

Estudio de Capacidad Vial en Intersecciones a Nivel para la Ciudad de Ibagué

William Castro García*

INTRODUCCIÓN

Este proyecto fue realizado por el Programa de Investigación en Transito y Transporte (PIT) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia para el Municipio de Ibagué y Planeación Nacional con recursos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Este artículo contiene los resultados de las tres etapas del estudio: (1) Diseño y toma de información, (2) Procesamiento y depuración de la información recopilada y (3) Análisis de la información procesada y depurada. Dentro de los objetivos principales del estudio se destacan:

- Crear los instrumentos técnicos básicos para implantar sistemas de administración del tráfico a nivel local.
- Contribuir con la puesta en marcha de esquemas de administración de tráfico que mejoren la calidad del servicio y las condiciones operativas de sistemas de transporte público y privado urbano.
- Propender por el aseguramiento de una estructura técnica sostenible en el corto y largo plazo, que incentive la participación del sector privado, para la operación técnica e integrada del sistema semafórico, como herramienta de administración del tráfico.
- Implementar un sistema que lidere el proceso de renovación urbana de la capital tolimense bajo criterios urbanísticos, ambientales y paisajísticos sostenibles, ajustados al Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio.
- Determinar la ubicación y necesidad de las instalaciones semafóricas en las intersecciones urbanas.
- Determinar las bases operativas iniciales del sistema semafórico, que será entregado en concesión en condiciones técnicas óptimas de seguridad y servicio. (Número de intersecciones semaforizadas, equipos de control, detectores, arreglos viales –bahías carriles de aceleración, entre otros)
- Determinar los requerimientos para el cambio del equipo semafórico de una intersección a otra intersección o lugar, una modificación del sentido de una vía, y/o una desconexión

del equipo semafórico.

- Identificar el tiempo óptimo de ciclo que permita la sincronización de la red semafórica.
- Obtener la información primaria que permita elaborar los documentos integrantes de los pliegos de condiciones para la licitación, la minuta del contrato de concesión y la cartilla técnica, en la cual se consignen las especificaciones técnicas mínimas que deben ser cumplidas por los concesionarios, garantizando niveles óptimos de seguridad y servicio, para el desarrollo de un esquema de concesión del sistema semafórico.

I. METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE INFORMACIÓN

A partir del análisis de los estudios existentes, la experiencia local de la Secretaría de Tránsito y los alcances de este proyecto se diseñó la toma de información primaria consistente en una serie de actividades básicas relacionadas a continuación, que permiten tener una información representativa del comportamiento del tráfico en las intersecciones y los corredores principales de la malla vial de la ciudad de Ibagué.

- Aforos de volúmenes vehiculares en 3 estaciones maestras y en 57 intersecciones viales.
- Medición de la velocidad de marcha y recorrido sobre los principales corredores que atraviesan la ciudad de norte a sur y este a oeste.
- Medición de longitudes de cola en intersecciones seleccionadas por considerarse representativas, efectuándose sobre los accesos que estuvieran más cargados.

La toma de la información primaria de campo fue realizada entre los días 23 y 30 de septiembre de 1999, en las 60 intersecciones contempladas dentro del contrato, de las cuales 3 corresponden a estaciones maestras y las restantes 57 a las intersecciones viales.

Para determinar la variación del tránsito a través del tiempo, se realizaron conteos permanentes en estaciones

*Ingeniero Civil, Especialista en Transporte, Profesor Departamento de Ingeniería Civil

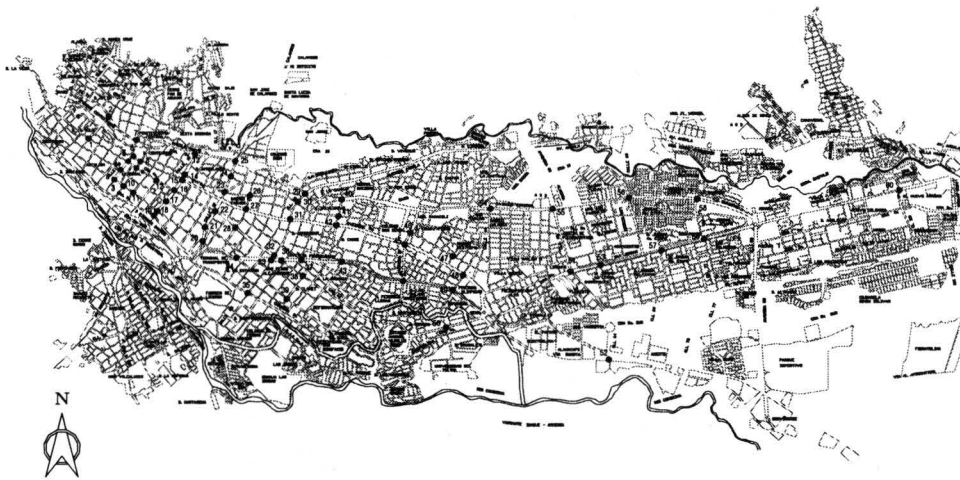


Figura 1. Ubicación de las Intersecciones Estudiadas

maestras con el fin de conocer el comportamiento del tráfico en la zona y estimar con base en las variaciones del tránsito, la demanda vehicular en intersecciones aledañas o cercanas a la estación maestra en donde se realizaron conteos vehiculares en forma manual y en períodos cortos de tiempo.

La selección de las intersecciones maestras fue llevada a cabo previa verificación de la operación del tránsito en la ciudad de Ibagué, buscando caracterizar el comportamiento por zonas homogéneas de uso del suelo identificado mediante la inspección de campo, para lo cual se decidió dividir la ciudad en tres grandes zonas:

- **Primera Zona:** correspondiente al sector centro (entre Calles 6ª a 15ª y Carreras 1ª a 8ª) con uso del suelo de tipo mixto identificándose uso comercial, institucional, educativo y administrativo. Esta zona esta compuesta por 19 intersecciones.
- **Segunda Zona:** correspondiente al sector intermedio (entre Calles 15ª a 31ª y Carrera 1ª a Avenida Ambalá) en la cual se identificó un uso del suelo de tipo mixto con tendencia comercial pero con una mayor participación del uso residencial. Esta zona esta compuesta por 24 intersecciones.
- **Tercera Zona:** correspondiente al sector periférico (entre Calles 31ª a 100ª y Carrera 4ª a Avenida Ambalá) donde el uso del suelo es predominantemente residencial. Esta zona esta compuesta por 17 intersecciones.

Con base en lo anterior se decidió caracterizar la operación del tránsito de cada una de estas zonas, para lo cual se procedió a identificar las intersecciones más representativas seleccionando aquellas con vías de doble sentido en sus cuatro accesos, esto permitió cuantificar e identificar el comportamiento de los movimientos más cargados durante las diferentes horas del día. Se establecieron las siguientes intersecciones maestras: Carrera 5 x Calle 15 (Zona 1), Carrera 8 x Calle 25 (Zona 2) y Carrera 5 x Calle 60 (Zona 3).

En cada una de las estaciones maestras se efectuaron aforos vehiculares en el período de las 04:00 horas hasta las 24:00 horas, acumulando vehículos en movimientos cada quince minutos y discriminándolos en sus diferentes tipos: automóviles, buses, camiones y motos.

Adicional a los aforos vehiculares, se midieron las velocidades de marcha y recorrido, para ello se utilizó el procedimiento de vehículo flotante mediante el cual se recorrieron cada uno de los tramos elegidos en el estudio, circulando a una velocidad en la que el conductor del vehículo trata de «flotar» en la corriente vehicular, procurando que el número de vehículos que se adelanten sea igual al de aquellos que rebasen al vehículo flotante. Este procedimiento se realizó sobre los principales corredores urbanos donde la densidad del tránsito y su regulación producen reducciones apreciables en la velocidad de los vehículos.

Se realizaron estas mediciones siguiendo el comportamiento general del tráfico con el movimiento prioritario de acuerdo con la hora pico, en los mismos días y horas en que se efectuaron los conteos vehiculares, sobre los principales corredores que atraviesan la ciudad de norte a sur y este a oeste tomando finalmente tres muestreos de cada uno de los tramos.

Antes de proceder a la toma física de campo, fue necesario capacitar a todo el grupo de aforadores contratados. Esta capacitación consiste en indicar a cada uno de los aforadores las actividades a desarrollar en campo, los sitios de ubicación y el horario de trabajo. Todo el personal de campo fue contactado en las diversas Universidades locales: Universidad del Tolima, Coruniversitaria y la Universidad Cooperativa. Finalmente, la información de campo es procesada para generar archivos de digitación, los cuales son depurados y llevados a una carpeta para su posterior análisis.

II. ESQUEMAS BÁSICOS DE INTERSECCIONES

Como resultado del inventario físico realizado para cada una de las sesenta intersecciones objeto del estudio, se realizaron esquemas de las intersecciones en el que se

consignaron: el número de accesos, sentidos de circulación, ancho de carriles y cantidad de los mismos, ancho del separador, ubicación del amoblamiento semafórico, en caso de existir y los movimientos direccionales permitidos así como los movimientos no protegidos como es el caso de los giros izquierdos. La información se procesó en el programa SIDRA y se le adicionó el amoblamiento con las ayudas de dibujo. En la Figura anexa se presenta un ejemplo de estos esquemas con sus correspondientes convenciones.

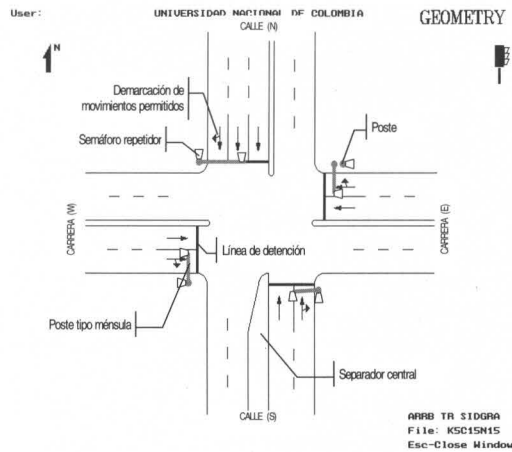


Figura 2. Esquema básico de intersección

III. RESULTADOS DE LAS ESTACIONES MAESTRAS

A continuación se presenta un análisis de los resultados de las tres estaciones maestras aforadas en la ciudad, mediante el cual es posible caracterizar de una forma general, el comportamiento del tráfico en cada una de las zonas.

A. ZONA 1: CENTRO

La intersección representativa de la Zona 1, que se encuentra ubicada en la Carrera 5ª (Este – Oeste) con Calle 15ª (Norte – Sur), regula la entrada y salida de los vehículos hacia el centro administrativo y comercial de la ciudad de Ibagué. El comportamiento de esta intersección corresponde con los hábitos de la población de la ciudad, en particular con las de inicio de actividades laborales y estudiantiles alrededor de las 8:00 horas, descanso y período de almuerzo alrededor de las 12:00, el reinicio de actividades alrededor de las 15:00 y el final de la jornada diaria alrededor de las 18:00 horas.

B. ZONA 2: INTERMEDIA

La estación maestra de la Zona 2, está ubicada en la Carrera 8 con Calle 25, sobre la Av. Guabinal, es la conectante entre la periferia y la zona centro. En general presenta una tendencia semejante al de la estación maestra anterior, con volúmenes vehiculares inferiores pero con los picos horarios mucho más marcados.

C. ZONA 3: PERIFÉRICA

La estación maestra representativa de la Zona 3 se encuentra localizada en la Carrera 5 con Calle 60 corresponde a donde predomina el uso del suelo de tipo residencial. En términos

generales el comportamiento de los flujos vehiculares es semejante al de las dos estaciones maestras anteriores, en especial al caso de la estación maestra 1, es decir donde no se presentan picos tan pronunciados como en el caso de la estación maestra 2.

Para caracterizar todo el comportamiento del tráfico vehicular de la ciudad se procedió a elaborar la figura 3 donde se muestra en conjunto el comportamiento de las tres estaciones maestras, así como los volúmenes globales que se obtuvieron. Esta figura caracteriza de manera general la conducta del tránsito en la ciudad y sustentan la escogencia de los períodos de aforo en las 57 estaciones restantes. Del análisis de este gráfico se eligieron los siguientes períodos para aforos:

- Para el pico del medio día de 11:45 a 13:15 con tráfico predominante de salida del centro hacia la periferia.
- Para el pico de la tarde de 13:30 a 15:45 con tráfico predominante la periferia hacia el centro.
- Para el pico de la noche de 17:00 a 19:15 con tráfico predominante de salida de la zona centro hacia la periferia.

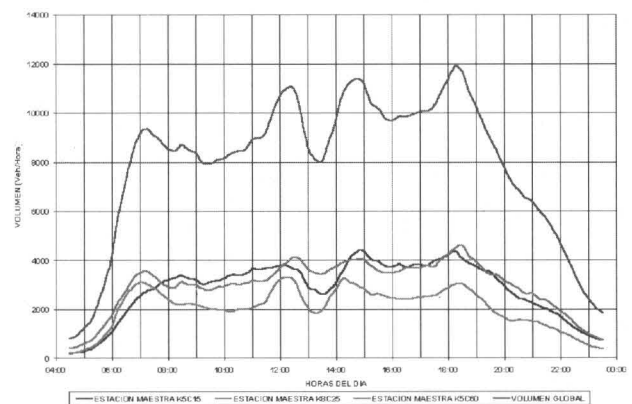


Figura 3. Variación del volumen de Estaciones Maestras

Como bien se puede observar, no se ha presentado período de muestreo para el pico de la mañana, se considera de poca relevancia comparado con los dos picos de medio día y el pico de la noche, con los que perfectamente se caracteriza la operación del tránsito en la ciudad. De acuerdo con lo anterior, se identifica claramente que la hora de máxima demanda de flujo vehicular para la ciudad se presenta en el período vespertino comprendido entre las 17:45 y las 18:45, período en el cual se evidencian las condiciones más desfavorables del tránsito y se identificaron los tramos y puntos críticos de la ciudad.

IV. RESULTADOS DE LOS AFOROS EN PERÍODOS PICO

Para cada una de las intersecciones en los tres períodos pico analizados se elaboraron esquemas de movimientos direccionales y composición vehicular. Los porcentajes direccionales nos dan información para cada acceso sobre los

porcentajes de giro a la derecha, giro a la izquierda y movimiento directo en cada uno de los accesos. La composición vehicular nos indica los porcentajes de autos, buses, camiones y motos.

Se presentan los 183 Esquemas de movimientos direccionales y composición vehicular para cada una de las horas pico identificadas en las intersecciones consideradas. La información recolectada representa una de las entradas básicas para el análisis de capacidad y niveles de servicio de las intersecciones estudiadas. Para cada uno de los períodos pico se elaboraron los planos de carga, que representan la cantidad de vehículos equivalentes que circulan por cada uno de los tramos de los diferentes corredores que unen las intersecciones estudiadas. En ellas se puede identificar la prioridad y magnitud de circulación de cada uno de los sentidos.

V. CORREDORES VIALES DE LA CIUDAD

La selección de los corredores se lleva a cabo partiendo del análisis del comportamiento del tránsito sobre los diferentes ejes viales de la ciudad, para lo cual se realizó una inspección detallada de la operación del tránsito de la ciudad mediante la observación directa en campo, complementada con los análisis de la información suministrada del procesamiento de las intersecciones maestras. De esta manera fue posible identificar los corredores que conforman la red primaria de la ciudad, tanto por sus características geométricas como por la misma operación del tránsito. Mediante este procedimiento fue posible identificar los sitios donde se presentan condiciones forzadas de tránsito o sitios críticos de la ciudad.

De otra parte, se tuvo en consideración el hecho de ser corredores por donde se evidenciaba, de manera representativa, la presencia de rutas de transporte público, con los volúmenes y composición vehicular de los mayores flujos de tránsito importantes, y como principal característica se tuvo en cuenta que fuesen corredores semaforizados, que permitieran la conexión entre los diferentes puntos cardinales de la ciudad, teniendo como parámetro principal para determinar los puntos de frontera de cada corredor la distancia entre intersecciones semaforizadas, de tal forma que esta no supere 1.000 metros, distancia considerada como límite para que el pelotón de vehículos conserve un comportamiento homogéneo. En distancias superiores se presenta la dispersión del pelotón de vehículos, no pudiéndose caracterizar el comportamiento del mismo.

Los resultados obtenidos para cada uno de los diferentes corredores, y específicamente para cada sentido de circulación, permiten caracterizar la operación del tránsito a través de ellos, mediante la cuantificación de variables como la velocidad de marcha y de recorrido por tramo y para todo el corredor.

En la figura 4 se muestran las causas de las demoras de todos los corredores de la ciudad. Cuando se evalúan los resultados a nivel global, se tiene que la velocidad media de recorrido para

los diferentes corredores analizados es de 19,8 kph y la de marcha de 26,7 kph, las cuales resultan en términos generales aceptables, si se tiene en cuenta que globalmente se encuentra operando en Nivel de Servicio D.

Cuadro 1. Corredores Viales Estudiados

Nº	CORREDOR	CRUCE INICIAL	CRUCE FINAL	SENTIDO
1	Carrera 2	Calle 10	Calle 19	W-E
2	Carrera 4	Calle 10	Calle 28	W-E
3	Av. Ferrocarril	Calle 23	Calle 42	E-W y W-E
4	Carrera 5	Calle 10	Calle 42	E-W y W-E
5	Av. Jordán	Calle 60	Calle 69	E-W y W-E
6	Av. Guabinal	Calle 41	Calle 69	E-W y W-E
7	Calle 10	Carrera 2	Carrera 7	N-S y S-N
8	Calle 15	Carrera 2	Carrera 8	N-S y S-N
9	Calle 19	Carrera 2	Carrera 8	N-S y S-N
10	Calle 25	Carrera 1	Carrera 8	N-S y S-N
11	Calle 37	Av. Ferrocarril	Carrera 6	N-S y S-N

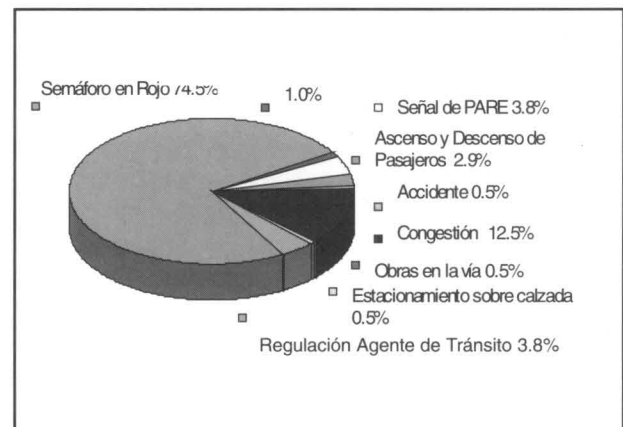


Figura 4. Causas de las demoras total de los 11 corredores

“Este nivel de servicio D se describe como el límite de un estado en el cual pequeños incrementos de flujo vehicular pueden causar incrementos importantes de la demora total sobre el corredor y por tanto, descensos en la velocidad arterial. Esto puede deberse a una progresión semafórica inadecuada, a un reglaje inapropiado del ciclo semafórico, a unos volúmenes elevados o a una combinación de estos tres factores. Las velocidades medias de recorrido están alrededor del 40% de la velocidad en régimen libre”¹

Como conclusión se puede observar, por ejemplo, que la causa de demora “Semáforo en Rojo” que representa el 75% de frecuencia de aparición entre las demás, se encuentra un valor de 7 veq/carril, es decir, potencialmente un vehículo que viaja por un corredor principal como los evaluados, a las horas de máxima demanda puede encontrar en su viaje esa longitud de cola delante de él cuando tenga que parar por un semáforo en rojo; de la misma forma se deben interpretar cada uno de los demás resultados obtenidos.

¹ Tomado del Manual de Capacidad HCM-97. Capítulo 11 Página 6

VI. MODELACIÓN DE LAS INTERSECCIONES Y LA RED

A. MODELACIÓN CON EL PROGRAMA SIDRA

Inicialmente se procedió a modelar de manera aislada cada una de las intersecciones controladas de la ciudad. El proceso se adelantó utilizando como principal herramienta de apoyo el Software SIDRA 5.20, seleccionado por la versatilidad que ofrece ya que permite la evaluación de intersecciones de prioridad, intersecciones reguladas con semáforos, glorietas, adicionalmente porque en esta versión ya se encuentran incorporadas las modificaciones realizadas al *Highway Capacity Manual* en el año de 1997.

Vale la pena resaltar, que los resultados arrojados por SIDRA 5.20, así como también la observación de la operación del tránsito, constituyen la base para la toma de decisiones en cuanto al manejo operativo y requerimientos de las intersecciones analizadas. El resultado de esta modelación se presenta en la figura anexa donde se observan los diferentes niveles de servicio de las 53 intersecciones semaforizadas estudiadas.

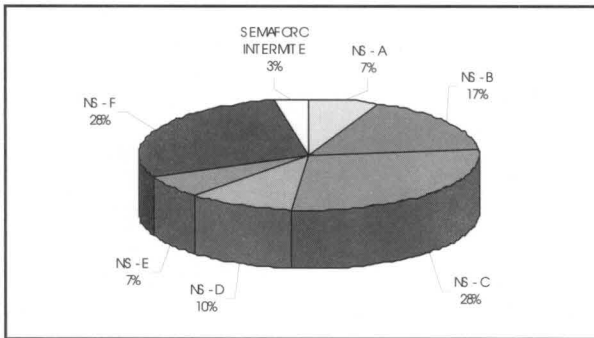


Figura 5. Participación de las intersecciones por nivel de servicio Situación Actual

B. OPTIMIZACIÓN DE LA RED: TRANSYT 7-F

La modelación de la red se efectúa para las tres condiciones pico de operación. Para cada condición se determinan los parámetros de operación de la red, tales como: Tiempos de los planes de señal, Longitudes de cola, Tiempos de demora, Grados de saturación, Velocidades de operación y Niveles de Servicio. Para efectuar este análisis es necesario la utilización de una herramienta que nos permita modelar la red semaforizada. En este caso, se emplea el programa TRANSYT-7F versión 7.2, el cual se aplica para la coordinación y optimización de los tiempos de semáforos en redes urbanas.

El programa nos proporciona las siguientes salidas: Informe de datos de entrada, Tabla de parámetros del tránsito, Programación de los controladores, Diagramas de perfil de flujo en líneas de detención, Diagramas espacio tiempo y Resumen de la evaluación de duración de ciclo. Los datos que requiere la modelación fueron tomados directamente de campo o de archivos magnéticos de la cartografía de la ciudad. El resultado de esta optimización se presenta en la figura anexa donde se observan los diferentes niveles de servicio de las 53 intersecciones semaforizadas estudiadas.

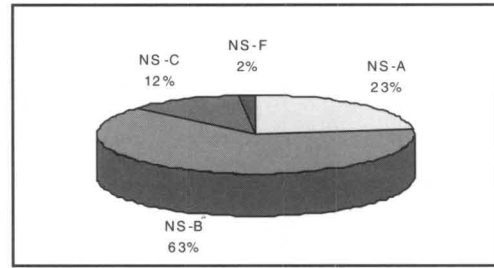


Figura 6. Participación de las intersecciones por nivel de servicio - situación optimizada

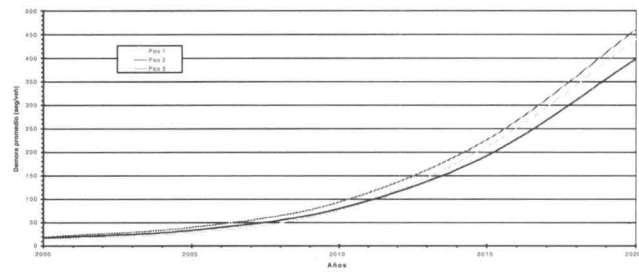


Figura 7. Variación de la Demora Promedio de la Red

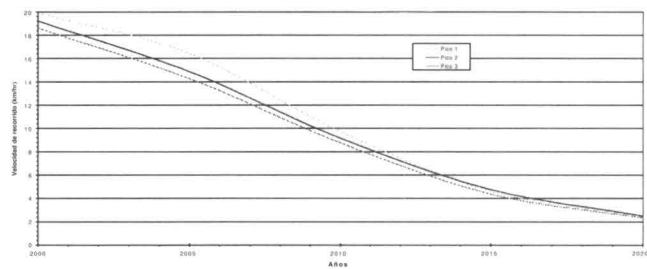


Figura 8. Variación de la Velocidad Promedio de Recorrido de la Red

Para establecer futuras condiciones de operación se procede a modelar las situaciones futuras en los horizontes 2005, 2010, 2015 y 2020. En el caso del año 2010, la red pasará a trabajar a capacidad (nivel de servicio E), y para los años 2015 y 2020 se tendrán condiciones de saturación (nivel de servicio F) completamente inadmisibles. Evidentemente que los resultados de la evaluación, significan, que necesariamente para el año 2005 se debe iniciar la implementación de mejoras en la capacidad vial de la ciudad, para poder garantizar los niveles de servicio adecuados. El tipo de ampliaciones, mejoras y construcciones viales nuevas, deben ser parte de los resultados que se deben alcanzar dentro del Plan Piloto de Tránsito y Transporte de la ciudad.

VII. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN TÉCNICA

En este capítulo se describe la solución técnica determinada en el punto anterior. Del resultado de análisis de la modelación en los diferentes años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 es posible establecer las necesidades en las diferentes etapas del proyecto.

A. ETAPA 1: INVERSIÓN INICIAL AÑO 2000

Para poder operar la red de manera coordinada se establece que en el año 2000 se debe implementar el centro de control,

que debe incluir inicialmente las 50 intersecciones semaforizadas centralizadas. Adicional a las 50 intersecciones semaforizadas se contempla que debe administrar un total de 500 intersecciones con señales de pare.

B. ETAPA 2: EXPANSIÓN AÑO 2005

Para el año 2005 se recomienda interconectar al sistema centralizado las intersecciones relacionadas en el informe, de las cuales dos entran a ser reguladas por semáforos a partir de este momento. Se prevé que en este año deban semaforizarse 20 nuevas intersecciones en total, incluidas las anteriores. Adicional a las intersecciones semaforizadas se contempla que debe administrar un total de 700 intersecciones con señales de pare.

C. ETAPA 3: EXPANSIÓN AÑO 2010

Para el año 2010 se recomienda entrar a regular con semáforo las intersecciones relacionadas en el Informe, las cuales operarán como intersecciones de prioridad hasta este momento. Se prevé que en este año deban semaforizarse 20 nuevas intersecciones en total, incluidas las anteriores. Adicional a las intersecciones semaforizadas se contempla que debe administrar un total de 900 intersecciones con señales de pare. Antes de este año se debe evaluar la operación real del sistema para entrar a plantear alternativas de solución que busquen incrementar la capacidad vial, mediante ampliaciones, mejoras y construcciones viales.

D. ETAPA 4: EXPANSIÓN AÑO 2015

Para el año 2015 se prevé que deban semaforizarse un total de 20 intersecciones. Adicional a las intersecciones semaforizadas se contempla que debe administrar un total de 1.100 intersecciones con señales de pare.

VIII. OPERACIÓN DEL SISTEMA

Se presentan las especificaciones técnicas y la cuantificación de todos los componentes electromecánicos, del sistema de semaforización propuesto de manejo centralizado, que garantice la coordinación y sincronización de las intersecciones semaforizadas.

A. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL

Los equipos actuales de control local que regulan cada intersección semaforizada de la malla vial de la ciudad de Ibagué, son de tecnología obsoleta. No permiten una adecuada programación de las fases semaforicas y distribución de los tiempos de verde, acorde con las diferentes situaciones de tráfico que se presentan a lo largo del día, no hay una adecuada programación del ciclo y mucho menos coordinación en los corredores tanto longitudinales como transversales, lo cual repercute en mayor número de paradas y por ende tiempos de espera con una reducción de la velocidad de recorrido.

El amoblamiento semaforico que comprende los postes, los semáforos vehiculares y peatonales disponibles actualmente en las intersecciones semaforizadas, no cumplen con las normas técnicas de instalación y ubicación. Se observa una mezcla de señalización, encontrándose en algunas intersecciones postes con semáforos ubicados en posición atrasada (antes de atravesar el cruce), y en otras los postes se encuentran instalados en la mitad de la intersección, lo que genera confusión al conductor y lleva a la indisciplina observada generándose irrespeto al semáforo.



Figura 9. Equipo de Regulación Actual

De igual manera los postes y semáforos utilizados actualmente no cumplen con las especificaciones requeridas para el correcto amoblamiento de la intersección, así como los semáforos, que no cuentan con los módulos adecuados y las lentes no cumplen con las normas técnicas de luminosidad.

B. COMPOSICIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

El sistema de semaforización propuesto para la ciudad de Ibagué deberá ser de manejo centralizado, compuesto por un computador de tráfico al cual se interconectan los equipos de control local, mediante una red dedicada de cables del tipo telefónico, permitiendo de este modo la sincronización y la coordinación de las intersecciones de la malla vial semaforizada.

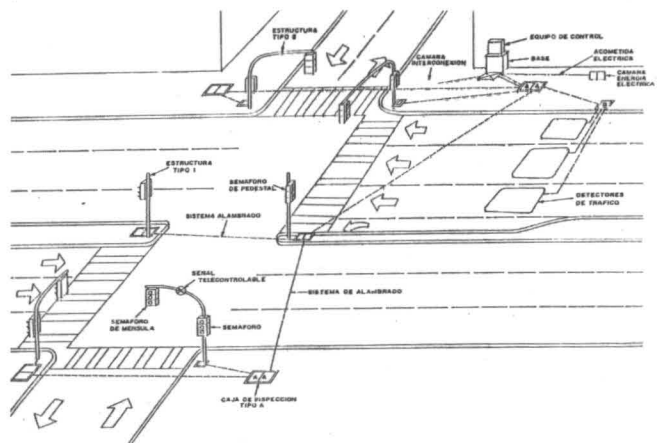


Figura 10. Amoblamiento Semaforico Propuesto

Los equipos de control de cruce deberán estar dotados de microprocesador y con elementos de conmutación de estado sólido, que cumplan las normas de seguridad con una configuración que permita el manejo independiente de los grupos semafóricos, con una capacidad de mínimo cuatro grupos de señales vehiculares y peatonales, de forma modular y expansible.

Teniendo en cuenta que la coordinación es un aspecto importante en el manejo de los corredores, los equipos de control de cruce deben disponer de reloj en tiempo real y se debe poder programar el automático de semana en su memoria, de modo que si ocurre algún daño en la central o en la comunicación estos mantengan la coordinación y el cambio de planes de señales operando en local. El sistema deberá disponer de estaciones de conteo constituidas por detectores con sensores de bucle electromagnético, ubicados en los carriles a ser monitoreados, que registran el volumen y la ocupación vial por puesto de medida, en intervalos de un minuto.

Teniendo en cuenta que el sistema de semaforización debe garantizar ante todo la seguridad al usuario (conductor y peatón), su funcionamiento debe ser de forma ininterrumpida, lo que hace necesario prever la disponibilidad de un equipo de fuerza (UPS) conformado por un rectificador, un convertidor y un banco de baterías que aseguran el suministro de energía continuo para las computadoras y periféricos de la sala de Control de Tráfico.

En la sala de Control se deberá disponer de un tablero con el mapa de la ciudad, con la representación de la red vial principal de Ibagué, que permita la visualización inmediata del estado de funcionamiento de los equipos de control local representados por leds.

El centro de Control estará conformado por una computadora de tráfico, dotada del *hardware* y *software* necesario para controlar la operación de los equipos de control local que regulan cada intersección semaforizada, a través de las interfaces de comunicación y de la red de interconexión diseñada y dispuesta para tal fin. En las centrales modernas se cuenta además con una estación de trabajo enlazada con la computadora de tráfico en red, que permita entre otras funciones el control, operación y administración del sistema.

IX. COSTOS DEL SISTEMA

Se pretende presentar la definición de los costos para la construcción, expansión, mantenimiento y operación de la red "resultado". Los costos son estimados en valores actuales representados en dólares americanos (US\$) sin incluir el impuesto al valor agregado (IVA) y corresponden a la implementación del sistema conformado por todos los elementos electromecánicos descritos anteriormente, así como los costos mínimos de mantenimiento y operación del sistema requeridos para una operación adecuada del sistema. Como parte complementaria se adjuntan los costos necesarios para la

demarcación y señalización reglamentaria complementaria de cada intersección, siendo este aspecto importante para un ordenamiento de los vehículos y peatones en los accesos así como una adecuada utilización de los carriles, lo que repercute en la capacidad de la intersección.



Figura 11. Control Centralizado

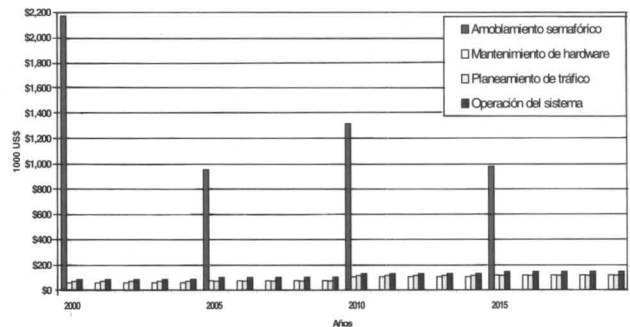


Figura 12. Inversión Total a realizar

Agrupando los costos en períodos de 5 años se deducen los costos del proyecto y se estima la recuperación de la inversión del concesionario en función del posible parque automotor. La administración local deberá estudiar la viabilidad de diferentes fuentes para la financiación del proyecto. La siguiente etapa del presente estudio, el Plan Piloto deberá estudiar la viabilidad de la concesión y examinar las fuentes de recursos para su financiación.

Cuadro 2. Costos Estimados del Sistema

COSTOS PARA CONCESIÓN				
Período de concesión	Costos totales (1000 US\$)	Costos por año (1000 US\$)	Total vehículos	Ingresos de concesión por vehículo (US\$)
5 años (2000 - 2004)	\$3.266	\$653	23.940	\$27.82
10 años (2000 - 2009)	\$5.452	\$545	29.004	\$20.96
15 años (2000 - 2014)	\$8.508	\$567	34.529	\$19.71
20 años (2000 - 2019)	\$11.364	\$568	40.053	\$18.02

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo del estudio ha permitido a la ciudad, disponer de una base de datos sobre las condiciones actuales de operación, de las intersecciones viales más importantes, en particular sobre las que hoy en día se encuentran semaforizadas. A partir de la base de datos disponible, se han evaluado tanto a nivel aislado cada una de las intersecciones, como a nivel de red, a partir de lo cual se han establecido, por una parte las adecuaciones requeridas sobre la red principal y las intersecciones y por otra los parámetros de operación para el sistema semaforizado más adecuado para la ciudad, de acuerdo con las condiciones actuales de la demanda. De manera consecuente con el sistema propuesto, se han establecido las necesidades de un sistema centralizado que opere la Red Semaforizada de la ciudad.

A partir de estimativos de crecimiento de los flujos vehiculares, se han determinado las necesidades futuras de ampliación de la Red Semaforizada de la ciudad, de acuerdo con la evolución esperada de la demanda. Se han cuantificado los costos del sistema propuesto, tanto a nivel de las inversiones requeridas para la implementación del sistema propuesto inicial, como para efectos de planeamiento y mantenimiento del mismo, así como para las ampliaciones futuras.

Es importante tener en consideración que las recomendaciones realizadas para la puesta en servicio de intersecciones semaforizadas actuales y las de prioridad recomendadas a semaforizar en un futuro bajo el nuevo Sistema Semaforico, se hacen teniendo en consideración los

ordenamientos viales existentes en la actualidad; por tanto cualquier medida adoptada sobre el tema puede cambiar las prioridades en la programación propuesta. Por lo anteriormente relacionado la situación optimizada corresponde a la evaluación del sistema visto desde un manejo centralizado y como tal coordinado en Red, previa adecuación y optimización de cada una de las intersecciones individuales que entran a formar parte del sistema.

Como aspecto concluyente es de anotar que los parámetros operativos actuales, con altas demoras y un completo irrespeto a las señales de tránsito como resultado de la inadecuada operación del sistema actual, podrán ser optimizados y llevados a los niveles de servicio de mejores condiciones de operación según los resultados arrojados por la modelación en red, con la implementación del sistema semaforico propuesto en las etapas indicadas.

El Programa de Investigación en Transito y Transporte (PIT) de la Facultad de Ingeniería busca con este tipo de proyectos poder colaborar de forma activa en el desarrollo del sector de transporte, para el planteamiento de soluciones en el caso de ciudades intermedias.

Este proyecto permitió que la Facultad de Ingeniería pudiera participar en la segunda parte del estudio, que comprende el Plan Piloto de Transito y Transporte de la Ciudad de Ibagué desarrollado durante el año 2000. Es de nuestro interés que este Plan Piloto pueda ser replicado en otras ciudades intermedias, tales como Valledupar, Manizales, Villavicencio, Cartagena, Cúcuta y Neiva.