

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERSECCIONES
SEMAFORIZADAS
EN CARRETERAS DE DOBLE SENTIDO Y SU RELACION CON LA
OCURRENCIA DE ACCIDENTES**

**CAPACITY DETERMINATION OF INTERSECTIONS WITH
TRAFFIC LIGHTS IN TWO WAY ROADS
AND ITS RELATIONSHIP WITH ACCIDENTS**

Autores: Ing. Mario Enrique Soilán Giménez, Prof. Guillermo Thenoux, PhD

Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”

Tte. Cataluppi y G. Molinas, Asunción, Paraguay

Teléfono: 595 21 334650

Fax: 595 21 311820

e-mail: marioenri7@gmail.com

e-mail: gthenoux@ing.puc.cl

RESUMEN

Uno de los problemas que afronta nuestro país es la escasez de estudios de investigación en lo concerniente a la Ingeniería de Tráfico. Esto nos coloca a los usuarios de las vías en una situación de constante preocupación debido al aumento del congestionamiento y flujo vehicular, la falta de conocimiento y cumplimiento de las señales de tránsito, sumado al incremento de los accidentes que están ocurriendo en nuestras intersecciones semaforizadas. Este trabajo se centra en la Determinación de la Capacidad de Intersecciones Semaforizadas y su relación con la ocurrencia de accidentes tomando como referencia los resultados obtenidos en el *Highway Capacity Manual*. De esta aplicación se obtienen el diagnóstico de la situación actual de las intersecciones, a partir de sus relaciones Volumen versus Capacidad, el nivel de servicio y los índices de accidentalidad de las intersecciones semaforizadas de la Ruta Acceso Sur, una de las vías más transitadas actualmente. Se comprueba la existencia de una relación significativa entre los accidentes que están ocurriendo y los flujos vehiculares de las intersecciones en los horarios de mayor flujo vehicular.

Palabras clave: Ingeniería de tráfico, Manual de Capacidad de Carreteras 2000, capacidad de las intersecciones semaforizadas, flujo vehicular, accidentalidad.

ABSTRACT

One of the problems that our country faces is the lack of research studies in Traffic Engineering. This problem places us, users of the ways, in a frequent situation of concern because of overcrowding and vehicle flow, lack of knowledge and fulfillment of traffic signs, added to the increase of accidents happening in our intersections with traffic lights. This research work focuses in Capacity Determination of Intersections with Traffic Lights, and its relationship with accidents, using the results of the Highway Capacity Manual as references. The diagnosis of current situation of intersections is obtained by this application, from their relations Volume versus Capacity, Service Level and the Accidentality Index of intersections with traffic lights of Acceso Sur Road, one of the busiest ways currently. It is proved the existence of a significant relationship between accidents and vehicle flow of the intersections, when vehicle flow is bigger.

Keywords: Traffic Engineering, Highway Capacity Manual 2000, Capacity of intersections with Traffic Lights, vehicle flow, accidentality.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento en profundidad de la Ingeniería de Tránsito es una de las tareas pendientes que tenemos que afrontar los profesionales Ingenieros, debido a la gran importancia de poder mitigar los múltiples problemas que se están dando en nuestras rutas y que con el tiempo se acrecentarán.

El problema es complejo debido a la gran cantidad de datos que son necesarios cotejar para realizar un estudio específico en Ingeniería de Tránsito. Una de las variables más importantes es la velocidad que se vuelve con frecuencia excesiva o inadecuada a las circunstancias de la vía, del vehículo o del conductor; los tipos de vehículos que transitan, características geométricas de la vía, crecimiento poblacional, entre otros. La falta de señalización de nuestras vías, la falta total de conocimiento de las leyes de tránsito de parte de nuestros conductores así como de los transeúntes, la escasez de estudios de tránsito y perfeccionamiento de nuestros sistemas de control de tránsito (semáforos), son parte del problema de los grandes congestionamientos en gran parte del día en las principales arterias de nuestras ciudades.

Es por ello que surgió la idea de analizar y estudiar una de las rutas de mayor flujo vehicular como ser la Ruta Acceso Sur, el tramo que cruza la zona que limita las ciudades de Villa Elisa y Fernando de la Mora hasta su llegada a la ciudad de Ñemby.

1.1 Planteamiento del problema

En la Figura 1 se puede ver y analizar los siguientes problemas: congestionamientos, pérdida de tiempo y accidentes que se dan en la Ruta Acceso Sur.



Figura 1 – Congestionamiento carreteras multicarril en la Ruta Acceso Sur

La necesidad del estudio radicó en contar con datos de campo, analizados e interpretados sobre la Capacidad de Intersecciones SemafORIZADAS de un segmento correspondiente a la Ruta Acceso Sur en el tramo que limita a las ciudades de Fernando de la Mora y Villa Elisa desde 4 Mojoneros hasta la ciudad de Ñemby. Ya que en el mismo los congestionamientos, la falta de respeto de las señales de tránsito, el aumento indiscriminado del flujo vehicular y la ocurrencia de los accidentes de tránsito ha crecido peligrosamente, lo cual nos indican que se hace necesario un estudio más acabado sobre dichos problemas.

1.2 Objetivo General

Determinar la Capacidad de Intersecciones Semaforizadas de carreteras de doble sentido utilizando de referencia el Manual de Capacidad de Carreteras 2000 aplicables al tramo en estudio y su relación con la ocurrencia de accidentes.

1.3 Objetivos Específicos

- Determinar la relación entre la capacidad operativa de las intersecciones y los accidentes ocurridos.
- Obtener de la relación V/C (Volumen versus Capacidad).
- Calcular la existencia de congestionamientos en el tramo.
- Determinar los Niveles de servicio operando actualmente.
- Calcular los Índices de accidentalidad de las intersecciones.

1.4 Hipótesis de la Investigación

Es posible utilizando las herramientas del Manual de Capacidad de Carreteras 2000, Determinar la Capacidad de Intersecciones Semaforizadas de carreteras de doble sentido y su relación con la ocurrencia de accidentes, además de contar con el diagnóstico de la situación actual de la intersección, conocer sus relaciones de Volumen versus Capacidad, obtener el Nivel de Servicio el cual está operando y conocer sus índices de accidentalidad.

1.5 Alcance de la Investigación

La siguiente investigación abarcó el estudio del tramo de la Ruta Acceso Sur entre 4 Mojonos y la Ciudad de Ñemby, en donde se tomaron 3 intersecciones semaforizadas utilizando el criterio de movimientos permitidos, de tal manera a realizar los cálculos de capacidad, nivel de servicio e índices de accidentalidad. Dichas intersecciones fueron las siguientes:

- Intersección 1: Acceso Sur y Avda. Zavala Cue.
- Intersección 2: Acceso Sur y Avda. Avelino Martínez.
- Intersección 3: Acceso Sur y Avda. Bernardino Caballero (Ruta a San Lorenzo)

2. MARCO TEORICO

El análisis de las intersecciones controladas con semáforo, es uno de los lugares más complejos en la corriente del tránsito, ya que se deben considerar una amplia variedad de condiciones prevaecientes, que incluyen: la cantidad y la distribución de los movimientos del tránsito, su composición, las características geométricas y los detalles de la semaforización de la intersección.

A continuación se definen los conceptos más importantes que se estudiaron en esta investigación en lo concerniente al tránsito, a los ciclos semafóricos, a la capacidad y nivel de servicio y a los índices de accidentalidad calculados.

Intensidad o flujo (q): es el número de vehículos de atraviesan por una sección de calzada en un intervalo de tiempo (T), se mide en (veh/h).

Factor Hora Punta (FHP): es la relación existente el Volumen total horario y la intensidad máxima producida en un periodo de 15 min. dentro de la hora. Los valores de hora punta varían entre 0,75 y 0,95.

$$FHP = \frac{Volumen(total)_{horario}}{Intensidad(horapunta)_{max}} \quad \text{Ec. 01}$$

Ciclo del semáforo (T): es el tiempo total transcurrido entre la fase de verde y la fase Roja.

$$T_{(seg)} = V^t_{(seg)} + R_{(seg)} + A_{(seg)} \quad \text{Ec. 02}$$

Capacidad (C): se define como el máximo número de vehículos que pueden pasar por una sección dada de una vía durante un cierto periodo de tiempo generalmente de 1 hora y para unas condiciones determinadas del tráfico y del lugar, se mide en (veh/h).

$$C_{(veh/h)} = q_{(veh/h)} \cdot \frac{V^t_{(seg)}}{T_{(seg)}} \quad \text{Ec. 03}$$

Nivel de Servicio: es una medida cualitativa del funcionamiento de una vía en función de la intensidad que soporta.

Índice de accidentalidad con respecto a los vehículos que entran a la intersección: relación entre el número de accidentes anuales totales que ocurre en una intersección por cada 1.000.000 de vehículos mixtos que concurren en la misma.

$$I_{(p)} = \frac{N^{\circ} \text{accidentes año} \times 1000.000}{\sum v_i} \quad \text{Ec. 04}$$

Índice de severidad de la intersección con respecto a los vehículos que entran a la intersección: mide la gravedad de los accidentes que ocurren en la intersección por cada 1.000.000 de vehículos mixtos que concurren en la misma. Donde NAD_E es el numero de accidentes equivalentes a daños materiales.

$$I_{(s)} = \frac{NAD_E \times 1000.000}{V_T} \quad \text{Ec. 05}$$

Una vez calculados todos estos valores se procedió a obtener la relación que existe entre la capacidad operativa de las intersecciones y los accidentes que en ellas se están produciendo principalmente en hora punta, ya que ello es el objetivo fundamental de esta investigación.

3. MARCO METODOLÓGICO

En la figura de abajo se expresa el diagrama de procesos que fue implementado en la investigación.

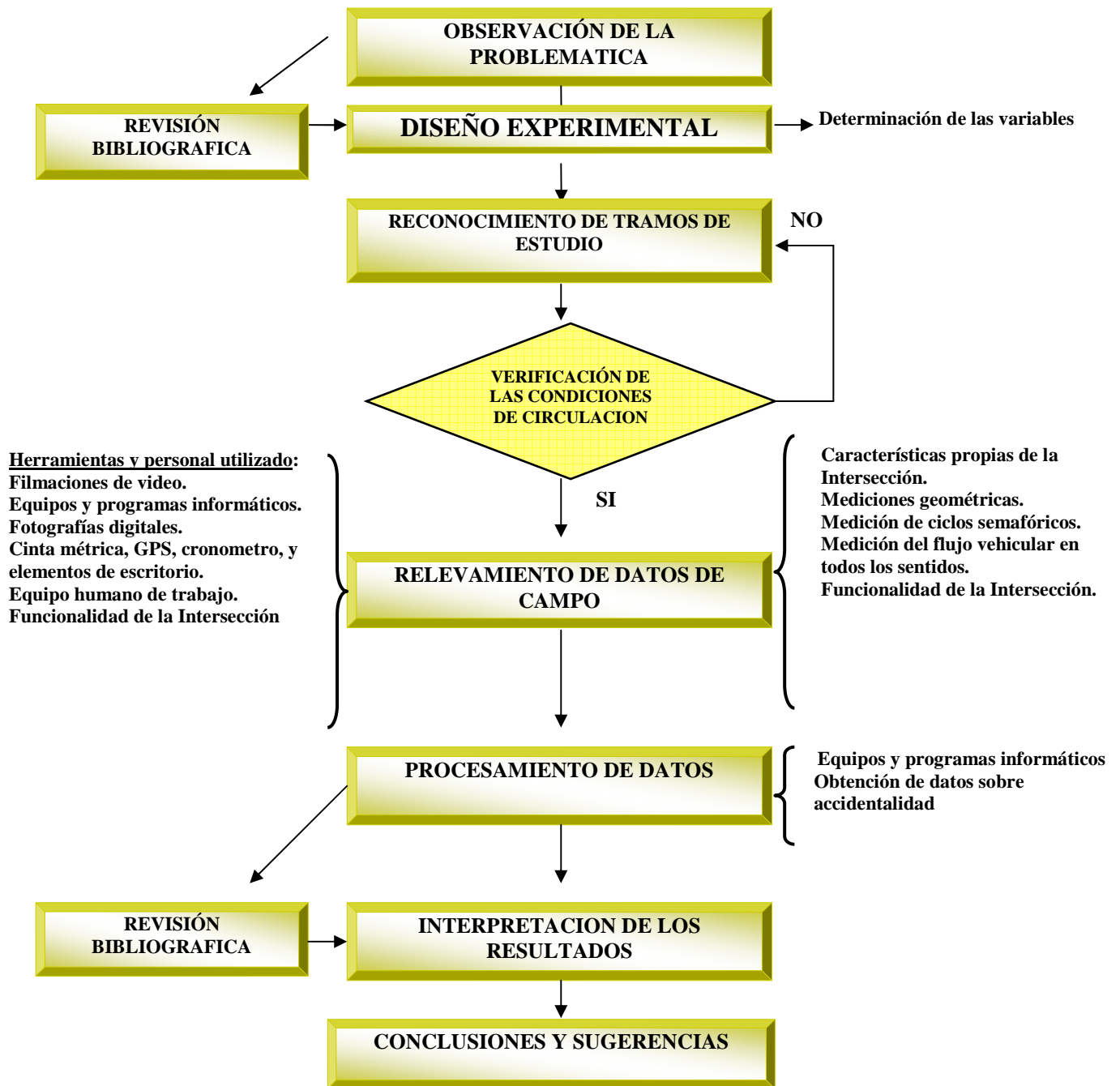




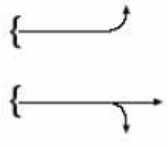
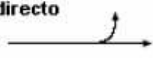

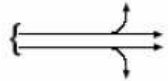

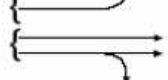
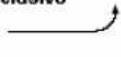


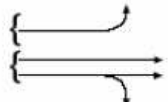




Figura 3.1: Diagrama de procesos utilizado en la investigación.

3.1 Obtención de las intersecciones a analizar

La misma se realizó teniendo en cuenta el criterio de giros permitidos que se observa en la Tabla 1.

Tabla 1 – Grupo de carriles típicos de análisis en la Ruta Acceso Sur

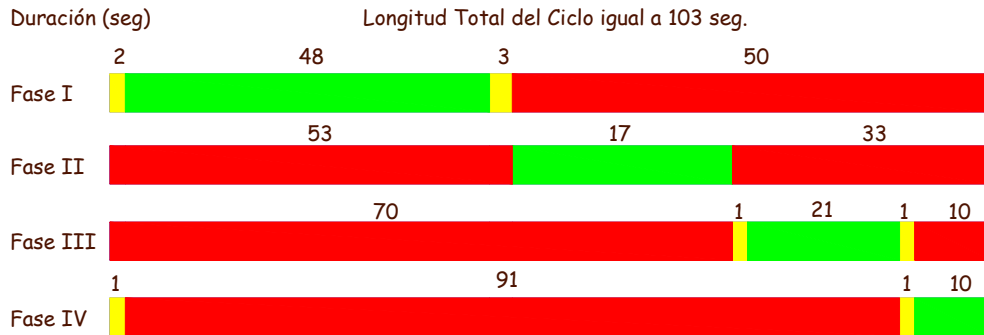
Número de carriles	Movientos por carril	Número de posibles grupo de carriles
1	LT + TH + RT  Izquierdo, directo y derecho	①  Acceso carril sencillo
2	EXC LT  Izquierdo exclusivo TH + RT  Directo y derecho	② 
2	Izquierdo y directo LT + TH  TH + RT  Directo y derecho	①  ②  ③ 
3	Izquierdo exclusivo EXC LT  TH  Directo TH + RT  Directo y derecho	②  ③  ④ 

3.2 Toma de datos de campo y obtención de los volúmenes de tránsito.

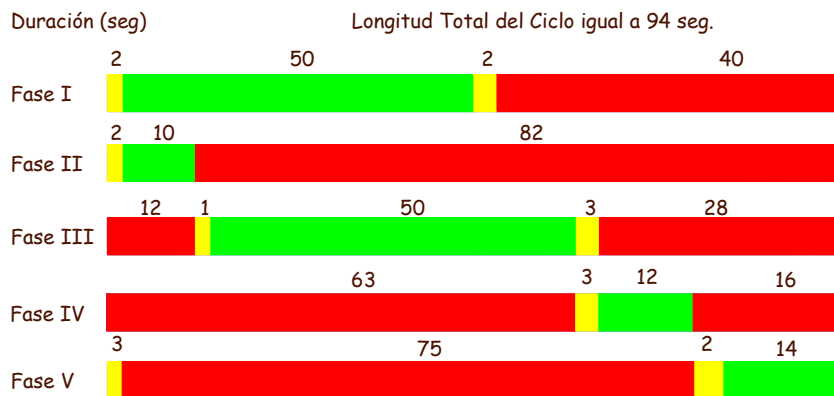
La misma se llevó a cabo en las tres intersecciones, realizando conteos de tránsito de 12hs desde las 07:00hs hasta las 19:00hs. Se tomaron además los datos referentes a las características geométricas de las intersecciones, los ciclos semafóricos, situación actual de las intersecciones y se calcularon los volúmenes de tránsito que se tienen actualmente.

Fases y longitudes de ciclos semafóricos obtenidos. Elaboración propia

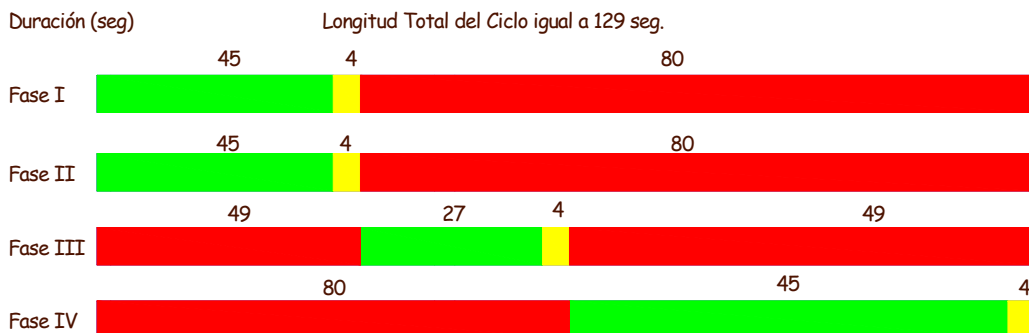
Acceso Sur e intersección con la Avda. Zavala Cue



Acceso Sur e intersección con la Avda. Avelino Martínez



Acceso Sur e intersección con la Avda. Bernardino Caballero



3.3 Análisis de los resultados del tránsito y de los índices de accidentalidad calculados.

Se calcularon la Capacidad, el Nivel de Servicio y los Índices de accidentalidad que se registraron en las mismas, se analizaron los valores de capacidad obtenidas principalmente en horas punta y se la relacionaron con los accidentes ocurridos en estos periodos.

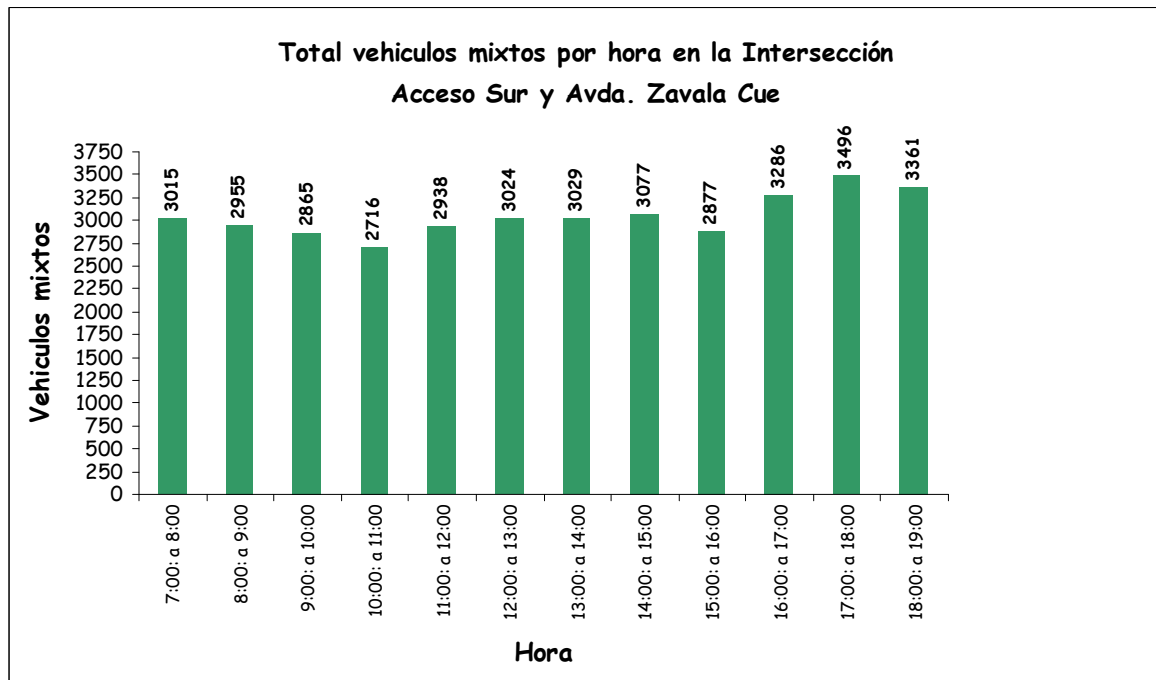


Figura 3.3.1: Total de vehículos mixtos por hora – 1era Intersección.

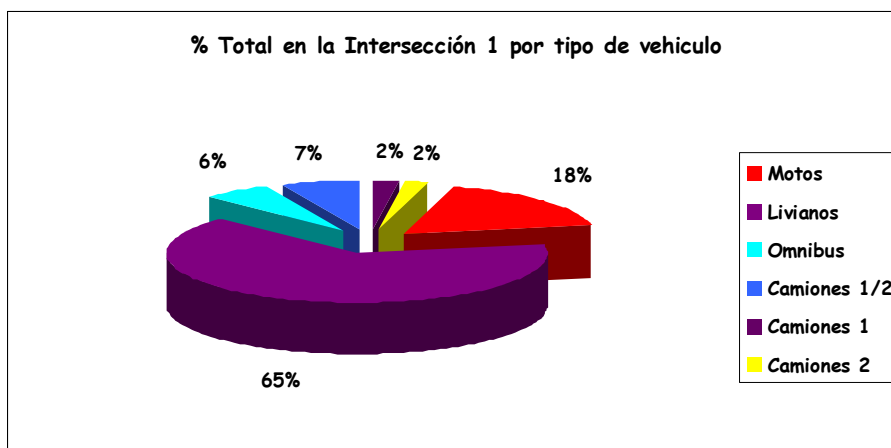


Figura 3.3.2: %Total por tipo de vehículos – 1era Intersección.

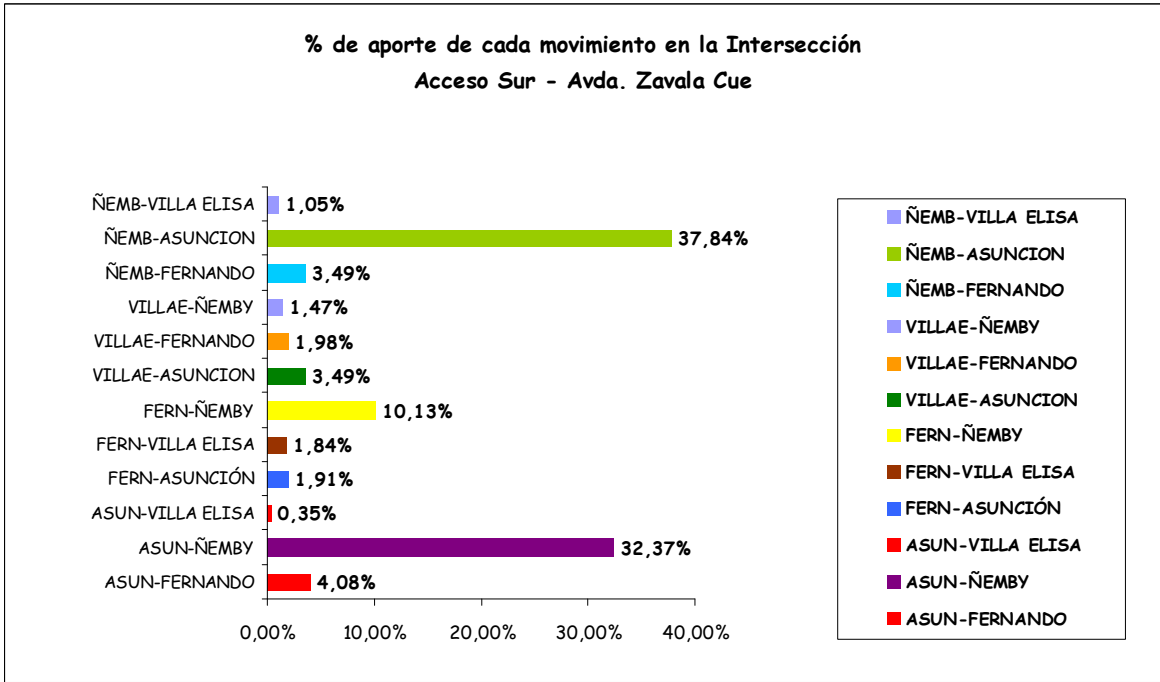


Figura 3.3.3: % de aporte de cada movimiento permitido en la 1era Intersección.

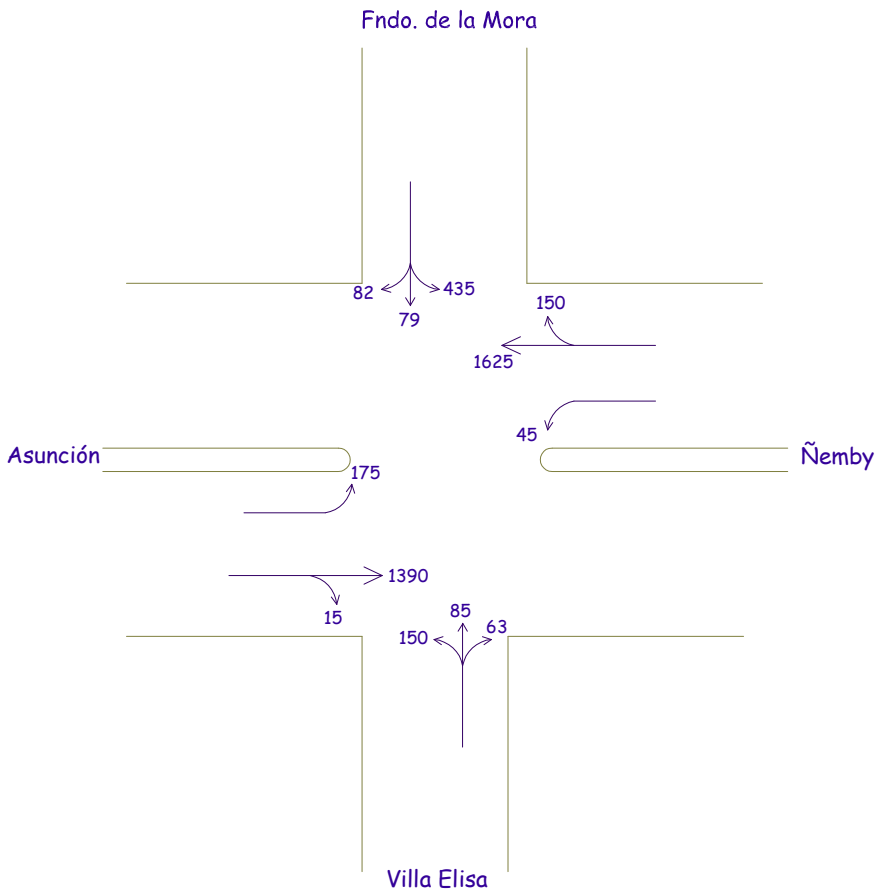


Figura 3.3.4: Volúmenes horarios de máxima demanda en la 1era Intersección.

En la Figura 3.3.5 se observa más claramente la evolución del tránsito en términos del número de vehículos mixtos en las 3 intersecciones, nótese el crecimiento a lo largo de los años y los valores estimados para el año 2011.

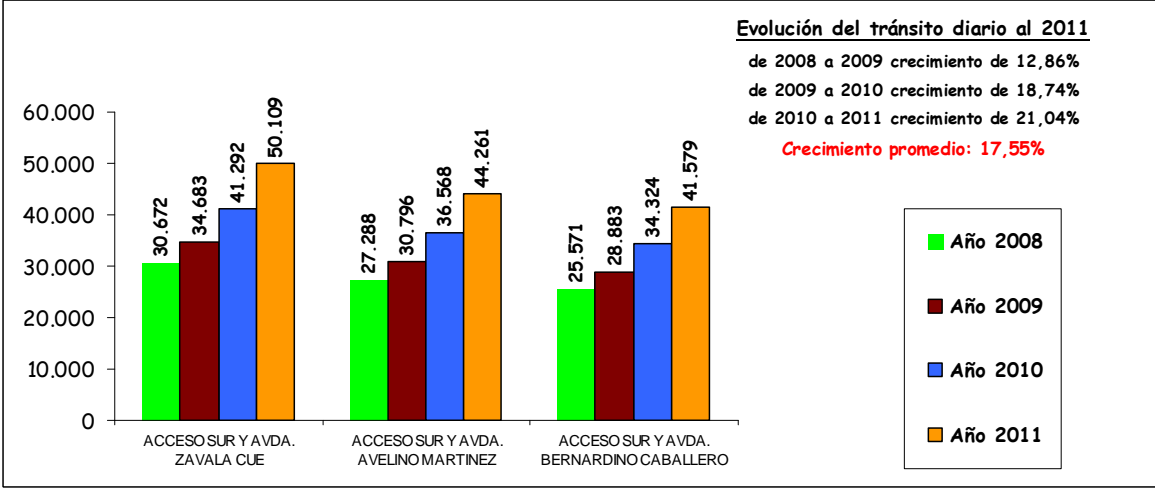


Figura 3.3.5: Evolución del tránsito en las 3 intersecciones. Periodo 2008 a 2011.

Seguidamente se calculó los índices de accidentalidad por intersección, en el tiempo determinado por la toma de datos correspondiente al año 2009, ya que la recogida de los datos se obtuvo en ese periodo de tiempo.

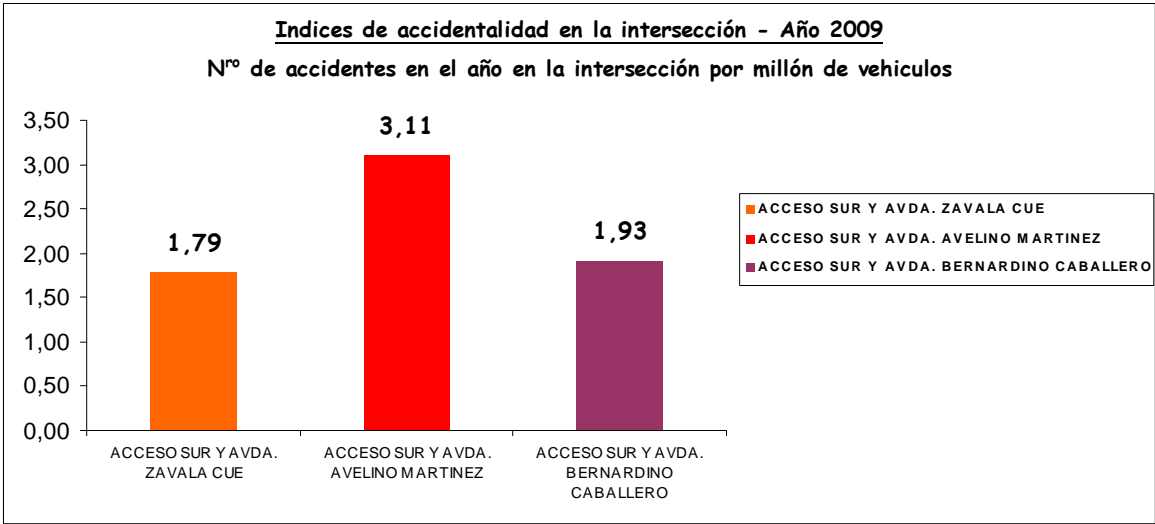


Figura 3.3.6: Índices de accidentalidad obtenidos para el Año 2009.

Otro punto sumamente interesante que pudo ser determinado es el representado por el Índice de Severidad de las intersecciones, que determina la gravedad de los accidentes en términos de daños materiales, heridos y de los fallecidos en función al número total de vehículos en la intersección en un año. La misma se observa en la Figura 3.3.7

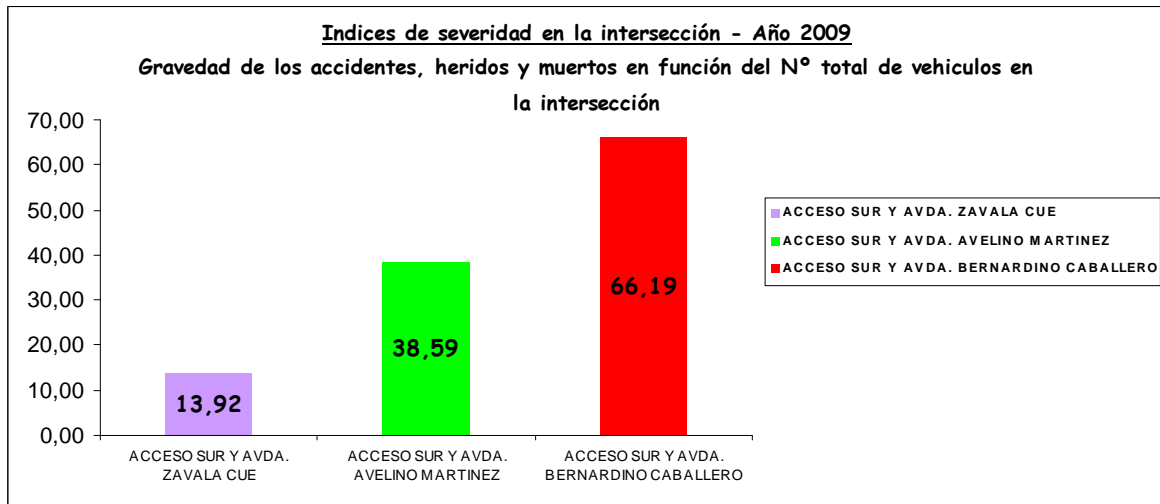


Figura 3.3.7: Índice de severidad por intersección.

En las siguientes Figuras 3.3.8 se podrá observar los flujos máximos horarios obtenidos en la intersección 1 en donde las columnas de color rojo resaltan el horario de mayor ocurrencia de accidentes.

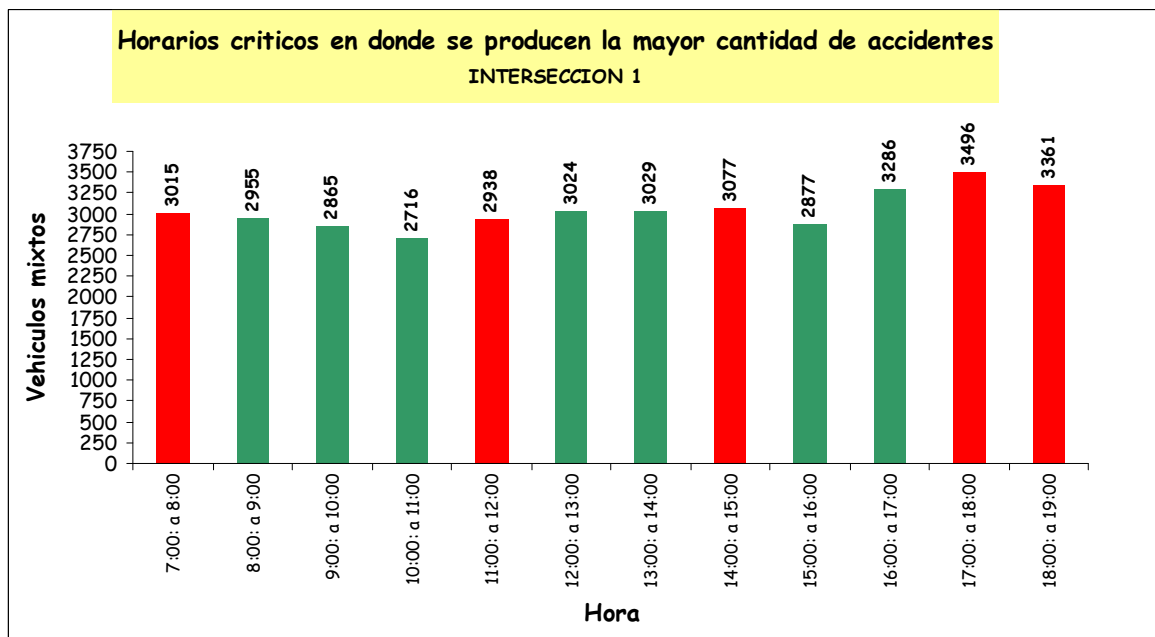


Figura 3.3.8: Horarios críticos de ocurrencia de accidentes en función al flujo existente en la 1era Intersección.

Se observa el comportamiento similar que existe entre las tres intersecciones en cuanto al horario de ocurrencia de accidentes, es por ello que se optó en obtener su demora total horaria de la intersección en el periodo de análisis realizado en esta investigación y que se observa en la Figura 3.3.9.

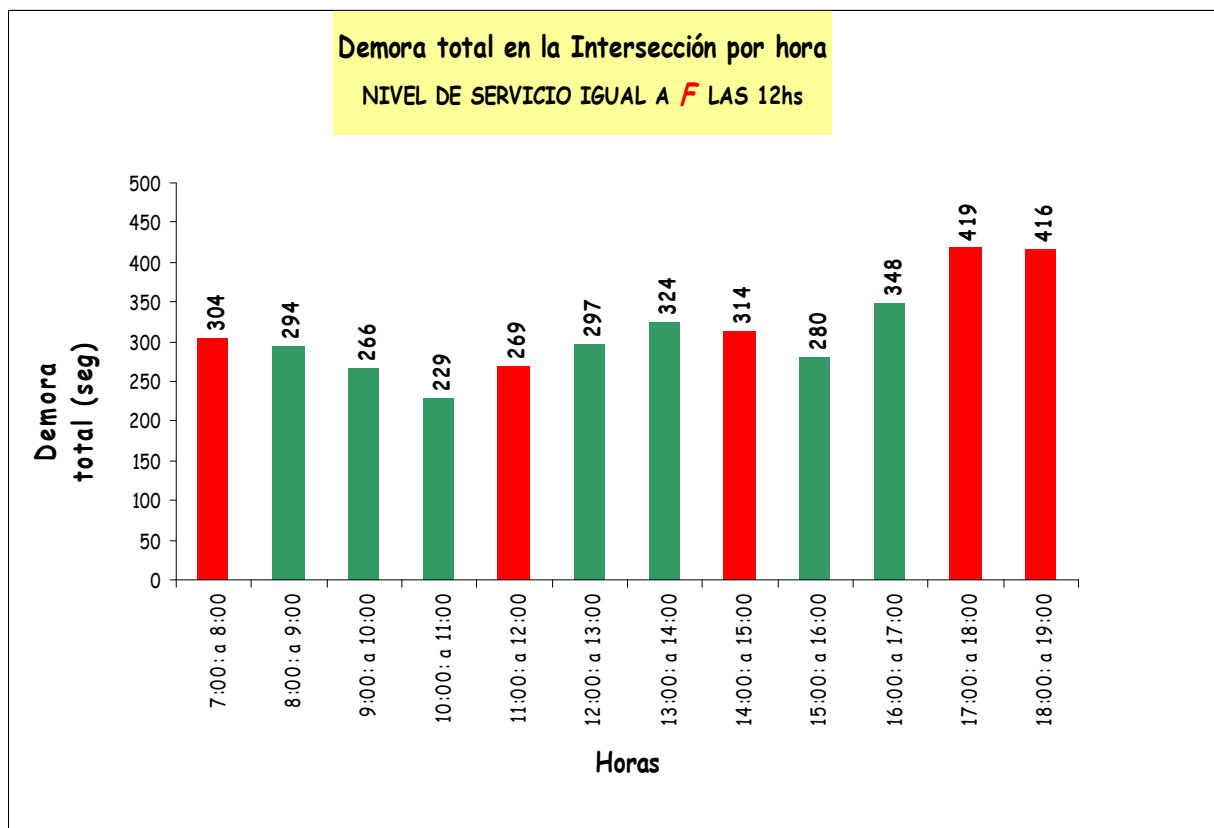


Figura 3.3.9: Demora total en la intersección por hora.

4. RESULTADOS

Los resultados más importantes que se obtuvieron fueron las siguientes:

- Con respecto al análisis de los datos sobre accidentes en las intersecciones se pudo notar una *relación significativa entre la capacidad en que esta operando la vía y los accidentes que ocurren en dichos intervalos*. Lo cual nos indica que ante un deficitario Nivel de Servicio y alto nivel de demanda vehicular la probabilidad de ocurrencia de accidentes se ve aumentada. La misma se observa en la Figura 4.1.

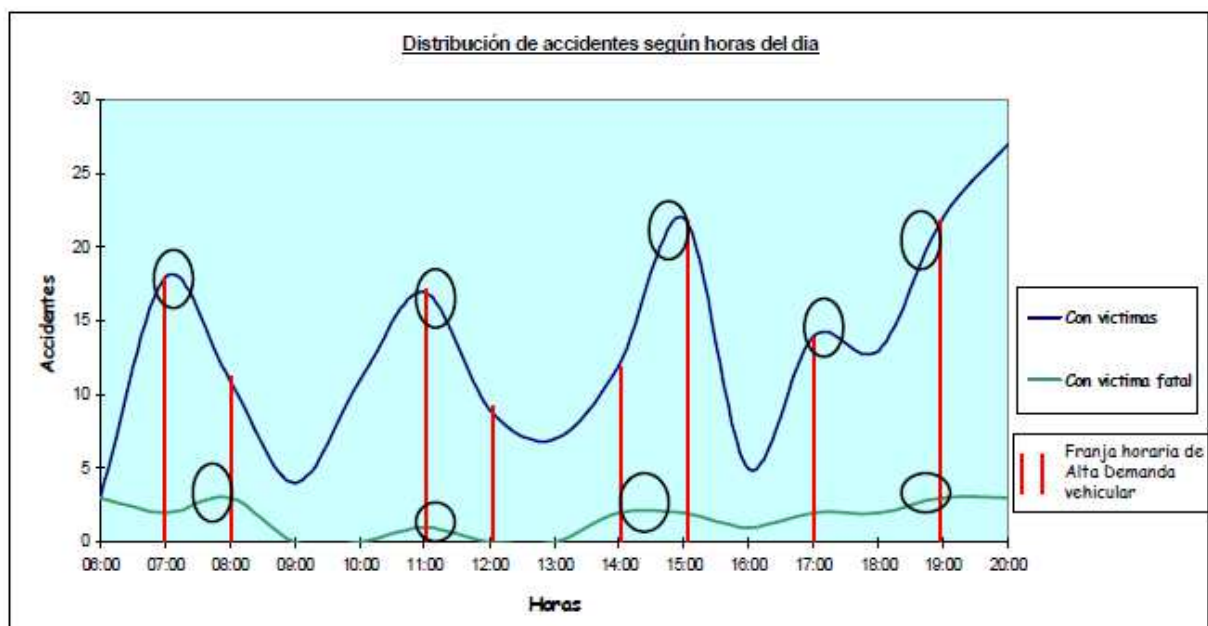


Figura 4.1– Relación entre, horario de ocurrencia de accidentes, tipos de accidentes ocurridos y los flujos vehiculares mixtos en esos horarios de ocurrencia. Indicación de sus valores máximos.

- Se encontró además una tendencia al **incremento** para los próximos años en cuanto al **índice de accidentalidad de las intersecciones, en el orden de 18% anual promedio** en la ocurrencia de accidentes en función al incremento de los vehículos mixtos.
- En cuanto al concepto de capacidad de la vía, se encontró que las tres intersecciones operan a una capacidad **colapsada** principalmente en los horarios de alto flujo vehicular.
- La demora total para las Intersecciones 1, 2 y 3 fueron aproximadamente de 9 minutos, 4 minutos y 6 minutos respectivamente, lo cual implica que el usuario en las tres intersecciones **se demora aproximadamente 19 minutos** para cruzarlas. El Nivel de Servicio de operación es “F” principalmente en horas punta.
- Se encontró una **tendencia al aumento del numero de vehículos mixtos** en el tramo en estudio para los siguientes años: periodo **2008-2009 (12,86%), 2009-2010 (18,74%) y 2010-2011 (21,04%)**.

5. CONCLUSIONES

Los índices de accidentalidad y severidad muestran una tendencia al aumento si siguen manteniendo las condiciones actuales. Existe además una relación significativa entre los accidentes ocurridos y la capacidad en la que operan actualmente las intersecciones analizadas.

Las intersecciones analizadas operan con capacidad colapsada y principalmente en los horarios de volumen de máxima demanda. Los valores de demora total en las 3 intersecciones alcanzan los 19 minutos aproximadamente, el Nivel de servicio de operación es de la letra **F**. Los ciclos semafóricos nos están optimizados con relación a los máximos flujos vehiculares. Se observó también el crecimiento del flujo vehicular, principal factor en el colapso de las intersecciones.

Que el crecimiento del flujo vehicular aumentará en el orden del 17,55% en los próximos años; el número de accidentes promedio en dichas intersecciones aumentara en un 18%; el índice de severidad también ira en aumento. El Nivel de Servicio dadas estas condiciones seguirá cayendo, llegando a niveles peligrosos de operación.

La situación de inseguridad se podrá mitigar trabajando a corto y mediano plazo directamente sobre los factores que están afectando la capacidad, o sea trabajando por la infraestructura existente de tal manera a disminuir la incidencia de estos factores en la funcionalidad de las intersecciones.

6. SUGERENCIAS

Las sugerencias técnicas resultantes de esta investigación son:

- Construcción de zonas exclusivas de giros a la izquierda sobre la Ruta Acceso Sur en ambos sentidos, a fin de disminuir los conflictos por giros a la izquierda.
- Construcción de puente peatonal principalmente en frente a los centros comerciales ubicados en cercanías de las intersecciones, con el fin de dotar de mayor seguridad a los peatones para el cruce de un lado a otro de la ruta.
- Construcción y mejoramiento de las aceras peatonales, a fin de aumentar la seguridad de los peatones en la intersección como así también el mejoramiento de las obras de drenaje existentes.
- Construcción de dársenas para parada de buses aproximadamente 150 metros antes y después de los cruces semafóricos, con el fin de disminuir los conflictos por paradas de buses en la intersección.
- Mejoramiento en la tecnología utilizada en los aparatos semafóricos, principalmente en cuanto a sus ciclos semafóricos.
- Rediseño geométrico de la intersección con la Avda. Avelino Martínez, ensanchamiento de su calzada, diseño de sus radios de giros necesarios y expropiación de terrenos circundantes a fin de poder proyectar un diseño adecuado cumpliendo con las especificaciones. Construcción de un carril exclusivo para giro a la derecha sin semáforo.
- Mejorar completamente la señalización vertical y la señalización horizontal en las intersecciones como ser, Señalización vertical informativa, preventiva y reglamentaria, demarcación de las líneas de borde de la calzada, sentido de giros y las líneas peatonales. Colocación de tachas reflectivas bidireccionales para mejorar la visibilidad de las señales por la noche.

7. LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

- Estudio del cruce entre la Ruta Acceso Sur y la Avda. Avelino Martínez en cuanto a la solución del diseño de la intersección, de tal manera a disminuir el conflicto existente y su accidentalidad observada.
- Estudio sobre las alternativas de vías necesarias para descongestionar el tráfico en la Ruta Acceso Sur principalmente en la zona del cruce con la Avda. Avelino Martínez y con la Avda. Zavala Cue, principalmente de vehículos pesados.
- Factibilidad de aplicar la tecnología de Sistemas de Transportes Inteligentes en las intersecciones en estudio, principalmente en lo que se refiere a la semaforización y a las señales a lo largo del tramo desde el inicio en la zona de 4 Mojones hasta la Ciudad de Ypane.
- Determinación de los costos inmediatos y a futuro de los daños que ocasionan los accidentes de tránsito en los que incurre e incurrirá el Estado para solventarlos, de modo de a tomar las medidas preventivas y realizar las inversiones pertinentes.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARAZ M., ALBERTO M., LEZCANO R., SILVIA S., y OVIEDO P., CARLOS A. (2009) **Inspección de Seguridad Vial de Acceso Sur entre la Avda. Defensores del Chaco y cruce a Guarambaré.** Tesis de Grado, FIUNA. San Lorenzo, Paraguay.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C., SECRETARIA TRANSITO Y TRANSPORTE, C&M. **Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte, Cáp. 3 Capacidad y Niveles de Servicio Flujo Discontinuo,** Bogotá.

CAL Y MAYOR, R. y CARDENAS, J. (2007) Ingeniería de Tránsito. **Fundamentos y Aplicaciones.** 8va Edición. Editorial Alfa omega. Mexico.

GOMEZ DE MERODIO, J.H. (2006) Ingeniería de Tráfico, **Programa Master en Ingeniería Civil, Universidad de Piura.** Campus Lima.

MONTOYA, G. (2005) Ingeniería de Tránsito. **Proyecto Vial, Facultad de Ingeniería Civil,** Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

OLIVERA M, JOSE H., y VEGA, CLARA P. (2009) **Propuesta de Solución a las Vías de Interconexión entre Mcal. López y España del Barrio Villa Morra.** Tesis de Grado, FIUNA. San Lorenzo, Paraguay.

RADELAT E. GUIDO; CERQUERA E., FLOR ÁNGELA Y LÓPEZ MARÍA CONSUELO. **Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles. 2da versión.** Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, Universidad del Cauca, Santa Fé de Bogotá, 1996.

ROMANA GARCÍA, M. y LÓPEZ GÓMEZ, M.G., (1996) Estimación de vehículos demorados en función de variables de la circulación en carreteras convencionales de doble sentido. **Revista de Obras Públicas,** N° 3359, 85-93. Madrid.

SECRETARÍA DEL AMBIENTE CON LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENCUESTAS, ESTADÍSTICAS Y CENSOS. (2007). **Cáp. 2.6.3. Parque automotor registrado por clase de vehículos según departamentos.** Asunción

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. (1986) Subsecretaria Infraestructura. **Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en calles y carreteras.** 5ta Edición. Dirección General de Servicios Técnicos. México.

TELVENT., (2007) Los Semáforos en el Control de Tráfico Urbano. **Jornada Técnico-Comercial de Tráfico Vial y Marítimo y Seminario de Seguridad Vial,** 22-26 Octubre 2007, Antigua Guatemala.

THENOUX Z., G. (2008) **Diseño Vial, Capítulo 3 – Comportamiento del Tránsito,** Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago Chile.

THENOUX Z., G. (2008) **Diseño Vial, Capítulo 6 – Intersecciones,** Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago Chile.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, (2000) **Highway Capacity Manual 2000, Chapter 20 Two-Lane Highways,** Washington D.C.