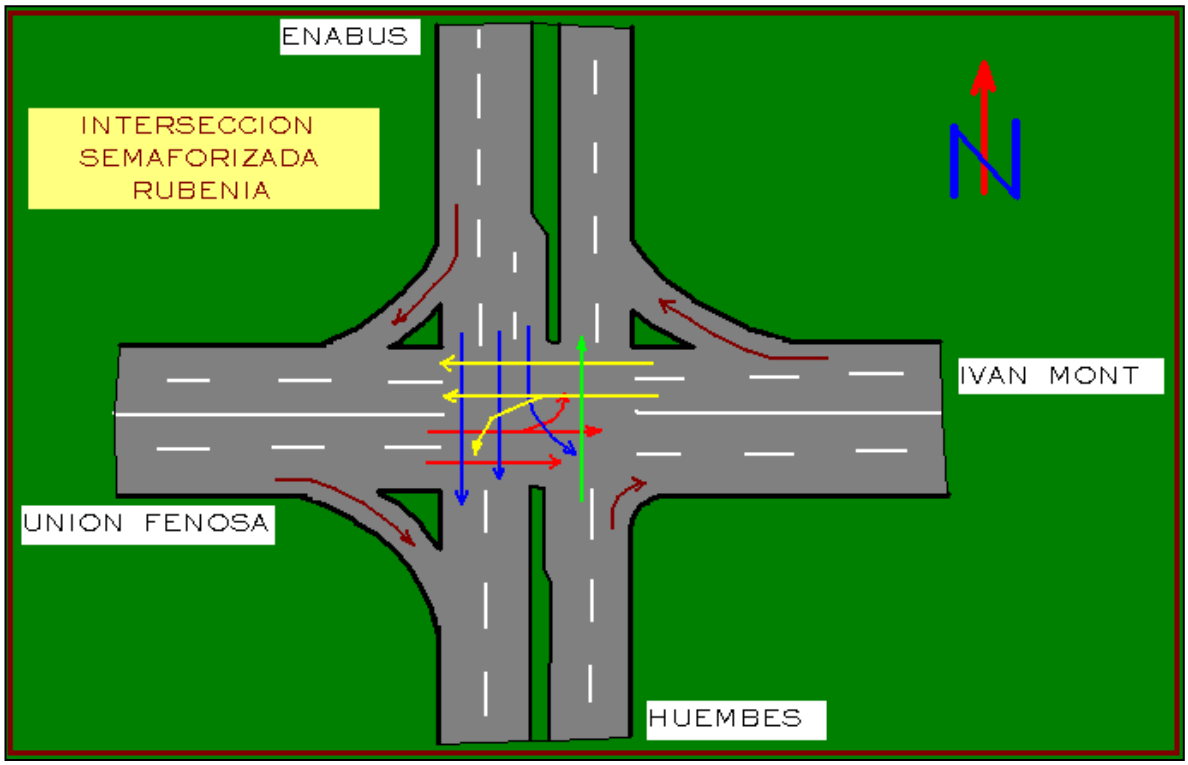


Fig. IV-14

INTERSECCIÓN ENEL

Cuadro IV-15

MOVIMIENTO	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
DE FRENTE	280	399	890	879
G. IZQUIERDO	316	467	118	159
G. DERECHO	81	152	205	306

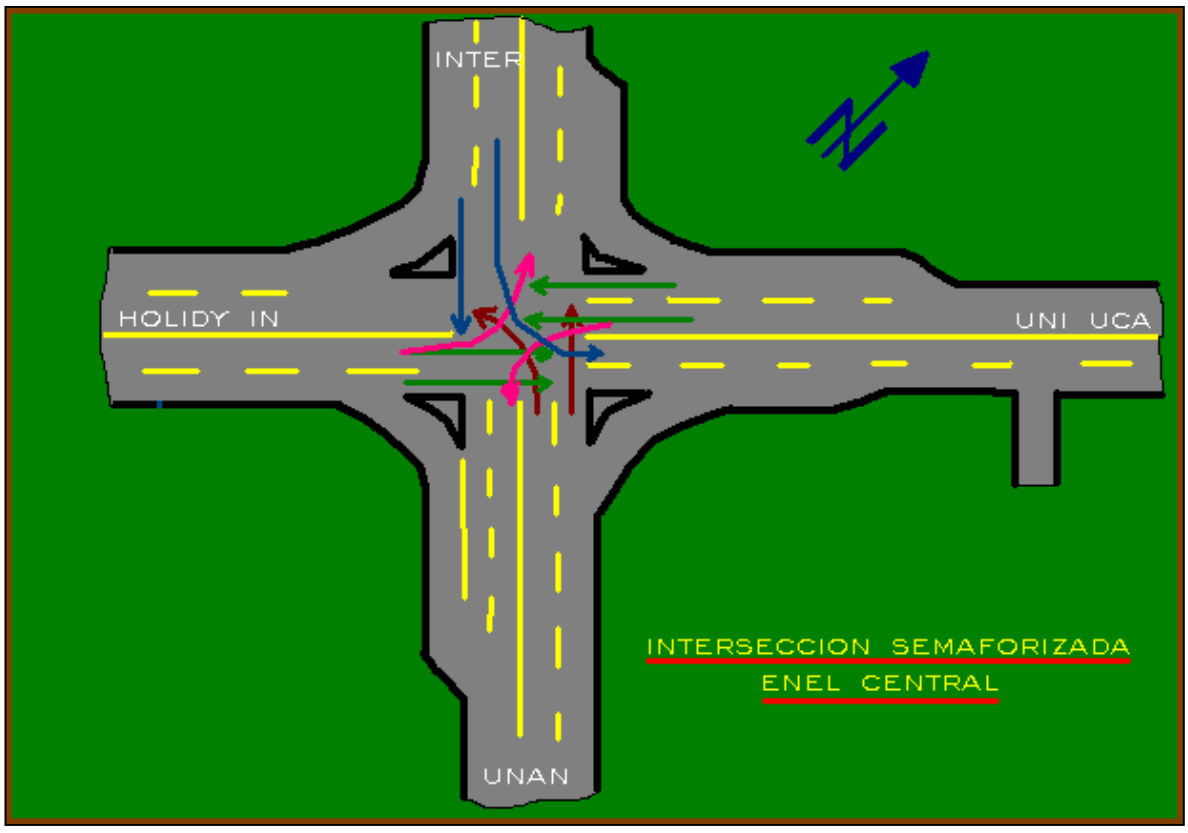


Fig. IV-15

INTERSECCIÓN SIETE SUR

Cuadro IV-16

MOVIMIENTO	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
DE FRENTE	750	473	-	-
G. IZQUIERDO	299	-	531	-
G. DERECHO	-	403	731	-

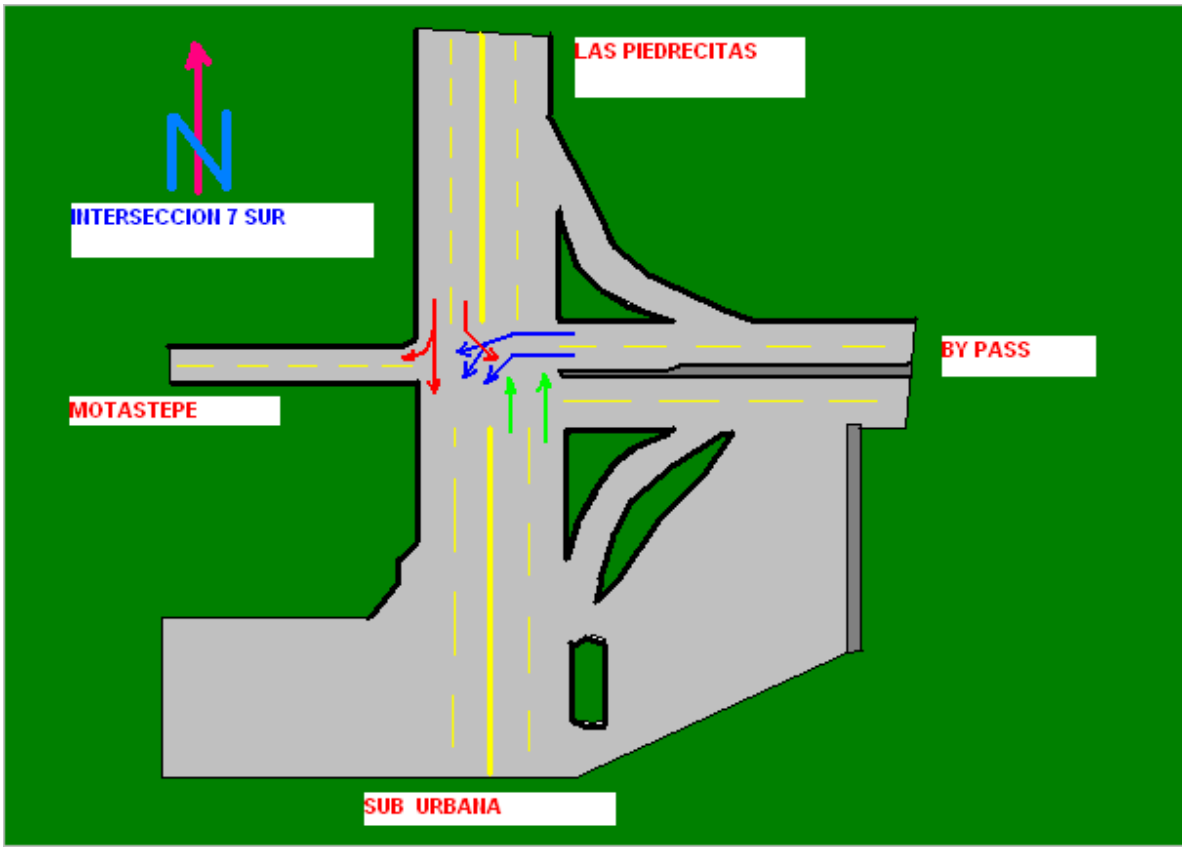


Fig. IV-16

IV.1-4 OTROS LEVANTAMIENTOS DE CAMPO

Se refiere a la obtención de velocidades, Flujo de Saturación, Tiempo de Demoras de vehículos y Colas de Vehículos, cuyos resultados aparecen en el Capítulo siguiente.

CAPITULO V

RESULTADOS

V.1-1 ESTUDIO DE VELOCIDADES

El estudio de velocidades realizado en las intersecciones seleccionadas, permitió conocer la velocidad de cruce de los primeros vehículos en el acceso y la velocidad una vez que se ha alcanzado el Flujo de Saturación, así como la velocidad que alcanzan los vehículos que no paran. Esta velocidad se observó tanto para movimientos de vehículos de frente como los giros izquierdos.

Este estudio de velocidades se utiliza para calcular el tiempo de amarillo del semáforo, que es el tiempo necesario para despejar el cruce de la intersección.

De los resultados obtenidos se realizó un agrupamiento en base a las pendientes longitudinales de los accesos , los cuales se muestran en los cuadros V.1-1, V1-2 y V.1-3 que aparecen a continuación:

Para intersecciones con pendientes de +0.79% al +2%.

Cuadro V.1-1-1

CONCEPTO	MOVIMIENTO	
	DE FRENTE	GIRO IZQUIERDO
Velocidad G4*	15-26 km/hora	13-26 km/hora
Velocidad FS**	29-32 km/hora	25-32 km/hora
Velocidad máxima vehículos que no paran	40-45 km/hora	30-32 km/hora

En este cuadro se agrupan las velocidades obtenidas en las intersecciones para pendientes menores en los accesos.

Para intersecciones con pendientes del +3% al +4.5%

Cuadro V.1-1-2

CONCEPTO	MOVIMIENTO	
	DE FRENTE	GIRO IZQUIERDO
Velocidad G4*	14 –18 km/hora	12-16km/hora
Velocidad FS**	26-32 km/hora	24-28millas/hora
Velocidad máxima vehículos que no paran	35-40 km/hora	30-32Km/hora

Aquí se agrupan las velocidades obtenida para las pendientes mayores que tienen los accesos de las intersecciones estudiadas.

Para intersecciones con PENDIENTES NEGATIVAS (-1.8% a –3.55%) los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Cuadro V.1-1-3

	MOVIMIENTO	
	DE FRENTE	GIRO IZQUIERDO
Velocidad G4*	18-26 km/hora	20-22 km/hora
Velocidad FS**	35-38.5 km/hora	26-32 km/hora
Velocidad máxima vehículos que no paran	42-45 km/hora	30-32 km/hora

* G4: se refiere a los primeros cuatro vehículos que cruzan la intersección

** FS: se refiere a los vehículos que cruzan la intersección y han alcanzado la velocidad que corresponde al flujo de saturación.

Y finalmente se muestran las velocidades obtenidas para accesos con pendientes negativas. Si se compara cada cuadro, se concluye que los rangos obtenidos difieren para cada caso de agrupamiento de velocidades.

Los resultados de velocidades promedios obtenidos por intersecciones para pendientes no mayores del 3% se muestran en cuadro V.1-4. El comportamiento es bastante similar.

Cuadro V.1-1-4

INTERSECCIONES	**MOVIMIENTO**					
	DE FRENTE			**GIRO IZQUIERDO**		
	Velocidad en km/hora					
	G4	FS	No paran	G4	FS	No paran
Siete Sur	20	30	40	20	30	30
ENEL Central	17	30	45	20	30	30
Riguero	18	35	42	-	-	-
El Dorado	-	-	-	18	32	35
El Edén	16	34	40	-	-	-
Larreynaga	17	32	40	15	22	28
Plásticos Robelo	17	35	45	-	-	-
La Subasta	-	-	-	15	30	40
Rubenia	22	32	40	20	32	35
Villa Fontana	22	32	40	20	28	30

Otro tipo de velocidad observada fue la velocidad de llegada de los vehículos al acceso, estas velocidades se tomaron integrando un vehículo al grupo de vehículos que se aproximan al acceso. En esta técnica el vehículo viaja de acuerdo a la apreciación que tenga el conductor de la velocidad predominante en el flujo de tránsito.

Los resultados obtenidos fueron:

Cuadro V.1-1-5

VELOCIDADES DE LLEGADA (km/hora)		
INTERSECCIÓN	**ACCESO**	**VELOCIDAD LLEGADA**
Rubenia	NORTE	45-50
	SUR	40-45
	ESTE	45-50
	OESTE	38-45
VILLA FONTANA	NORTE	35-45
	SUR	40-45
	ESTE	50-55
	OESTE	40-45
ENEL CENTRAL	NORTE	50-55
	SUR	45-50
	ESTE	45-50
	OESTE	55-60

Estas velocidades se tomaron integrando un vehículo al grupo de vehículos que se aproximan al acceso. En esta técnica el vehículo viaja de acuerdo a la apreciación que tenga el conductor de la velocidad predominante en el flujo de tránsito.

V.1-2 ESTUDIOS DE FLUJOS DE SATURACIÓN

Como se mencionaba al inicio para el estudio de flujo de saturación se seleccionaron 10 intersecciones, 6 localizadas en la pista Juan Pablo II, dos en la Carretera Norte, uno en Rubenia y uno en Villa Fontana, los criterios de selección fueron: condiciones de tránsito, altimetría y condiciones geometrías de las intersecciones y condiciones semafóricas.

El Primer criterio es para garantizar la condición indispensable de verde saturado que requiere un estudio de flujo de saturación, por lo que generalmente los levantamientos se realizaron en las horas de máxima demanda, pero tomando en cuenta las condiciones atmosféricas.

El Segundo criterio, la altimetría de la intersección, permite analizar el comportamiento del flujo vehicular para diferentes pendientes en los accesos.

El Tercer criterio, condiciones geométricas de la intersección, permite identificar las limitaciones del flujo vehicular.

El Cuarto criterio nos permite conocer las opciones de movimiento en el acceso.

La conjugación de estos criterios permite conocer el comportamiento real del flujo vehicular y por tanto obtener los valores reales para esas condiciones, así como sus limitaciones.

Como una referencia al lector, estudios realizados en otros países muestran resultados de flujo de saturación de 1,800 veh/h (México), 2,100 veh/h (EEUU), el Manual de Capacidad (HCM) considera un flujo de saturación ideal de 1,900 veh/h.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio se dividieron en:

a. Flujo de Saturación, por acceso
b. Flujo de Saturación & pendiente
c. Intervalos de saturación por acceso.

a. Flujos de saturación por acceso:

Cuadro V.1-2(1)

Intersección	**Flujos de Saturación por accesos (vph)**			
	Norte	Sur	Este	Oeste
7 Sur	1,726	3,630	-	-
ENEL	3,612	3,840	3,596	3,676
Riguero	3,700	3,650	-	-
El Dorado	-	-	3,500**	-
El Edén *	-	-	3,374	3,494
Larreynaga *	-	-	3,400	3,500
Plást. Robelo	-	-	3,712	3,782
La Subasta	-	-	1,760**	-
Rubenia	3,306	1,898	3,726	3,454
Villa Fontana	3,250	3,866	3,434	3,292

* Las fases tiene giros permitidos, lo cual no permite obtener el flujo de saturación.

** Se refiere al flujo obtenido del giro izquierdo proveniente del Este y girando hacia el Sur

b. Cuadro comparativo Flujo de saturación & pendientes negativas

Cuadro V.1-2(2)

INTERSECCION	ACCESO	PENDIENTE LONGITUDINAL (%)	FLUJO DE SATURACIÓN (VPH)
Rubenia	Este	-0.82	1,863
Rubenia	Sur	-1.8	1,898
ENEL	Sur	-2.67	1,920
Villa Fontana	Sur	-3.55	1,933

c. Cuadro comparativo Flujo de saturación & pendientes positivas

Cuadro V.1-2(3)

INTERSECCION	ACCESO	PENDIENTE LONGITUDINAL (%)	FLUJO DE SATURACIÓN (VPH)
ENEL	Oeste	0.79	1,838
ENEL	Este	1.79	1,798
Rubenia	Norte	2.34	1,653
Rubenia	Oeste	3.4	1,727
Villa Fontana	Oeste	4.51	1,646

d. Determinación de los intervalos de saturación

e.

En la Fig V.1-2 -1 se muestra una cola de vehículos esperando la luz verde del semáforo. Tan pronto como el semáforo exhibe la indicación verde la cola se empieza a poner en movimiento y los vehículos van entrando en la intersección. Se considera que un vehículo a entrado en una intersección cuando su extremo trasero pasa la línea de detención.

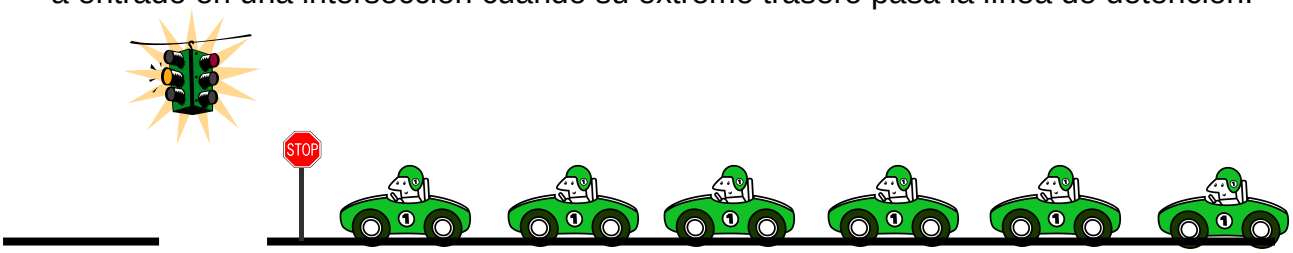


Fig. V.1-2-1

Los resultados de intervalos de saturación en las intersecciones estudiadas se muestran a continuación:

Cuadro V.1-2(4) **Intersección 7 Sur, acceso norte**

	POSICIÓN DE VEHÍCULOS EN LA COLA						
	1	2	3	4	5	6	7
Tiempo (seg)	**2.52**	**2.45**	**2.18**	**2.01**	**1.91**	**1.79**	**1.78**

En el cuadro V.1-2(4) el intervalo de saturación se alcanza a partir del sexto vehículo y es de 1.79 seg.

Cuadro V.1-2(5) **Intersección ENEL , acceso Sur**

	POSICIÓN DE VEHÍCULOS EN LA COLA						
	1	2	3	4	5	6	7
Tiempo (seg)	**4.87**	**2.91**	**2.52**	**2.13**	**1.67**	**1.62**	**1.63**

En el cuadro V.1-2(5) presenta un comportamiento similar en cuanto a los intervalos de entrada a la intersección con la diferencia que el primer vehículo presenta un tiempo mayor por el incremento del tiempo perdido por arranque de cola.

Cuadro V.1-2(6) **Intersección Rubenia, acceso Sur**

	POSICIÓN DE VEHÍCULOS EN LA COLA						
	1	2	3	4	5	6	7
Tiempo (seg)	**4.04**	**4.74**	**2.54**	**1.93**	**1.9**	**1.9**	**1.89**

En este acceso el intervalo de saturación se obtiene a partir del cuarto vehículo. La diferencia que se observa entre tiempo del intervalo de saturación se debe a que en la intersección V.1-2(5) la pendiente del acceso es de –2.67% en contraposición a la del acceso del cuadro V.1-2-(6) cuya pendiente es de –1.80%.

Cuadro V.2-7 **Intersección Rubenia, acceso Oeste**

	POSICIÓN DE VEHÍCULOS EN LA COLA						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Tiempo (seg)	**5.38**	**3.05**	**2.63**	**1.94**	**1.64**	**1.7**	**1.8**

Para el acceso que se muestra en el cuadro V.2-7 el comportamiento fue irregular, principalmente por las diferencias obtenidas al final del tiempo de verde.

V.1-3.1 ESTUDIOS DE DEMORAS

El parámetro para estimar el nivel de servicio de una intersección es la demora media por control , esta demora comprende el tiempo de detención, las demoras por aceleración y deceleración y el tiempo que se pierde al tener que avanzar lentamente en una cola intermitente todo esto causado por el semáforo.

Los resultados obtenidos implementando la metodología de campo a que se hace referencia en el capitulo III, se resumen en el cuadro V.1-3-1, para las intersecciones de Rubenia y ENEL. Una vez obtenida la demora media, se determina el nivel de servicio mediante el cuadro II.2-3 del Capitulo II. Los resultados se muestran a continuación.

Cuadro V.1-3-1

Intersección	**Rubenia**			**ENEL central**			
Acceso	**Sur**	**Este**	**Oeste**	**Norte**	**Sur**	**Este**	**Oeste**
Demora (seg)	**97”**	**210”**	**124”**	**39”**	**90”**	**90”**	**57”**
Nivel/Servicio	**F**	**F**	**F**	**D**	**F**	**F**	**E**

En el cuadro siguiente se muestra las demoras aleatorias obtenidas en hora de máxima demanda en Intersección Rubenia, Acceso Oeste, iniciando a las 6:15 PM, y finalizando a las 7:15 p.m, en condiciones climáticas normales. En conclusión, se obtuvo una demora media de 2'04". Levantamientos similares se hicieron para los accesos Sur y Este, con los resultados que se resumen en el cuadro anterior.

Cuadro V.1-3-2

	Ubicación en fila *	Tiempo **	Tiempo en segundos***
1	10	2' 27"	147
2	13	2' 01"	121
3	5	1' 29"	89
4	9	2' 13"	133
5	14	1' 58"	118
6	16	2' 17"	137
7	16	2' 24"	144
8	19	1' 53"	113
9	21	2' 16"	136
10	14	2' 09"	129
11	15	2' 27"	149
12	15	1' 48"	108
13	15	2' 12"	132
14	14	1' 41"	101
15	7	1' 41"	101
16	8	1' 12"	72
17	9	1' 42"	102
18	7	1' 17"	77
19	10	2' 24"	144
20	12	2' 09"	129
21	9	1' 13"	73
22	15	59"	59
23	17	2' 08"	128
24	19	3' 11"	191
25	12	3' 53"	233
26	15	2' 33"	153
N=26			**3219**

En la Intersección ENEL Central, acceso Este, en la horade máxima demanda, iniciando a las 8:45 AM y finalizando a las 9:45 A.M, en condiciones climáticas día soleado. La Demora promedio obtenida fue de 1’30”. Levantamientos similares se realizaron en los accesos Norte, Sur y Oeste, cuyos resultados se resumen en el cuadro V.1-3-1.

Cuadro V.1-3-3

	Ubicación en fila*	Tiempo**	Tiempo en segundos ***
1	14	55”	55
2	18	2’ 10”	170
3	14	1’ 12”	72
4	13	1’ 15”	75
5	21	2’ 19”	189
6	16	1’ 25”	85
7	11	1’ 15”	75
8	22	2’ 41”	161
9	13	1’ 29”	89
10	8	1’ 23”	83
11	22	2’ 45”	165
12	21	2’ 54”	174
13	11	1’ 25”	85
14	14	1’ 29”	89
15	19	2’ 43”	163
16	9	1’ 21”	81
17	6	1’ 09”	69
18	9	1’ 02”	62
19	10	1’ 02”	62
20	16	40”	40
21	9	1’ 14”	74
22	14	57”	57
23	19	2’ 02”	122
24	8	1’ 20”	80
25	7	1’ 18”	78
26	11	1’ 13”	73
27	14	36”	36
28	2	1’ 12”	72
29	8	51”	51
30	10	31”	31
n=30			**2718**

Los resultados obtenidos en el acceso Sur, hora de inicio 8:15 AM y finalización 9:15 A.M, nos llevan a obtener una Demora Promedio de 1’30”.

Cuadro V.1-3-4

	Ubicación en fila *	Tiempo **	Tiempo en segundos ***
1	12	3’ 06”	186
2	17	2’ 39”	159
3	16	2’ 46”	166
4	18	2’ 48”	168
5	26	2’ 29”	149
6	13	2’ 42”	162
7	7	1’ 26”	86
8	13	2’ 41”	161
9	11	1’ 33”	93
10	12	47”	47
11	9	1’ 36”	96
12	9	1’ 11”	71
13	13	58”	58
14	12	1’ 21”	81
15	15	2’ 00”	120
16	7	1’ 38”	98
17	11	47”	47
18	6	1’ 25”	85
19	12	1’ 08”	68
20	10	1’ 06”	66
21	8	1’ 24”	84
22	5	55”	55
23	12	52”	52
24	6	1’ 09”	69
25	11	1’ 04”	64
26	12	47”	47
27	3	1’ 18”	78
28	3	1’ 07”	67
29	5	42”	42
30	6	1’ 20”	80
31	11	41”	41
n=31			**2846**

* Ubicación en la cola, del vehículo al momento de su llegada e inicio del conteo

** Tiempo de demora del vehículo desde su llegada hasta que este cruza la intersección, en minutos y segundos.

*** Tiempo de demora en segundos

V.1-3.2 ESTUDIOS DE COLAS DE VEHICULOS

El estudio de cola de vehículos se realizó para dos intersecciones, estas son: Intersección Rubenia, donde tres de sus accesos están saturados, Intersección ENEL donde dos de sus accesos también presentan condiciones de saturación, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

INTERSECCIÓN RUBENIA.

En el acceso Este, se obtuvo los siguientes resultados:

No. ciclos	No. vehículos por carril	Longitud (mt.)	Referencia
1	35	209	Iglesia de Dios
2	27	160	Parada 161
3	**29**	**172**	**Estudio García**
4	23	121	Ferretería
5	**34**	**172**	**Estudio García**
6	27	160	parada 161
7	29	165	parada 161 + 5 mts
8	27	165	parada 161
9	35	209	Iglesia de Dios
10	35	209	Iglesia de Dios
11	27	160	parada 161
12	**34**	**172**	**Estudio García**
13	**34**	**172**	**Estudio García**
14	27	160	parada 161
15	27	160	parada 161
16	24	146	Taller Villagra
17	27	160	parada 161
18	24	146	Taller Villagra
19	27	160	parada 161

20	35	209	Iglesia de Dios
21	35	209	Iglesia de Dios
22	27	160	parada 161
23	27	160	parada 161
24	**34**	**172**	**Estudio García**
25	35	209	Iglesia de Dios
26	**34**	**172**	**Estudio García**
27	**34**	**172**	**Estudio García**
28	27	160	parada 161
29	35	209	Iglesia de Dios
30	**34**	**172**	**Estudio García**

De lo datos anteriores, se obtiene la longitud de cola promedio, que es de 172 m. misma que se mantiene de las 7:30 am. hasta las 10:00 a.m., y de las 4:00 pm. hasta las 7:00 pm., con excepción de los días sábados, donde los niveles de saturación se mantienen a lo largo del día y hasta las 7:00 pm. la capacidad de descarga que tiene el semáforo es de 11 vehículos livianos por tiempo de verde, lo que representa una longitud media de 66 m., lo que representa el 38% de la cola que se acumula en el tiempo de inicio de verde.

En el Acceso sur, se observó el siguiente comportamiento:

No. ciclos	**No. vehículos Por carril**	**Longitud (mt.)**	**Referencia**
1	17	100	Gasolinera Esso
2	18	116	venta de vehículos
3	17	116	venta de vehículos
4	22	159	casa azul, venta de gas
5	24	169	casa azul

6	24	169	casa azul
7	22	159	casa azul
8	25	169	casa azul
9	21	146	venta de vehículos
10	19	122	venta de vehículos
11	23	163	casa azul
12	17	116	venta de vehículos
13	16	110	venta de vehículos
14	19	122	venta de vehículos
15	20	128	venta de vehículos
16	22	159	casa azul
17	25	169	casa azul (final)
18	24	169	casa azul
19	21	146	venta de vehículos
20	22	159	casa azul
21	18	116	venta de vehículos
22	22	159	casa azul
23	18	128	venta de vehículos
24	20	128	venta de vehículos
25	19	128	venta de vehículos
26	18	128	venta de vehículos
27	14	100	Gasolinera Esso
28	15	100	Gasolinera Esso
29	15	100	Gasolinera Esso
30	10	56	Gasolinera Esso

Aquí se obtuvo que la cola promedio de vehículos tiene una longitud de 128 m, la capacidad de descarga que tiene el semáforo es de 9 a 11 vehículos por tiempo de verde, lo que representa una longitud media de 60 m. Lo que significa que el semáforo soluciona al 47% de la cola que se acumula en el tiempo de inicio de verde.

En el acceso Oeste, se observó el siguiente comportamiento:

No. ciclos	**No. vehículos Por carril**	**Longitud (mt.)**	**Referencia**
1	31	192	UNION FENOSA (centro)
2	24	168	caseta taller electricista
3	31	192	UNION FENOSA (centro)
4	22	154	Poste de Vulcanización
5	23	178	UNION FENOSA (inicio)
6	34	225	UNION FENOSA (final)
7	34	225	UNION FENOSA (final)
8	44	281	Rótulo inyección diesel
9	34	225	UNION FENOSA (final)
10	38	247	Rótulo Farmacia
11	35	230	calle intersecc. vulcanización
12	35	230	calle intersecc. vulcanización
13	35	230	calle intersecc. vulcanización
14	35	230	calle intersecc. vulcanización
15	34	225	UNION FENOSA (final)
16	34	225	UNION FENOSA (final)
17	31	192	UNION FENOSA (centro)
18	31	192	UNION FENOSA (centro)
19	31	192	UNION FENOSA (centro)
20	31	192	UNION FENOSA (centro)
21	24	168	caseta electricista
22	24	168	caseta electricista
23	23	178	UNION FENOSA (inicio)
24	24	168	caseta electricista
25	24	168	caseta electricista
26	27	190	caseta de parada de buses

27	27	190	caseta de parada de buses
28	31	192	UNION FENOSA (centro)
29	31	192	UNION FENOSA (centro)
30	31	192	UNION FENOSA (centro)

En este caso, se obtuvo que la cola promedio de vehículos tiene una longitud de 201 m, la capacidad de descarga que tiene el semáforo es de 8 vehículos por carril por tiempo de verde, que representa una longitud media de 50 m. El semáforo solamente soluciona el 25% de la cola que se acumula en el tiempo de inicio de verde.

INTERSECCIÓN ENEL

Considerando los volúmenes de tránsito obtenidos “in situ”, el estudio de colas de vehículos se realizó para los accesos **ESTE** (de la UCA hacia la Rotonda del Periodista), **OESTE** (de la Rotonda del Periodista hacia la UCA) y SUR (de la UNAN hacia el Hospital Militar).

Se pudo constatar que los accesos que presentan niveles de saturación en horas de máxima demanda son el **ESTE y OESTE**, siendo el más critico el primero.

El acceso **ESTE** alcanza eventualmente una cola de vehículos de hasta 213 m. Sin embargo, los resultados obtenidos durante las horas de máxima demanda, muestran que la longitud promedio de la cola es de 103 m., de esa longitud el semáforo permite desalojar 16 vehículos por tiempo de verde, lo que representa una longitud de 96 mts, quedando por resolver una cola de 7 m.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

No. ciclos	**No. Vehículos/carril**	**Longitud mts.**	**Referencia**
1	27	194	Rótulo ALO PCS digital
2	21	142	Rótulo Reparto San Juan

3	21	142	Rótulo Reparto San Juan
4	17	108	Mini - pulpería
5	13	72	Casa periódico la república
6	16	108	Mini - pulpería
7	11	72	Casa periódico la república
8	16	108	Mini - pulpería
9	26	194	Rótulo ALO PCS digital
10	14	88	“Bar El Roble”
11	11	72	Casa periódico la República
12	13	60	Contig. period. La República
13	14	72	Casa periódico la República
14	11	60	Contig. Period. La República
15	10	60	Contig. Period. La Republica
16	15	88	Bar El Roble
17	14	88	Bar el Roble
18	26	194	Aló PCS digital
19	25	194	ALO PCS digital
20	23	142	Rótulo Reparto San Juan
21	29	165	Caseta Roja
22	22	142	Rótulo Reparto San Juan
23	16	88	Bar El Roble
24	16	88	Bar El Roble
25	10	60	Contig. period. La República
26	10	60	Contig.Períod.LaRepública
27	10	60	Contig. Período. la República
28	13	60	Contig. Period. La República
29	10	60	Contig. Period La República.
30	12	60	Contiguo La Republica

El acceso **OESTE**, según los registros llevados “in situ”, alcanza una cola promedio de vehículos de 145 m., en las horas de máxima demanda, de esa longitud, el semáforo solamente puede desalojar 96 m. por ciclo, quedando por resolver una cola de 49 m. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

No. ciclos	**No. vehículos Por carril**	**Longitud (mt.)**	**Referencia**
1	13	108	Rótulo ENEL
2	13	108	Rotulo ENEL
3	8	62	Caja café de ENITEL
4	18	133	Intersección calle
5	26	184	Empresa Metal Mecánica
6	30	213	Tampico
7	30	213	Tampico
8	24	151	Poste de Vulcanización
9	17	133	Intersección calle
10	17	133	Intersección calle
11	24	151	Poste de vulcanización
12	24	151	Poste de Vulcanización
13	22	157	Vulcanización
14	30	243	Tampico + 30 m.
15	22	157	Vulcanización
16	30	213	Tampico
17	24	151	Poste de Vulcanización
18	17	133	Intersección calle
19	13	108	Rótulo ENEL
20	13	108	Rótulo ENEL
21	13	108	Rótulo ENEL

22	13	108	Rótulo ENEL
23	22	133	Intersección calle
24	17	133	Intersección calle
25	22	157	Vulcanización
26	17	133	Intersección calle
27	17	133	Intersección calle
28	22	157	Vulcanización
29	17	133	Intersección calle
30	22	157	Vulcanización

El acceso **NORTE**, no presenta problemas de saturación en ninguna hora del día.

V.1-4 CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

Una vez encontrado el flujo de saturación y conociendo los tiempos de verde para cada acceso se obtiene la capacidad (**c**) de carriles o grupos de carriles del acceso en estudio. Posteriormente se calcula la relación v/c, donde **v** es el volumen de tránsito en las horas de máxima demanda. En el caso de la intersección Rubenia solamente el acceso Norte no tiene problema de capacidad, se obtuvo una relación de v/c de 0.59.

En la intersección ENEL se presenta una situación similar ya que el acceso norte tampoco presenta problemas de capacidad, se obtuvo una relación de v/c de 0.90.

En el cuadro V.1-4-1 se muestran los resultados de capacidad obtenidos en base a los conteos volumétricos que se realizaron(demanda) y los flujos de saturación obtenidos del estudio, conociendo los tiempos de verde, se obtiene la capacidad(oferta).

Cuadro V.1-4-1

CUADRO DE CAPACIDAD Y RELACIÓN v/c						
Intersección	**F.S.**	**Verde efectivo (seg)**	**Tiempo ciclo (seg)**	**Capacidad**	**Volumen**	**v/c**
RUBENIA						
OESTE	3,292	22.5	90	**823**	1,068	**1.29**
ESTE	3,726	27.5	90	**1,138**	1,277	**1.12**
SUR	1,898	22.5	90	**475**	770	**1.62**
NORTE	3,306	39.5	90	**1,450**	856	**0.59**
ENEL Central						
SUR	3,840	32	122	**1,007**	1,184	**1.17**
ESTE	3,596	40	122	**1,170**	1,241	**1.06**
OESTE	3,676	40	122	**1,205**	1,374	**1.14**
NORTE	3,612	35	122	**1,036**	869	**0.83**
7 SUR						
NORTE	1,726	35	126	**479**	607	**1.26**

V.2 ANALISIS DE RESULTADOS

V.2-1 ESTUDIOS DE VELOCIDADES.

En general se pudo observar que las velocidades que se alcanzan al final de tiempo de verde oscila entre 30 y 35 km/h , en algunos casos excepcionales esta velocidad es superada por los conductores que cruzan la intersección en tiempo de amarillo y algunas veces en rojo. Cabe señalar que las velocidades a que se hacen mención en el acápite anterior corresponden solamente a vehículos livianos.

Del cuadro que se muestra en el resumen de resultados obtenidos se concluye que las máximas velocidades se obtienen en los accesos con pendientes negativas y solamente en casos excepcionales se pudo obtener resultados similares a los obtenidos en accesos con pendientes positivas, principalmente por las condiciones prevalecientes en las intersecciones, esto es condiciones geométricas, estado de la superficie de rodamiento, etc.

V.2-2 ESTUDIOS DE FLUJOS DE SATURACIÓN.

Según los resultados obtenidos del estudio se puede concluir lo siguiente:

. Para los accesos con pendientes entre 0 y +2% los flujos de saturación son similares y oscilan entre 1,625 y 1898 veh/h, para pendientes mayores del +2% y menores de +4.5%, los flujos de saturación disminuyen casi proporcionalmente, obteniéndose valores entre conviene aclarar que en oportunidades los flujos de saturación disminuyen proporcionalmente, obteniéndose valores entre 1,646 y 1,811 veh/h.

. Para pendientes negativas entre -0.82 y -3.55% los flujos de saturación son mayores, obteniéndose resultados entre 1,863 y 2,080 veh/h.

.El flujo de saturación se define en términos de unidades de vehículos de pasajeros por hora de tiempo verde, con el propósito de homogenizar en una unidad patrón los diversos vehículos que circulan en las vías. A cada tipo de vehículo le corresponde un factor de equivalencia , determinado en función de la relación d espacio ocupado de este y el vehículo patrón. Para la obtención de los flujos vehiculares en este estudio se tomaron los factores de equivalencias mencionados en la parte final del Capitulo II . No obstante en nuestro trabajo obtuvimos factores de equivalencia para algunas intersecciones en particular , concluyendo lo siguiente:

Un bus de pasajeros es equivalente a tres vehículos livianos y un camión de carga es equivalente a dos vehículos livianos. Si comparamos estas equivalencias con las utilizadas en este estudio encontramos que las obtenidas en campo son mayores, por ejemplo:

Tipo de vehículo	**Equivalencia Internacional**	**Equivalencia del estudio**
Bus de pasajero	2.25	3
Camión de carga	1.75	2
Bicicleta	0.22	mayor que 1

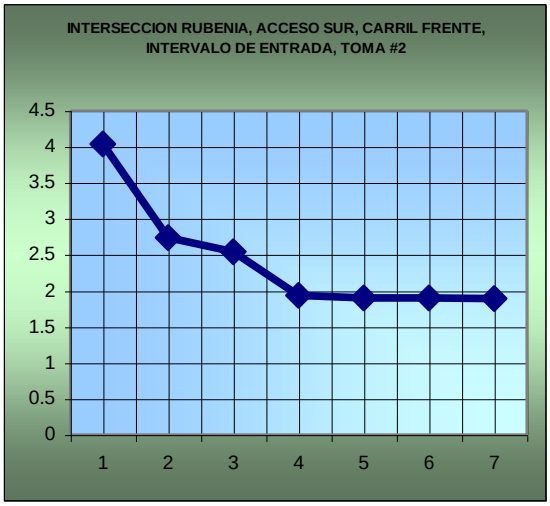
Lo anterior, respecto a los buses de pasajeros consideramos se debe al estado de deterioro en que funcionan este tipo de vehículo en nuestro medio. En cuanto a los camiones de carga se observó que existe la misma influencia y además la actitud que asume el conductor mientras circula por la intersección.

. En el caso de las bicicletas en nuestro medio no es posible aplicarle un factor de equivalencia de 0.22, ya que se observó que estas generalmente se ubican al inicio de la cola de vehículos, convirtiéndose en una causa de atraso par el desplazamiento de la corriente vehicular una vez que aparece la indicación de verde.

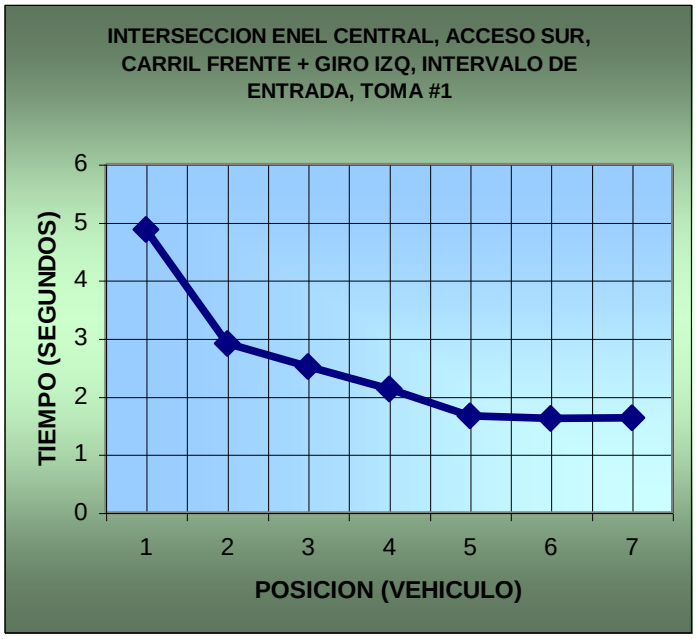
. En algunos casos se obtuvieron flujos de saturación entre 1,6870 y 1,747 vph, como es el caso de la intersección Larreynaga y el Edén, a pesar de que los accesos tiene pendientes suave(menores del 2%) esto se debe a las deficiencias geométricas que presentan estas intersecciones como es el caso del giro derecho del acceso oeste y giro derecho del acceso norte, los cuales se realizan a 90 ° propiamente en el área de cruce de la intersección., sumado a esto el estado de deterioro e irregularidades que algunas veces se observa en la superficie de rodamiento.

ANALISIS DE INTERVALO DE ENTRADA EN INTERSECCIONES.

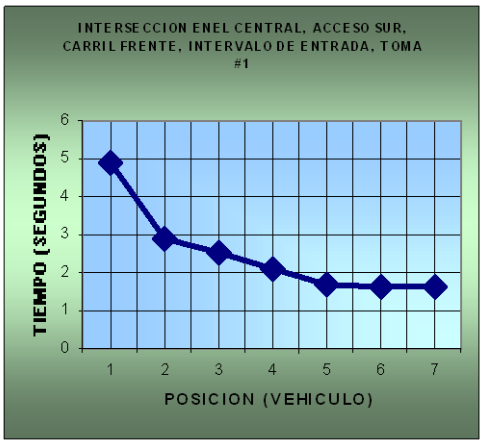
Para tener una visión mas amplia del comportamiento de la cola de vehículo a la entrada a la intersección, se elaboraron una serie de gráficas las cuales se muestran a continuación:

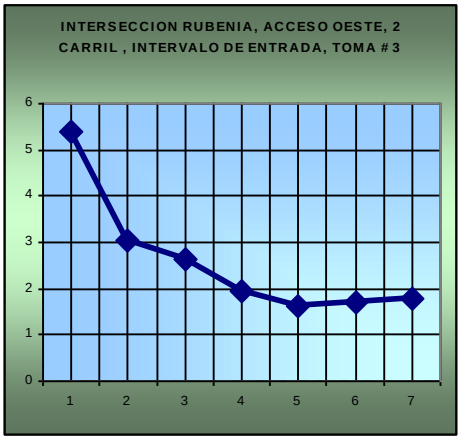


En la foto de la derecha se aprecia la cola de vehículos en espera de verde del semáforo, una vez que esta indicación aparece, la cola de vehículos inicia su movimiento de entrada al cruce de la intersección. En la gráfica de la izquierda se muestra la entrada de cada vehículo, de lo cual se concluye que los primeros cuatros vehículos tienen intervalos de entradas distintos y que a partir del cuarto vehículo se alcanza el intervalo de saturación, es decir se vuelve constante tal como se aprecia en la grafica. Cuando esto sucede es que se ha alcanzado el flujo de saturación.



En esta gráfica el comportamiento observado es un poco diferente ya que el intervalo de saturación se alcanza hasta en el quinto vehículo de la cola , teniendo a partir de este el mismo comportamiento de la primera gráfica.





Situación similar se observa en el comportamiento vehicular representado en estas dos gráficas, con ligeras diferencias en el comportamiento de la curva, muy similar a las obtenidas en estudios realizados en otros países, con la diferencia de que en este caso el intervalo de saturación se alcanza en el quinto vehículo, en lugar del cuarto vehículo que muestran otros estudios.

V.2-3 DEMORA MEDIA EN INTERSECCIONES

INTERSECCIÓN RUBENIA

Los resultados obtenidos, ratifican que los accesos Sur, Este y Oeste de la intersección de Rubenia presentan condición de saturación en la hora de máxima demanda(flujo forzado), así mismo se comprueba que el acceso norte mantiene un flujo de libre a libre razonable, para un nivel de servicio de hasta “B” en las horas de máxima demanda, con excepción del giro izquierdo donde se presentan condiciones de flujo inestable, donde los conductores tiene poca libertad para maniobrar.

INTERSECCIÓN ENEL

Los resultados obtenidos en la intersección de ENEL, ratifican que el acceso Este y Oeste presentan condiciones de saturación en las horas de máxima demanda, no obstante, el primero tiene nivel de servicio “F” y el segundo tiene nivel de servicio “E”.

V.2-4 COLAS DE VEHÍCULOS

El estudio realizado sobre colas de vehículos permitió conocer de forma más real la situación de congestionamiento, una vez determinada la longitud de estas, se puede determinar si puede existir una solución semafórica durable ó bien debe plantearse modificaciones geométricas para darle mayor capacidad a la vía.
En el caso de las intersecciones investigadas Rubenia y ENEL, se considera lo siguiente:

Intersección Rubenia

Tres de sus accesos presentan condiciones de saturación (congestionamiento), el acceso Sur tiene una cola de 128 m., el acceso Este de 172 m., y el acceso Oeste de 201 m. En ninguno de los casos es posible plantear una solución semafórica, ya que implicaría incrementar sustancialmente el tiempo del ciclo, para disponer de mayor tiempo de verde, lo cual también implica incrementar los tiempos de espera de los vehículos(demoras).
Por tanto, necesariamente se debe modificar las condiciones geométricas para darle más capacidad a la intersección y así poder plantear una alternativa más durable.

Intersección ENEL

En esta intersección los accesos críticos son dos, el Este y Oeste, con longitudes de 103 m., y 145m., respectivamente. Si examinamos los otros dos accesos, se concluye que el acceso norte, su capacidad supera a la demanda actual (ver cuadro de capacidad que se muestra en el capítulo V), disponiendo de un tiempo de verde mayor del que necesita . El acceso sur en hora de máxima demanda comienza a presentar problemas de congestionamiento, en el resto del día el tiempo de verde es suficiente.

Esta intersección a diferencia de las restantes, presenta un mejor diseño geométrico, lo cual es favorable al funcionamiento de la misma. Por lo tanto, las soluciones pueden plantearse de la siguiente manera:

En el acceso Sur, prolongar el carril de giro izquierdo y dotar de un carril de deceleración al giro derecho, esto último puede ser opcional, ya que el volumen de vehículos que hacen giro derecho es poco(ver conteo volumétrico de esta intersección en capítulo IV), esto a la vez le da más capacidad al movimiento de frente, el cual en muchos casos es atrasado por el Giro en mención.

En el acceso Oeste debe incorporarse un carril de deceleración para el giro derecho, aquí si es importante por el volumen de vehículos que giran hacia la UNAN. Esto, a la vez le da más capacidad al movimiento de frente, el cual frecuentemente es obstaculizado por los vehículos que hacen giro derecho.

El acceso Este, el que presenta la mayor longitud de cola, puede mejorársele su capacidad, incrementándole el tiempo de verde, para esto debe disminuirse el tiempo de verde del acceso norte.

Si no se puede mejorar la geometría, la solución semaforizada es todavía una opción, implementando una programación en los tiempos del semáforo, es decir disponer a lo largo del día de varias combinaciones de tiempos de ciclos e intervalos .

CAPITULO VI

VI.1 CONCLUSIONES

VI.1-1 SOBRE EL SISTEMA VIAL EN GENERAL Y LAS INTERSECCIONES EN PARTICULAR

. En nuestro medio el sistema de información es deficiente, no se dispone de registros históricos sobre el comportamiento del tránsito, o bien éste es muy limitado, menos un sistema de conteo en intersecciones.

. El sistema de semaforización en la ciudad de Managua es obsoleto, aún existen semáforos que datan de 70 años, otros de 25 a 30 años y los que se han colocado últimamente. En general los semáforos solamente disponen de un tiempo de ciclo durante el día. Por lo tanto, los tiempos no están en función del comportamiento del tráfico.

. La modernización del sistema de semaforización es una medida que hay que tomar a corto plazo, mediante la implementación de un plan de renovación del sistema actual, de amplia cobertura. Esta es una de las principales conclusiones de este trabajo, por lo que en la parte de recomendaciones se presentan propuestas alternativas para mejorar la red de semáforos de la ciudad de Managua, que consideramos conveniente se analice por partes del las autoridades correspondientes.

. En el tramo estudiado Pista Juan Pablo II, existen tramos congestionados en horas de máxima demanda, cuya solución va más allá de una solución de coordinación semafórica, como es el caso del subtramo que esta localizado entre la Rotonda Santo Domingo y la intersección el Dorado, presentándose un problema de capacidad vial.

. La mayoría de las intersecciones estudiadas carecen de una geometría aceptable, siendo los casos más critico en orden de importancia la intersección de Rubenia, Plásticos Robelo, el Dorado, Riguero y Larreynaga. No obstante, esta investigación permitió identificar otras intersecciones y tramos críticos donde uno de los puntos identificados más relevantes fue la situación actual de las Rotondas, aspecto que también se enfoca en las recomendaciones especiales.

. En las intersecciones estudiadas y más allá de estas , el peatón no tiene ninguna prioridad. Cuando se hacen diseños o rediseños tampoco se toma en cuenta a este elemento tan importante de la vía.

VI.1-2 SOBRE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS

VI.1-2-1 FLUJO DE SATURACIÓN

. En general los flujos de saturación obtenidos en campo dan mejores resultados que los calculados, fundamentalmente porque se toman en cuenta las condiciones existentes.

. Se verificó que los flujos de saturación se ven afectados por los giros izquierdo, cuando estos representan más del 10% del volumen de tráfico en el grupo de carriles. En el caso particular de las intersecciones estudiadas(Rubenia, acceso ESTE y ENEL, acceso SUR, se observó que estos giros alcanzan hasta el 90% en el primer caso y más del 50% en el segundo.

. Los flujos de saturación se ven afectados por los giros derecho, cuando estos son del orden de más del 15%, en la investigación realizada estos representan el la mayoría de los caso un 5 a 8% el volumen total en el carril o grupo de carriles, obviamente se presentan varios caso excepcionales, destacándose el giro derecho de la intersección de La Subasta, donde este es mucho mayor que los vehículos que van de frente, quedando prácticamente este carril como exclusivo para giro derecho.

También los giros derechos afectan el flujo cuando este se realiza repentinamente a 90 grados dentro del área de cruce de la intersección, caso típico se pueden observar en las intersecciones El Edén y Larreynaga ya mencionados en otra parte de este documento.

. Los flujos de saturación varían significativamente con la pendiente, pero hasta que superan el +2.5º%.

. La composición del tráfico influye significativamente en el flujo de saturación (perdiendo fluidez el movimiento vehicular) en algunas intersecciones, tal como Plásticos Robelo en la carretera norte, los buses y camiones alcanza hasta el 20 a 30% del volumen total en el carril o grupo de carriles, en cambio en otras intersecciones el tráfico es totalmente liviano como en las intersecciones ENEL(acceso sur) y Villa Fontana(acceso sur) .

. Los flujos de saturación actuales en las intersecciones estudiadas se ven disminuidos por las condiciones semafóricas, por una parte y por las condiciones geométricas por la otra.

VI.1-2-1 ESTUDIOS DE DEMORAS EN INTERSECCIONES

. La implementación de la metodología de campo, utilizando cámara de video es una manera eficiente de determinar las demoras reales. Sin embargo, tiene sus limitantes cuando las colas de vehículos son demasiado largas, como fue el caso de las intersecciones estudiadas donde las colas de vehículos llegaban a tener más de 250 m., de longitud, caso típico son las intersecciones Rubenia y ENEL.

. El tiempo de demora promedio es una de las variables más complejas para analizar en un acceso de una intersección semaforizada, ya que depende de las condiciones de circulación, las características de la vía, características del conductor y de la semaforización.

. La aplicación de programas de computación para determinar demoras en intersecciones semaforizadas debe estar en función de las condiciones reales de estas. En este sentido se presentan muchas limitantes al respecto.

VI.1-2-3 CONTEOS DE TRÁFICO

. El sistema de conteos de tráfico en intersecciones es muy deficiente. Esta limitado a conteos manuales realizados en un tiempo tan pequeño que no permite tener la información suficiente sobre el comportamiento del tráfico a lo largo del tiempo.

. No se realizan los aforos requeridos para el estudio de intersecciones.

VI.2 RECOMENDACIONES

VI.2-1 RECOMENDACIONES GENERALES

1) La situación actual de congestionamiento y estado de las principales vías de Managua requiere de mayor atención por parte de las autoridades correspondientes. Es necesario implementar un plan a corto, mediano y largo plazo. Debe existir un plan de inversiones que contemple soluciones a los puntos más neurálgicos de la capital. Lamentablemente esto no es posible llevarlo a cabo solo con el esfuerzo y los recursos de la municipalidad, debe participar el Gobierno Central.

2) La Red semafórica de la ciudad de Managua debe ser modernizada, para ello se presentan en este documento propuestas que van desde el aprovechamiento del sistema actual hasta el cambio de tecnología, Las cuales se detallan en las recomendaciones especiales de este informe.

3) Es importante iniciar la recuperación del derecho de vía de la pista Juan Pablo II, para a corto plazo iniciar su ampliación a seis carriles en los puntos más critico, como es el caso ya mencionado anteriormente, del subtramo que va de la Rotonda Santo Domingo hasta el semáforo El Dorado, donde en hora pico se máxima demanda circula un volumen de 3,069 veh/h, según registros del año 2002 de la Alcaldía de Managua.

Como medida inmediata debe hacerse efectiva la **prohibición de construir obras permanentes o temporales dentro del derecho de vía.**

4)Es importante realizar un estudio de mayor cobertura y con mayor grado de profundidad en las intersecciones semaforizadas y Rotondas localizadas en las arterias principales de Managua (pista Juan Pablo II, Carretera Norte y pista Rubén Darío, el tramo de la Rotonda de la Centroamérica hasta Rubenia y el tramo de la Rotonda Plaza España hasta la intersección con la pista Rubén Darío.

5) En la red semafórica actual, a lo inmediato es importante implementar combinaciones de ciclos e intervalos durante el día, conforme al movimiento vehicular que realmente se produce en las intersecciones.

6) En los estudios de intersecciones que se realicen en lo sucesivo, debe partirse de datos de tráfico reales. Para esto los conteos volumétricos deben ser más rigurosos para obtener mejor calidad de la información, debe ampliarse entre otras cosas el período de aforos, no limitarse a hacer conteos por 3 días.

7) Seria de provecho ampliar este estudio que estuvo muy limitado por el tiempo, para conocer a mayor profundidad las condiciones y comportamiento el tráfico vehicular, con miras a que en un futuro disponer de una metodologías de análisis acorde a nuestras condiciones.

VI.2-2 RECOMENDACIONES ESPECIALES

VI.2-2-1 Modernización de la red semafórica de la ciudad de Managua

a) Reemplazar controles antiguos

Los controles electromecánicos o algunos controles electrónicos antiguos no cuentan con las características necesarias para una óptima semaforización. Por ejemplo, no cuentan con parpadeo nocturno, el verde no puede parpadear antes del amarillo, no cuentan con reloj real, no permiten sincronización entre controles, etc.

b) Coordinación semafórica en intersecciones cercanas

Algunas intersecciones próximas tienen sus semáforos con diferentes ciclos o al menos no están coordinados, de manera que es posible obtener luz verde en un semáforo y roja en el siguiente inmediato, lo que produce presas. Los semáforos coordinados dan un flujo continuo en bloques.

c) Implementación de Semáforos inteligentes como un proyecto piloto

Varias intersecciones de Managua tienen un flujo vehicular poco uniforme. Se presentan casos donde la luz verde ya evacuo todo el grupo de vehículos y continúa el verde. Ese tiempo puede utilizarse en permitir el paso a otros sentidos de circulación y despejar la intersección. **Aquí es conveniente el uso de semáforos accionados por el tránsito,** los cuales utilizan censores colocados en los accesos de la intersección . Como un proyecto piloto bien vale la pena analizar esta posibilidad.

d) Mando Central

Una de las mejoras de mayor impacto en el sistema de semaforización es contar con un control central de mando y monitoreo. Desde este lugar se pretende manejar a los diferentes semáforos para que cambien sus ciclos , inicien parpadeo, indiquen su estado de funcionamiento, etc.

VI.2-2-2 PROPUESTA A LOS PROBLEMAS DE CONGESTIONAMIENTO EN ROTONDAS

Respecto a la situación actual de algunas de las Rotondas en horas de máxima demanda, la cual tiende a agudizarse, **se considera conveniente analizar la posibilidad de semaforizarlas.**

Una propuesta sencilla sería colocar semáforos en el área interior de la Rotonda contiguo al bordillo, con cara a cada acceso. Utilizando dos fases, una mediante la indicación de amarillo para los accesos norte y sur para permitir circulación con cuidado en esos sentidos, mientras los accesos Este y Oeste permanecen parados ,mediante la indicación de rojo. La otra fase sería lo contrario de esta.

Esto puede ser implementado solamente en horas de máxima demanda, ya que en el resto del día no existe mayor problema con el manejo de los volúmenes de tráfico.

Esta alternativa podría resolver un determinado tiempo, mientras se esta en capacidad de iniciar la construcción de pasos a desnivel en ellas.

VI.2-2-3 PROPUESTAS DE MEJORAR GEOMETRÍA DE INTERSECCIONES

En vista de que el estudio nos permitió conocer la situación actual de las intersecciones y muy particularmente la intersección de Rubenia, al respecto se hacen las siguientes recomendaciones:

Rediseñar la intersección, ampliando la vía, de tal manera que:

En el acceso sur se disponga de dos carriles de frente y un carril de deceleración para el giro derecho, cuya longitud no sea menor de 70 m., obviamente esto esta en función de los volúmenes de tráfico de este giro que es considerable (ver conteo volumétrico en hora pico realizado en este estudio) .

En el acceso Este, donde el mayor movimiento vehicular lo tiene el giro izquierdo y solo se dispone de un carril con movimiento de frente + giro izquierdo, se debe incrementar un carril adicional que se prolongue al acceso Oeste, también critico, lo anterior permitirá disponer de dos carriles para giro izquierdo en el acceso Este y a la vez solucionar el problema que se presenta en el acceso Oeste.

Lo anterior, requiere de un desplazamiento hacia el Oeste, del eje actual dirección norte-sur.

Es importante proveer a cada acceso de los carriles de aceleración y deceleración para facilitar los giros.

La ampliación más factible por la disponibilidad de terreno, es hacia el norte, actualmente libre.

V.3 BIBLIOGRAFÍA

- Manual de Capacidad Norteamericano (HCM)

- Manual de Capacidad de Carreteras. Versión Española, Madrid 1995 Asociación Técnica de Carreteras Comité Español de la A.I.P.C.R.

- Manual de Ingeniería de Tránsito de Guido Radelat

- Manual de Estudio de Ingeniería de Tránsito, Paul C. Box, Joseph C. Opperlander

- Documento sobre Investigaciones en Intersecciones Semaforizadas. Programa de Investigación en Tránsito y Transporte de la Universidad Nacional de Colombia, sede en Bogota.

- Documento sobre control inteligente en Intersecciones Semaforizadas accionadas por el tránsito, Estudios de casos en Medellín. Ings. Carlos Mario Martínez Hincapié y Víctor Gabriel Valencia Alaix.

- Documento Intersecciones a distinto nivel. Instrucción de vía Pública, Ayuntamiento de Madrid.

- Documento Análisis de pares Viales. Ing. James Cárdenas G.

- Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones, Rafael Cal y Mayor R.

- Documento Proyectos Viales con Simulación y Optimización del Tránsito. www.semavenca.com

- Documento El Tránsito del Futuro. Instituto Departamental de tránsito y Transportes del Atlántico. idtta@gobtl.gov.co

- Orden Circular 315/91 T y P WWW.carreteras.org

- Folleto Los semáforos de San Salvador. Laprensa.com.sv

V.4 ANEXOS

a. Formatos de control utilizados en este estudio.

b. Fotografías.

a- Formatos de control utilizados en este estudio

AFORO DE MOVIMIENTOS DIRECCIONALES EN UNA INTERSECCION

HOJA DE CAMPO—4 ACCESOS

N/S Calle _____ De las _____ a las _____

O/P Calle _____ Fecha _____ Día _____

A = Automóviles, camionetas, motocicletas y pick ups

C = Otros camiones (registrar cualquier autobús escolar como AE, otro autobús como B)

Condiciones atmosféricas _____

Observador _____

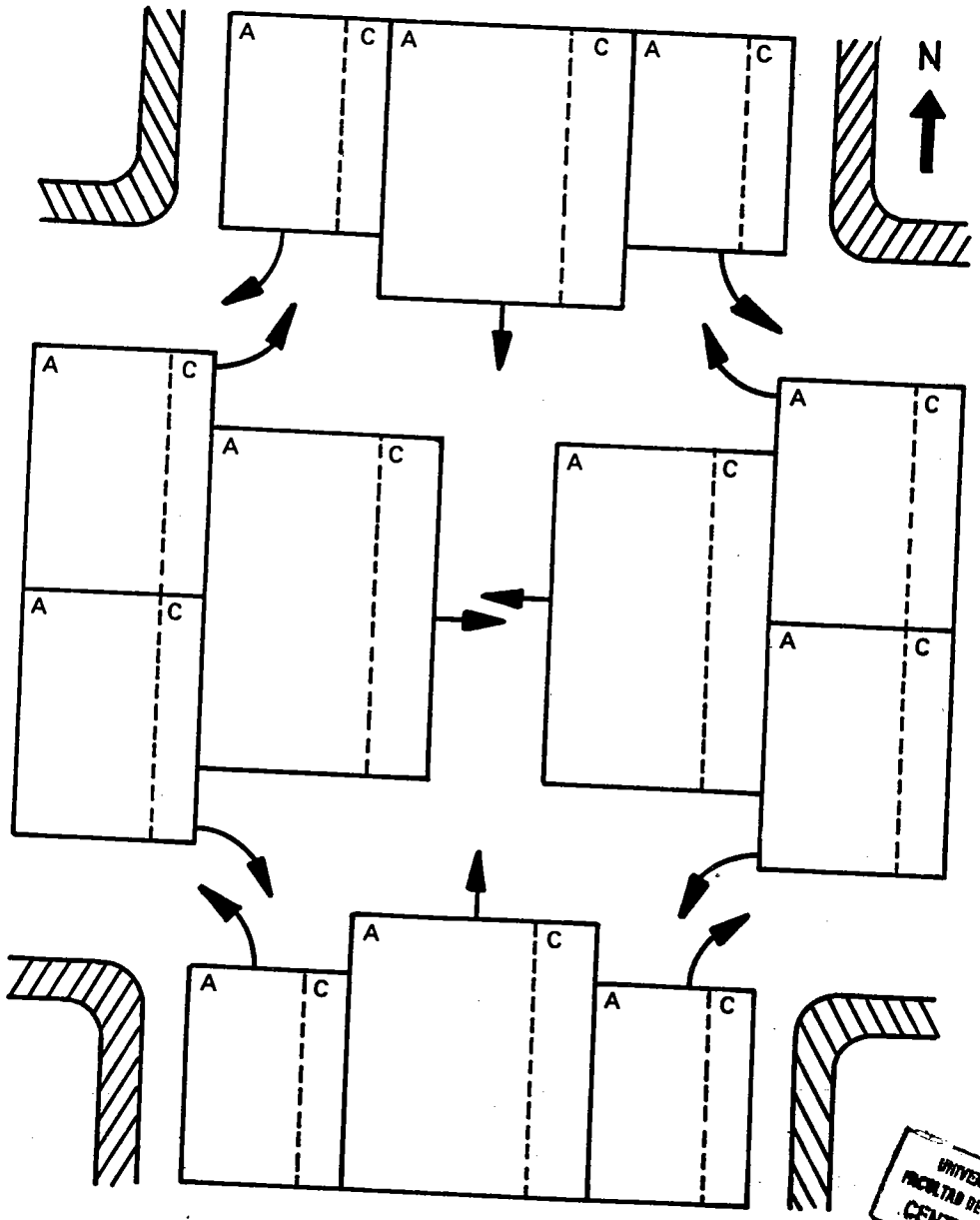


Figura 3-15. Ejemplo de hoja de campo para una intersección de 4 accesos.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

TRANSITO ACTUAL

RESUMEN GRAFICO DE MOVIMIENTOS VEHICULARES

Intersección _____

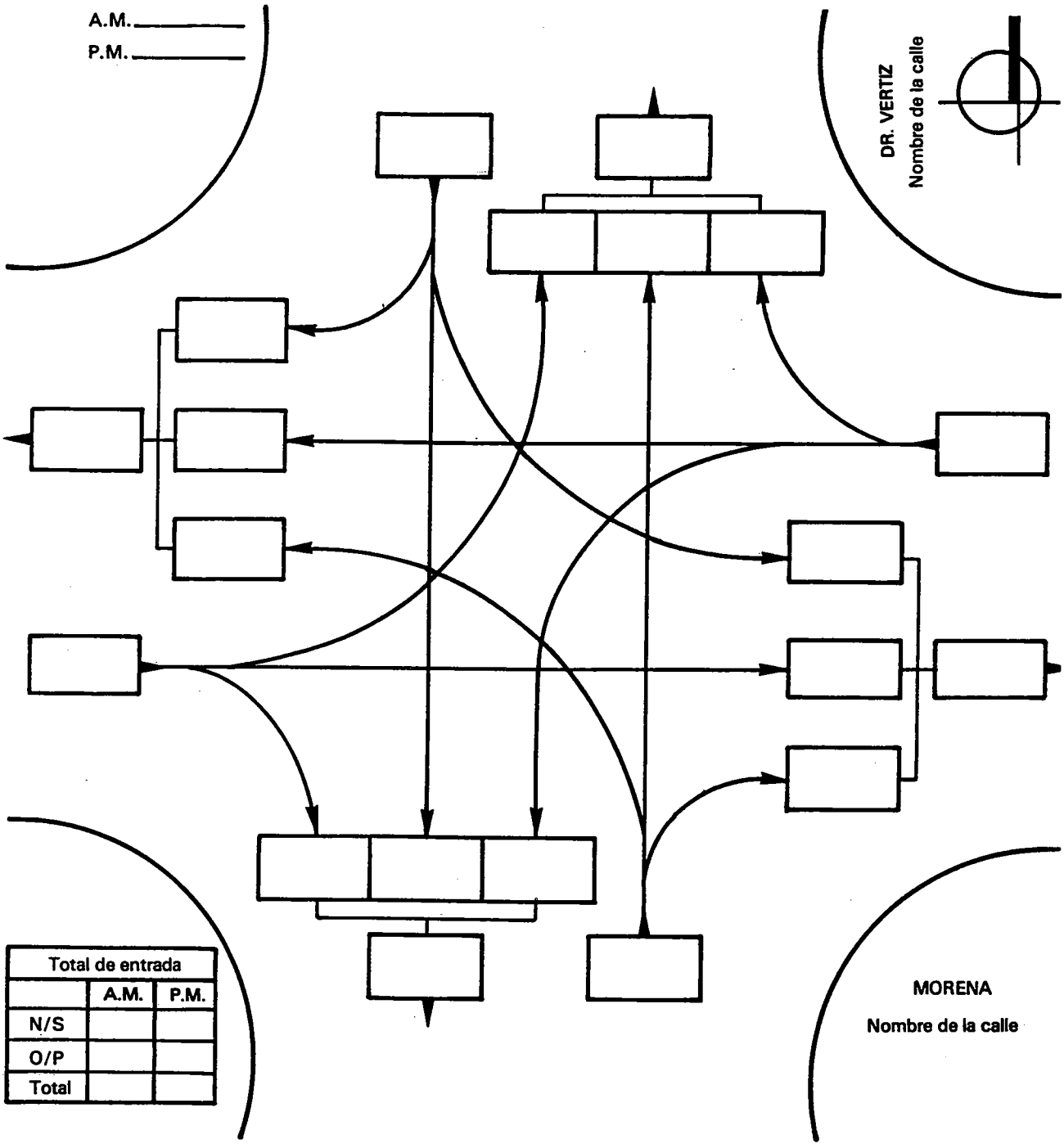
Observador _____

Ciudad _____ Fecha _____ Día _____

Hora

A.M. _____

P.M. _____



Total de entrada		
	A.M.	P.M.
N/S		
O/P		
Total		

Figura 3-23. Ejemplo de una hoja de resumen para una intersección con cuatro ramas. Está provista de una tabla para anotar el tránsito total que entra a la intersección.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

RESUMEN GRAFICO DE MOVIMIENTOS VEHICULARES

TRANSITO EXISTENTE

Intersección _____

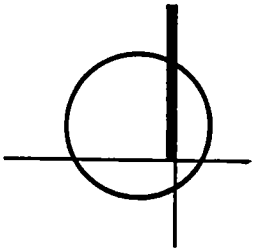
Observador _____

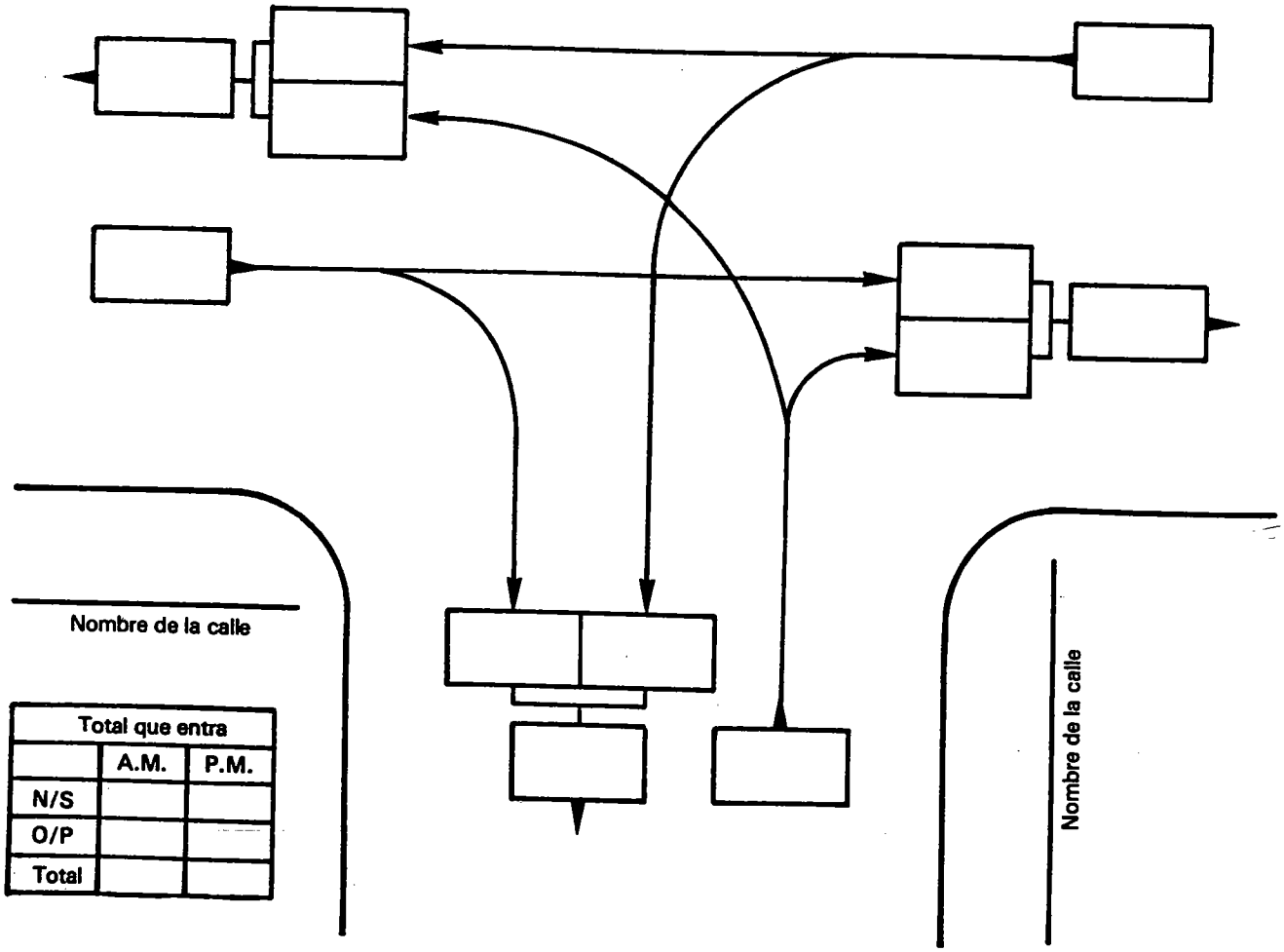
Ciudad _____ Fecha _____ Día _____

Hora

A.M. _____
P.M. _____

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION





Total que entra		
	A.M.	P.M.
N/S		
O/P		
Total		

Figura 3-24c. Ejemplos de formas para el resumen gráfico de aforos de horarios en intersecciones en T.

CONTROL FLUJO DE SATURACION EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

Interseccion: _____ **Acceso:** _____

Carril: _____ **Clima:** _____

Longitud de cola	Moto	Vehiculo liviano	Minibus	Bus	Carga pesado	Carga liviano	Rastra	Giro derecho	Giro izquierdo	G4 (seg)	Gx (seg)	Flujo Veh (vph)

FORMATO DE ESTUDIO DE SATURACION

Ubicación: _____

Fecha: _____ *Hora:* _____ *Ciudad* _____ *Clima:* _____

Dirección del tránsito: _____ *Acceso:* _____

Movimientos permitidos: _____ *de frente,* _____ *a la derecha,* _____ *a la izquierda*

Pendiente: _____ *Tipo de área:* _____ *Observador:* _____

Veh. en la cola	Ciclo 1			Ciclo 2			Ciclo 3			Ciclo 4		
	Tiempo	P	G	Tiempo	P	G	Tiempo	P	G	Tiempo	P	G
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
Final de Saturacio												
Final del Verde												
No Veh > 20												
No Veh en amarillo												

P= vehiculos pesados (conmás de 4 ruedas); G = vehículos que giran (I= izquierda, D = derecha), Los peatones y autobuses que bloquean el tránsito por 12 segundos; B15 = autobuses bloquean el tránsito por 15 segundos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
CENTRO DE DOCUMENTACION

RESUMEN TABULAR DE AFOROS DE VEHICULOS

Observador: _____ Fecha: _____ Día: _____ Ciudad _____

Intersección: _____ y _____

Hora de inicio	Del Norte				Del Sur				Total Norte Sur	Del Este				Del Oeste				Total Este Oeste	TOTAL
	D	F	I	Total	D	F	I	Total		D	F	I	Total	D	F	I	Total		

b- Fotografías

Vista del acceso Este de la Intersección ENEL central, observando la llegada de vehículos y la formación de la cola

Vista del acceso Norte de la Intersección ENEL central, la cual es de menor volumen de trafico

Vista del acceso Norte de la Intersección ENEL central, observando la cola en espera de la fase verde, igualmente se observa en la fotografía inferior la forma de llegada de los vehículos a la intersección.

Acceso Sur de Intersección Rubenia, representando una de las de mayor longitud de cola por cuanto el movimiento de frente se realiza por un solo carril

Vista del final de la cola formada en el acceso Este de la Intersección Rubenia

Vista del acceso Norte de la Intersección 7 Sur, el cual es notoria la longitud de cola así como el alto porcentaje de buses que la componen.