



**Universidad Nacional Autónoma de México**

---

---



**Facultad de Ingeniería**

**División de Ingenierías Civil y Geomática**

**“Estudios de Ingeniería de Tránsito Necesarios  
para el Proyecto de Ampliación de la Carretera  
La Cartonera – Yecapixtla en el estado de  
Morelos”**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

**Aíd Martínez Hernández**

DIRECTOR DE TESIS:

**M.I. Francisco Javier Granados Villafuerte**

**México, D.F.**

**Diciembre de 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Señor

**AID MARTINEZ HERNANDEZ**

Presente

**DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/158/2013**

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. FRANCISCO JAVIER GRANADOS VILLAFUERTE que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL

**"ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO NECESARIOS PARA EL PROYECTO DE AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA LA CARTONERA – YECAPIXTLA EN EL ESTADO DE MORELOS"**

**INTRODUCCIÓN**

- I. ANTECEDENTES**
- II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**
- III. MARCO TEÓRICO**
- IV. ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO EN LA C. LA CARTONERA - YECAPIXTLA**
- V. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS**
- VI. CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 28 de Octubre de 2013

**EL PRESIDENTE DEL COMITÉ**

**M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ**

JLTS/MTM

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, por darme la fuerza, su apoyo y la oportunidad de llegar a esta etapa tan importante. Por haberme cuidado y guiado hacia una vida sana.

En especial quiero agradecer a mi familia, a mis padres; Ariadna y Delfino por haberme dado la vida, por los valores que me inculcaron y por la educación que me brindaron, por darme las oportunidades para desarrollarme y por su apoyo incondicional en todos los proyectos que emprendía. A mi mamá por ser el motor de la familia. A mis hermanos; Aidé y Edú por su cariño y soporte, por hacerme feliz y estar conmigo siempre.

A mis abuelos; a Pachis por sus innumerables consejos, por inspirarme la confianza en el estudio y por ser un ejemplo de vida, a Yoya por estar siempre pendiente de mí y de mis hermanos, por habernos cuidado cuando éramos pequeños y por apapacharme. A Cristina, a Regino por dedicarme parte de su tiempo mientras trabajaba, por consentirme y por llevarme al campo los fines de semana.

A la Familia Ramos Campos por su apoyo total, por abrirme las puertas de su casa y por brindarme la oportunidad de comenzar mis estudios en la UNAM. Maestro Oscar, Maestra Toña, gracias.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por desarrollarme no sólo como estudiante e ingeniero sino también como persona. A mis profesores, que me dieron en el aula las herramientas para comenzar con el aprendizaje de la ingeniería, por ser maestros dentro y fuera del salón.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos, los de San Luis y los del D.F., y a todos mis compañeros estudiantes que fueron parte de este proceso a lo largo de mi vida.



## Contenido

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
OBJETIVO.....	12
CONTENIDO DE LA TESIS.....	12
LOS ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO EN LA PLANEACIÓN DE CARRETERAS.....	13
<i>Planeación de la Obra Pública.....</i>	<i>13</i>
<i>Licitación Pública Nacional.....</i>	<i>15</i>
<b>1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>19</b>
1.1 CIUDAD DE CUAUTLA, MOR.....	20
1.2 MUNICIPIO DE YECAPIXTLA, MOR.....	22
1.3 ESTADO ACTUAL DE LA RED VIAL EN EL ESTADO DE MORELOS.....	22
1.4 CARRETERA LA CARTONERA – YECAPIXTLA.....	23
1.4.1 <i>Ubicación.....</i>	<i>23</i>
1.4.2 <i>Condiciones Actuales.....</i>	<i>24</i>
1.4.3 <i>Justificación de su modernización.....</i>	<i>24</i>
<b>2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>27</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	28
2.2 SITUACIÓN GENERAL.....	28
2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS EN CONFLICTO.....	28
2.3.1 <i>Intersección Libramiento de Cuautla – Carretera La Cartonera- Yecapixtla.....</i>	<i>29</i>
2.3.2 <i>Zona Conurbada de Cuautla, del Km 0+000 al Km 0+300.....</i>	<i>29</i>
2.3.3 <i>Zona Industrial e IMSS, del Km 7+130 al Km 7+400.....</i>	<i>30</i>
2.3.4 <i>Intersección La Cartonera- Yecapixtla- Libramiento de Yecapixtla.....</i>	<i>30</i>
<b>3 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>33</b>
3.1 PROYECTO CARRETERO.....	34
3.1.1 <i>Tipos de Proyectos.....</i>	<i>34</i>
3.1.2 <i>Fases Operativas.....</i>	<i>34</i>
3.1.3 <i>Proyecto Geométrico.....</i>	<i>35</i>
3.2 INGENIERÍA DE TRÁNSITO.....	35
3.2.1 <i>Alcances de la Ingeniería de Tránsito.....</i>	<i>35</i>
3.2.2 <i>Elementos Básicos del Tránsito.....</i>	<i>37</i>
3.3 VOLUMEN DE TRÁNSITO.....	47
3.3.1 <i>Tasa de Flujo.....</i>	<i>47</i>
3.3.2 <i>Demanda Vehicular.....</i>	<i>48</i>
3.3.3 <i>Capacidad.....</i>	<i>48</i>
3.3.4 <i>Volúmenes de Tránsito Absolutos o Totales.....</i>	<i>48</i>
3.3.5 <i>Volúmenes de Tránsito Promedio Diarios.....</i>	<i>48</i>
3.3.6 <i>Volúmenes de Tránsito Horarios.....</i>	<i>49</i>
3.3.7 <i>Uso de los Volúmenes de Tránsito.....</i>	<i>49</i>
3.3.8 <i>Características de los Volúmenes de Tránsito.....</i>	<i>50</i>
3.4 VELOCIDAD.....	51
3.4.1 <i>Velocidad Puntual.....</i>	<i>51</i>
3.4.2 <i>Velocidad de Recorrido.....</i>	<i>52</i>
3.4.3 <i>Velocidad de Proyecto.....</i>	<i>52</i>
3.5 INVENTARIO VIAL.....	52
3.5.1 <i>Inventario de infraestructura vial.....</i>	<i>53</i>
3.5.2 <i>Inventario de señalización y dispositivos de control.....</i>	<i>53</i>

3.6	CAPACIDAD VIAL Y NIVEL DE SERVICIO.....	54
3.6.1	Concepto de capacidad vial.....	54
3.6.2	Concepto de nivel de servicio.....	54
3.6.3	Estudios de capacidad y nivel de servicio .....	54
3.6.4	Carreteras de dos carriles.....	55
3.6.5	Análisis, Capacidad y Nivel de Servicio para Carreteras de Dos Carriles (HCM 2000) .....	56
3.6.6	Metodología para el Análisis de Carreteras de Dos Carriles (HCM 2000).....	57
<b>4</b>	<b>ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO EN LA C. LA CARTONERA – YECAPIXTLA .....</b>	<b>59</b>
4.1	INVENTARIO VIAL.....	60
4.1.1	Introducción.....	60
4.1.2	Objetivo del Estudio .....	60
4.1.3	Libramiento de Cuautla .....	60
4.1.4	Libramiento Cuautla - Yecapixtla.....	61
4.1.5	Carretera La Cartonera - Yecapixtla.....	63
4.1.6	Intersección 1. Libramiento Cuautla – C. La Cartonera- Yecapixtla.....	64
4.1.7	Intersección 2. C. La Cartonera - Yecapixtla – Carretera a Huexca .....	65
4.1.8	Intersección 3. C “La Cartonera” – Libramiento Yecapixtla.....	66
4.2	VOLÚMENES DE TRÁNSITO .....	69
4.2.1	Introducción.....	69
4.2.2	Objetivo del estudio .....	69
4.2.3	Metodología .....	69
4.2.4	Recolección de Datos Viales.....	69
4.2.5	Aforos Vehiculares.....	72
4.2.6	Determinación del Volumen Horario de Máxima Demanda.....	74
4.3	VOLÚMENES DE TRÁNSITO DIRECCIONALES .....	76
4.3.1	Introducción.....	76
4.3.2	Objetivo del Estudio .....	76
4.3.3	Antecedentes.....	76
4.3.4	Intersección 1. Libramiento Cuautla – C. “La Cartonera” .....	77
4.3.5	Intersección 2. C. “La Cartonera” – C. a Huexca.....	80
4.3.6	Intersección 3. C “La Cartonera” – Libramiento Yecapixtla.....	83
4.3.7	Variación del Volumen Horario en la Hora de Máxima Demanda .....	90
4.3.8	Determinación del VHMD dentro del Sistema.....	92
4.3.9	Características de los Movimientos Dentro del Sistema en la HMD.....	92
4.3.10	Composición del Volumen de Tránsito Dentro del Sistema .....	95
4.4	ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN HORARIO DE MÁXIMA DEMANDA.....	97
4.4.1	Introducción.....	97
4.4.2	Objetivo .....	97
4.4.3	Comparación de Resultados Obtenidos en los Aforos Realizados .....	97
4.4.4	Determinación del VHMD de “La Cartonera” .....	99
4.5	ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL (TDPA).....	100
4.5.1	Introducción.....	100
4.5.2	Objetivo .....	100
4.5.3	Relación Entre el Volumen Horario de Proyecto y el Tránsito Diario Promedio Anual.....	100
4.5.4	Obtención del TDPA .....	102
4.5.5	Proyecciones del Volumen de Tránsito .....	102
4.6	VELOCIDAD PUNTUAL .....	104
4.6.1	Introducción.....	104
4.6.2	Objetivo .....	104

4.6.3	<i>Metodología</i> .....	104
4.6.4	<i>Tamaño Mínimo de la Muestra</i> .....	104
4.6.5	<i>Uso de los percentiles</i> .....	105
4.6.6	<i>Amplitud, Intervalos de clase y ancho del intervalo</i> .....	105
4.6.7	<i>Análisis de Información</i> .....	106
4.7	<b>NIVEL DE SERVICIO ACTUAL</b> .....	114
4.7.1	<i>Introducción</i> .....	114
4.7.2	<i>Objetivo del Estudio</i> .....	114
4.7.3	<i>Metodología</i> .....	114
4.7.4	<i>Determinación del Nivel de Servicio Actual de la Carretera “La Cartonera”</i> .....	114
4.7.5	<i>Estimación del Nivel de Servicio en el Horizonte de Proyecto, Año 2024</i> .....	118
4.7.6	<i>Integración de Resultados</i> .....	119
<b>5</b>	<b>PROPUESTAS DE SOLUCIÓN EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS</b> .....	<b>121</b>
5.1	<b>PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DE LA CARTONERA – YECAPIXTLA</b> .....	122
5.1.1	<i>Situación general actual</i> .....	122
5.1.2	<i>Selección del tipo de carretera con fines de proyecto</i> .....	122
5.1.3	<i>Estimación del Nivel de Servicio de “La Cartonera” de Acuerdo al Tipo de Carretera Seleccionado</i> .....	124
5.1.4	<i>Elección de la Velocidad de Proyecto con base en el Nivel de Servicio</i> .....	127
5.2	<b>PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA INTERSECCIÓN 1. LA CARTONERA – YECAPIXTLA Y LIBRAMIENTO DE CUAUTLA</b> .....	130
5.2.1	<i>Problemática Actual</i> .....	130
5.2.2	<i>Solución Mediante Carriles de Aceleración y Desaceleración</i> .....	130
5.3	<b>PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA INTERSECCIÓN 3. LA CARTONERA – YECAPIXTLA Y LIBRAMIENTO CUAUTLA – YECAPIXTLA</b> .....	132
5.3.1	<i>Problemática Actual</i> .....	132
5.3.2	<i>Solución Mediante Gasas de Entrada y Salida para La Cartonera – Yecapixtla</i> .....	133
5.4	<b>PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA EL ACCESO A LA ZONA INDUSTRIAL</b> .....	134
5.4.1	<i>Problemática Actual y Futura</i> .....	134
5.4.2	<i>Solución Mediante Ampliación a Tres Carriles</i> .....	134
5.4.3	<i>Reubicación del Transporte Público</i> .....	135
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>137</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>141</b>



# INTRODUCCIÓN



El desarrollo cultural, económico e industrial de las naciones ha demostrado que una de las formas de crecimiento interno es la creación y desarrollo de sus vías de comunicación, principalmente las terrestres. Si en México no se tiene la infraestructura necesaria en igualdad de condiciones a lo largo de todo su territorio, no se pueden proporcionar los mismos escenarios para que los mexicanos crezcan en todos los niveles, especialmente el nivel económico. Por ello, la construcción de nuevas carreteras y la modernización de los caminos existentes son elementos necesarios para potencializar el desarrollo regional y nacional del país.

Actualmente, muchas carreteras requieren de ampliaciones o mejoramiento de sus especificaciones, sobre todo para superar la saturación que registran, abatir rezagos que debilitan la competitividad nacional y mejorar la seguridad de los usuarios. En algunos casos es necesaria la construcción de nuevas carreteras con trazos apropiados para atender las condiciones de circulación del tránsito actual. Con ello, se busca incrementar la disponibilidad de vías modernas y de altas especificaciones, que permitan disminuir los costos de transporte de carga y pasaje, e impulsar la producción, el comercio y el desarrollo de las actividades recreativas.

Sin embargo, no se trata de construir por construir, tenemos que planear una carretera de acuerdo a su operación de tránsito, a sus redes adyacentes, sus terminales, a los tipos de vehículos que la transitan y su relación con otros modos de transporte. Quien se encarga de analizar todos los componentes mencionados anteriormente, y establecer un proyecto geométrico óptimo para cada tipo de camino o necesidad, es la Ingeniería de Tránsito.

Es indispensable, en la Ingeniería de Tránsito, realizar investigaciones y analizar los diferentes métodos para planificar la vialidad en un país o una región, para poder adaptar el desarrollo de las calles y carreteras a las necesidades del tránsito. Parte de esta investigación está dedicada exclusivamente a la planificación de la vialidad, que permite conocer los problemas que se presentan al analizar el crecimiento demográfico, las tendencias de aumento de número de vehículos y la demanda de movimientos de una zona a otra.

## Objetivo

El objetivo del presente trabajo es investigar y realizar los estudios de Ingeniería de Tránsito necesarios para determinar la viabilidad de la ampliación de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*, que comunica a los municipios de Cuautla y Yecapixtla en el estado de Morelos.

En su caso, mediante los resultados obtenidos en los estudios de Ingeniería de Tránsito se propondrán las características geométricas adecuadas para la ampliación de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*

## Contenido de la Tesis

Los seis capítulos de este trabajo presentan la información teórica, práctica y metodológica, así como los análisis de la misma, necesarios para realizar los estudios de tránsito adecuados para la ampliación de una carretera.

El capítulo dos, "Antecedentes", nos pone en contexto con el área de influencia de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*, enfocándonos principalmente en los municipios de Cuautla y Yecapixtla para los cuales se describen sus principales características globales. Así mismo, se presentan las características de la misma carretera, como lo son: su ubicación y sus condiciones físicas actuales, dando pauta a la justificación de su modernización.

En el capítulo tres, "Planteamiento del Problema", se especifican las características de infraestructura y operatividad de la carretera, asociados a los principales puntos en conflicto que se presentan a lo largo de la misma.

El contenido del capítulo cuatro, “Marco Teórico”, presenta al lector la información referente a la Ingeniería de Tránsito, particularmente la asociada a aquellos estudios que se realizaron para este trabajo, con el fin de acercarle al lector las herramientas básicas para la comprensión de la tesis.

Dentro del capítulo cinco, “Estudios de Ingeniería de Tránsito”, encontraremos todos aquellos estudios realizados para la ampliación de la carretera La Cartonera – Yecapixtla, así como las metodologías empleadas para la concepción de los mismos. Estos estudios son: Inventario Vial, Volúmenes de Tránsito, Volúmenes de Tránsito Direccionales, Estimación del Volumen Horario de Máxima Demanda, Estimación del Tránsito Diario Promedio Anual, Velocidad puntual, y Nivel de Servicio.

El capítulo seis, “Resultados; Problemas y Propuestas de Solución”, analiza los resultados obtenidos de los estudios previos, determina los principales problemas que se presentan en la carretera y entrega propuestas de solución que justifican la modernización de la carretera.

Por último, en el capítulo siete, “Conclusiones”, se exponen las conclusiones que se obtuvieron al respecto de los estudios realizados y del trabajo de tesis en general.

## Los Estudios de Ingeniería de Tránsito en la Planeación de Carreteras

En esta sección ubicaremos los estudios de Ingeniería de Tránsito dentro de la planeación de la obra pública en México. Esta planeación se lleva a cabo a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, dependencia encargada de establecer los procesos tanto técnicos como legales de la obra pública. Esta Secretaría es quien emite la ejecución de proyectos a realizar a través de las Licitaciones Públicas.

### Planeación de la Obra Pública

El Proceso de Planeación de la Obra Pública se puede dividir en subprocesos con características y objetivos específicos, que al interactuar contribuyen a consolidar en tiempo y forma una Cartera de Proyectos con todos los elementos requeridos para soportar la formulación del Anteproyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación; propiciando un flujo lógico y secuencial en el desarrollo de todas las actividades involucradas en el proceso.<sup>1</sup>

1. Captación de Requerimientos.
2. Identificación de Necesidades.
3. Análisis, Selección y Evaluación.
4. Registro del Proyecto en el Proceso Integral de Programación y Presupuestación de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).
5. Integración de Elementos.

A continuación se describe esta última actividad, “5. Integración de elementos”:

Se realiza a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) / Dirección General de Carreteras (DGC), la cual contrata la ejecución de elementos que se deben cubrir en el proyecto. Es esencial que se disponga de la totalidad de elementos, que se listan a continuación, para garantizar una adecuada dinámica de la ejecución de la obra:

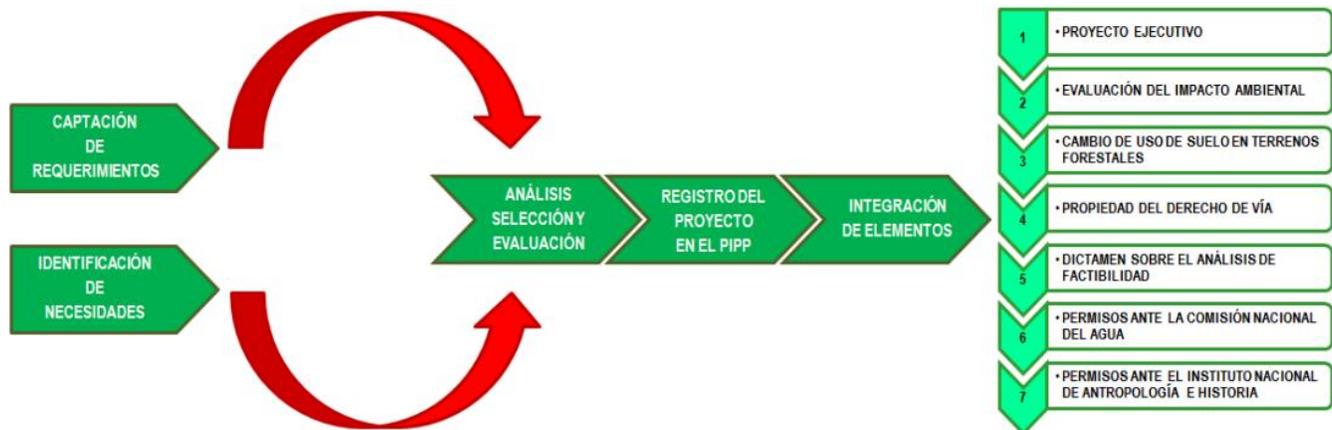
- a. Proyecto ejecutivo.
- b. Resolutivo de impacto ambiental.
- c. Cambio de uso de suelo.
- d. Liberación del derecho de vía, así como pago de bienes distintos a la tierra.
- e. Dictamen sobre el análisis de factibilidad.
- f. Permisos ante el CNA.

---

<sup>1</sup> Conceptos que conforman un proyecto ejecutivo de carreteras. DGST, SCT (2011).

g. Permisos ante el INAH, de ser el caso.

La Integración de Elementos es el último paso dentro de los subprocesos de planeación de obra pública, como podemos observar en el siguiente esquema. Es aquí donde se comienzan los trabajos de ingeniería aplicada con la elaboración del Proyecto Ejecutivo.



**Ilustración 0-1** Subprocesos de la Planeación de la Obra Pública

**Fuente:** "Conceptos que conforman un proyecto ejecutivo de carreteras". DGST, SCT (2011).

### **Estudios de Ingeniería de Tránsito para la planeación de la obra pública**

Descrito anteriormente el proceso de planeación de la obra pública, es como encontramos la ubicación de los Estudios de Ingeniería de Tránsito dentro de los proyectos carreteros.

Se consideran dos etapas en la elaboración del estudio correspondiente. La primera es el monitoreo constante de los volúmenes y clasificación del tránsito en toda la red federal de carreteras, y la segunda consiste en la identificación de una demanda de servicios en base tanto a la información de la primera como a las necesidades que hayan sido detectadas; sean municipales, regionales o nacionales.

La segunda etapa del Estudio de Ingeniería de Tránsito a nivel de planeación de proyectos carreteros, consiste en una etapa en la detección de tramos carreteros en los que la demanda supera la oferta de servicio actual o futuro, en cuyo caso proceden a considerar una propuesta de modernización, ampliación o nueva ruta carretera, que pasará al siguiente nivel de análisis donde se dictaminará si la propuesta es rentable; de lo contrario, se buscará otra alternativa y se analizará nuevamente, hasta encontrar una alternativa rentable que satisfaga la demanda de servicio.

### **Estudios de Ingeniería de Tránsito dentro del Proyecto Ejecutivo de Carreteras**

Un proyecto ejecutivo para la construcción de una carretera es un proyecto de inversión cuya finalidad es la de satisfacer una demanda, en este caso la demanda es de un servicio a los usuarios del sistema carretero.

Como resultado del estudio de Ingeniería de Tránsito, el especialista debe proporcionar el pronóstico del volumen de tránsito diario promedio anual que circulará por la carretera en su periodo de diseño; que puede variar de 15 a 30 años. El pronóstico deberá contener el detalle de cómo se integrará el tránsito total esperado año con año, especificando para cada uno de los puntos intermedios de la carretera en los que se incorporará el tránsito de otras regiones, las cantidades o volúmenes de tránsito por cada entronque. Estos datos son indispensables para el diseño de los entronques y para el diseño del pavimento.

El estudio de Ingeniería de Tránsito se presenta en un informe detallado con la descripción de la metodología del estudio; la descripción, detalles y resultados de los trabajos de campo realizados como: encuestas, mediciones de tránsito, mediciones de velocidad, clasificación vehicular, recopilación de información de dependencias, estudios económicos y de desarrollo regional, datos estadísticos de crecimiento, parque

vehicular, etc. Este es un estudio detallado con todos los trabajos realizados, memorias de cálculo, encuestas, etc.

### **Licitación Pública Nacional**

Una licitación, también denominada concurso público o contrato del Sector Público y Privado, es el procedimiento administrativo para la adquisición de suministros, realización de servicios o ejecución de obras que celebren los organismos y entidades que forman parte del Sector Público.

### **Integración de los Estudios de Tránsito para una ampliación o mejora dentro de una Licitación Pública**

Los estudios de Ingeniería de Tránsito permiten diagnosticar, para una infraestructura vial en general, el tipo de problemática y sus posibles causas. Con base en los análisis de dichos estudios se podrán tener los elementos técnicos que permitan proponer la o las alternativas de solución factibles que mejoren la operación del tránsito en la vía, sin menoscabo de la seguridad y rapidez.

Para lograr estos objetivos se deben integrar una serie de estudios de tránsito de acuerdo al tipo de proyecto que se quiera realizar o al tipo de problema que se quiera solucionar. En una licitación pública se establece un programa detallado con la ejecución de los trabajos que se deben realizar para tal fin. Enseguida presentaremos un programa desglosado con la información requerida de los estudios para una licitación pública en particular:

#### **PROGRAMA DETALLADO PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS.**

##### **CARACTERÍSTICAS DE LA OFERTA.**

##### **A) Inventario de Características Geométricas.**

Se deberá realizar un inventario de las características geométricas de la autopista consistentes en:

- Sección Geométrica. Ancho total, ancho de carril, ancho de acotamientos, número de carriles. Se deberá levantar una sección en los puntos donde varíe dicha sección, indicándose los kilometrajes respectivos.
- Longitud total de la vía y sus tramos correspondientes.
- Equipamiento Urbano. Señalamiento horizontal y vertical, indicando el tipo de señal (informativa, restrictiva, preventiva, etc.) y su ubicación (kilometraje). Semáforos, Plazas de Cobro, reductores de velocidad, teléfono de auxilio, depósitos de agua, etc., se deberán indicar los kilometrajes correspondientes.
- Características Físicas. Tipo de terreno, tipo de pavimento y estado superficial del mismo.
- Ubicación y Tipo de entronques o distribuidores.
- Estudios o información adicional que el Consultor considere complementaria y aprobada por la Dependencia.

##### A.1) Productos a entregar.

- ✓ Larguillo en el que se plasme a escala la información recopilada.

##### **B) Estudio de Tiempos de Recorrido y Demoras.**

Se deberá efectuar un estudio de Tiempos de Recorrido y Demoras tomando como base la segmentación de la autopista (tramos) y conforme a lo siguiente:

- Por el método del Vehículo Flotante.
- Para los siguientes tipos de vehículo: Automóvil (A); Autobús (B), Camión Articulado (T3S2 y T3S3).
- Tres recorridos completos (ambos sentidos) por tipo de vehículo en las horas de máxima demanda.
- Los formatos para la realización del estudio, se le proporcionarán al Contratista.

**B.1) Productos a entregar.**

- Memoria descriptiva de los trabajos realizados.
- Formatos debidamente requisitados con los datos levantados.
- Velocidad promedio de operación y de marcha por tipo de vehículo.
- Velocidad promedio ponderada de operación por tipo de vehículo.

**D) Análisis de Capacidad y Niveles de Servicio.**

Con base en la información proporcionada por los estudios de campo efectuados, el Consultor deberá llevar a cabo los Análisis de Capacidad y Niveles de Servicio, conforme a lo siguiente:

- Obtener las estadísticas históricas de los volúmenes de tránsito.
- Determinación de la tasa de crecimiento de los volúmenes de tránsito, para cada tramo característico.
- Determinación del Nivel de Servicio bajo el cual está operando actualmente la autopista para cada tramo característico.
- Determinación del año de Saturación (capacidad) de cada tramo característico de la autopista.

**D.1) Productos a entregar.**

- Memoria descriptiva de los trabajos efectuados.
- Determinación de la tasa de crecimiento anual y de la tasa de crecimiento propuesta para un horizonte de proyecto de 20 y 30 años. El contratista deberá proponer, con base en los análisis efectuados, una tasa de crecimiento uniforme o diferentes tasas en periodos de tres, cuatro o cinco años, hasta cubrir el horizonte de proyecto.
- Nivel de Servicio actual, para la vía y para cada tramo característico.
- Año de saturación. (Capacidad).
- Conclusiones. El contratista describirá detalladamente con base en estos análisis, las acciones por etapa que deberán adoptarse en caso de que la vía o alguno de sus tramos característicos estén operando en un Nivel de Servicio "E".
- Archivo electrónico conteniendo los análisis y resultados correspondientes. La estructura y formato de la Base de Datos será proporcionado al Consultor.

**CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA.****E) Estudio de Volúmenes de Tránsito.**

El contratista deberá realizar los estudios de volúmenes de tránsito para cada tramo característico de la vía, conforme a lo siguiente:

- Instalación de equipo contador-clasificador de tránsito en 6 estaciones de conteo, muestra de siete días, iniciando a las cero horas del primer día y finalizando a las veinticuatro horas del séptimo día. Los conteos deberán efectuarse con cortes a cada 15 minutos y clasificación vehicular detallada.
- Aforos manuales con clasificación vehicular detallada en las tres horas de máxima demanda en cada una de las 6 estaciones indicadas en el punto anterior.

**E.1) Productos a entregar.**

- Plano con la ubicación geo-referenciada (GPS) de las estaciones de conteo vehicular.
- Documento conteniendo los resultados de los conteos vehiculares por día y por hora:
  - Periodo de aforo.
  - Clasificación vehicular detallada.
  - Volúmenes totales por hora y por día.
  - Volúmenes horarios con cortes a cada 15 minutos.
  - Tránsito Diario Promedio Semanal (TDPS).
- Determinación de los siguientes parámetros:
  - Histogramas conteniendo la variación horaria y la variación semanal.

- Factor de distribución direccional (D).
  - Factor de la Hora de Máxima Demanda. (FHMD).
  - Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA).
  - Volumen Horario de Proyecto. (VHP).
  - Cuadros de resúmenes agrupando la clasificación vehicular
- Memoria descriptiva de los trabajos efectuados.

### PRODUCTOS DEL ESTUDIO

Al terminar el estudio, el consultor deberá entregar lo siguiente:

- **Informe final** y sus **anexos** integrado por los productos intermedios finales que contenga en forma detallada las actividades realizadas, la memoria de cálculo, los resultados del estudio y las conclusiones y recomendaciones del consultor, apoyado con información gráfica y cuadros resumen que permitan tener una visión clara de los trabajos realizados.
- **Informe ejecutivo** que contenga las consideraciones y los resultados más relevantes del estudio.
- Cinco discos compactos que contengan las versiones finales de los archivos digitales correspondientes a la información capturada y validada de los aforos automáticos y manuales.<sup>2</sup>

Si bien cada uno de los proyectos que se desean realizar tienen diferentes vertientes, generalmente un estudio de Ingeniería de Tránsito debe incluir estas características. Sin embargo, en algunos casos es posible agregar algún otro estudio que sea conveniente o prescindir de alguno de éstos que no sea el adecuado.

---

<sup>2</sup> Licitación Pública Nacional No. 00009001-136-10. S.C.T.



# 1 ANTECEDENTES



## 1.1 Ciudad de Cuautla, Mor.

El estado de Morelos es uno de los 31 estados que junto con el Distrito Federal conforman las 32 entidades federativas de México, se encuentra en la parte central del país en la vertiente del sur de la serranía del Ajusco y dentro de la cuenca del río Balsas. Colinda al norte con el Distrito Federal, al noreste y noroeste con el estado de México, al sur con Guerrero y al oriente con Puebla.

El municipio de Cuautla se encuentra en la zona oriente del estado de Morelos, localizado en las coordenadas geográficas extremas 18°49' N de latitud y 99°01' O de longitud, a una altura aproximada de 1,330 msnm.



*Ilustración 1.1-1 Ubicación del municipio de Cuautla en el edo. de Morelos*

**Fuente:** Wikipedia. (s.f.). Recuperado el 17 de 09 de 2013, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Cuautla\\_de\\_Morelos](http://es.wikipedia.org/wiki/Cuautla_de_Morelos)

La Heroica e Histórica ciudad de Cuautla Morelos, es la segunda ciudad más importante del estado de Morelos, por su ubicación Geográfica, por su historia, por su agradable clima y balnearios.

Su población es de 175,207 habitantes<sup>3</sup> y su área metropolitana cuenta con poco más de 383,000 habitantes, es decir, cerca del doble de la población conjunta de los municipios circunvecinos, Ayala, Yecapixtla, Yautepec, Tlayacapan y Atlatlahucan.

Las Principales actividades económicas en el municipio son la agricultura, ganadería, industria y comercio. Tiene una zona industrial ubicada en la región oriente del estado que se encuentra en terrenos del municipio de Cd. Ayala, pero su manejo administrativo está en la ciudad de Cuautla. También existen gran cantidad de viveros y el ingenio azucarero “La Abeja”, uno de los ingenios más grandes del país y de mayor exportación de azúcar de caña, los cuales son importantes para la economía de este municipio. Derivado de estas actividades Cuautla tiene un ingreso bruto de \$ 666.95 millones de pesos, lo que representa el 10% del ingreso bruto del estado<sup>4</sup>.

En el sector de las comunicaciones la ciudad de Cuautla ha crecido considerablemente en los últimos años, actualmente se operan diversas carreteras que comunican al municipio con distintas poblaciones, incluyendo a otros estados vecinos. Entre las principales se encuentran<sup>5</sup>:

- ✓ Carretera Federal México-Cuautla vía Amecameca-Chalco No.115
- ✓ Carretera Federal México-Puebla-Oaxaca No.160
- ✓ Carretera Federal México-Cuernavaca-Cuautla vía la pera No.115D
- ✓ Carretera Federal Cuernavaca-Cuautla No.138

<sup>3</sup> Censo de población y vivienda 2010. INEGI.

<sup>4</sup> INEGI, México en Cifras. Información nacional, por entidad federativa y municipios., 2013

<sup>5</sup> Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), S.C.T.



**Ilustración 1.1-2** Carreteras Federales que comunican al municipio de Cuautla

**Fuente:** Elaboración propia

Es importante destacar en este espacio la creación del distribuidor vial José María Morelos y Pavón, ubicado en la entrada principal de la ciudad, el cual facilita la comunicación entre Cuautla y otros municipios, agilizando el tránsito de aproximadamente 40,000 vehículos<sup>6</sup>.



**Ilustración 1.1-3** Distribuidor vial José Ma. Morelos y Pavón, Cuautla, Mor.

**Fuente:** Wikipedia. (s.f.). Recuperado el 17 de 09 de 2013, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Cuautla\\_de\\_Morelos](http://es.wikipedia.org/wiki/Cuautla_de_Morelos)

Siendo una ciudad de gran importancia en el estado de Morelos mantiene un acelerado crecimiento poblacional que ha dado origen a la imperante necesidad de ampliar ciertas carreteras, sobre todo aquellas que conectan el municipio de Cuautla con los municipios al poniente como son: Yecapixtla, Ocuituco y Tetela del Volcán. Esto debido a la necesidad latente de liberar el congestionamiento de la Carretera Federal 115.

<sup>6</sup> Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), S.C.T.

## 1.2 Municipio de Yecapixtla, Mor.

Yecapixtla es un municipio del Estado de Morelos ubicado en la región oriente del mismo, se localiza geográficamente en los paralelos 18° 53' de latitud norte y a los 98° 52' de latitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 1,580 metros sobre el nivel del mar.



*Ilustración 1.2-1 Ubicación del municipio de Yecapixtla en el edo. de Morelos.*

*Fuente: Wikipedia. (s.f.). Recuperado el 17 de 09 de 2013, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Yecapixtla>*

Este municipio es pequeño relativamente hablando, tiene una población de 46,809 habitantes<sup>7</sup>, lo que representa apenas el 2.6% de la población total del estado. Tiene un ingreso bruto de \$140.71 millones de pesos<sup>8</sup>, lo cual representa el 2.1% de los ingresos totales del estado.

En Yecapixtla las principales actividades económicas son la agricultura y el comercio (venta en los tianguis). El municipio tiene un total de 12,151 hectáreas sembradas<sup>9</sup>; de las cuales el sorgo y maíz de grano representan el 85% de la siembra total.

Dentro de los planes de Desarrollo tanto Estatal como Municipal se tienen objetivos comunes donde se busca propiciar condiciones para el progreso material de la población, elevando así la competitividad del municipio, impulsando por consiguiente todo tipo de actividades económicas sustentables que generen riquezas y bienestar, en beneficio no solo de los habitantes de Yecapixtla, sino también de los habitantes de la zona conurbada.

Dentro de su sistema principal de redes de comunicación destaca la carretera MOR-010 la cual va desde el entronque con la carretera MEX-115 hasta llegar al municipio de Tetela del Volcán.

## 1.3 Estado Actual de la Red Vial en el Estado de Morelos

Actualmente el estado de Morelos cuenta con una extensa red carretera la cual abarca la mayor parte de su territorio. Según los Datos Viales 2013 de la SCT<sup>10</sup>; 10 carreteras pertenecen a la Red Federal Libre, 4 carreteras a la Red Federal de Cuota y 27 son carreteras dentro de la Red Estatal Libre.

En Morelos el 80 % de las localidades, las cuales concentran el 88 % de la población, cuentan con una ubicación favorable en materia de comunicación vía terrestre, ya que existen carreteras cercanas que las une, por lo que presentan condiciones de integración adecuadas. Sin embargo, se constató que Morelos presenta un

<sup>7</sup> Censo de población y vivienda 2010. INEGI.

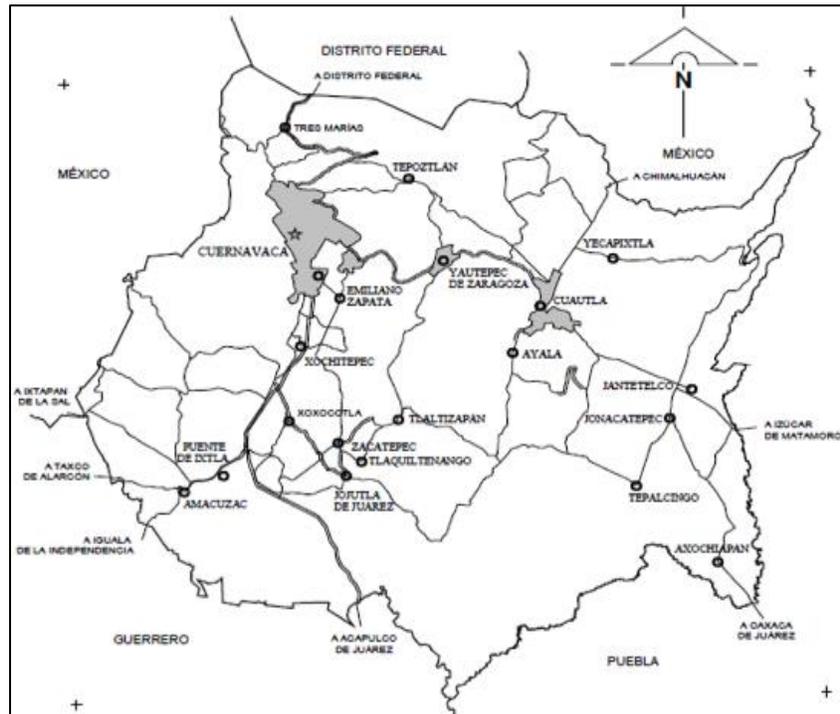
<sup>8</sup> México en Cifras. Información nacional, por entidad federativa y municipios. INEGI (2013).

<sup>9</sup> México en Cifras. Información nacional, por entidad federativa y municipios. INEGI (2013).

<sup>10</sup> Datos Viales 2013. DGST, SCT.

sistema concentrado de sus centros de población, principalmente el bloque integrado por las ciudades de Cuautla, Cuernavaca y Jojutla que representan el 77 % de la población del estado.<sup>11</sup>

La situación descrita previamente ocasiona que el parque vehicular constituido por el bloque de estas tres ciudades rebase la oferta de infraestructura vial, por lo cual, no es posible ofrecer un servicio carretero en condiciones óptimas para esta zona, que incluye al municipio de Yecapixtla. Derivado de esto, se genera la necesidad de modernizar los tramos carreteros aledaños con el objetivo de ofrecer una red vial adecuada y mejorar la calidad de los viajes que conecten los municipios vecinos, tal es el caso de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*.



**Ilustración 1.3-1** Red vial de las principales carreteras del edo. de Morelos.

## 1.4 Carretera La Cartonera - Yecapixtla

### 1.4.1 Ubicación

La carretera *La Cartonera - Yecapixtla*, comúnmente conocida como *La Cartonera*, une a los municipios de Cuautla y Yecapixtla. Inicia al norte de la ciudad de Cuautla, específicamente sobre el Libramiento de Cuautla, y desemboca al sur de la ciudad de Yecapixtla, sobre el libramiento del mismo municipio.

<sup>11</sup> Programa estatal de desarrollo urbano 2007 - 2012. Gobierno de Morelos.



**Ilustración 1.4-1** Ubicación geográfica de la Carretera La Cartonera - Yecapixtla.

**Fuente:** Elaboración propia

### 1.4.2 Condiciones Actuales

La carretera *La Cartonera - Yecapixtla* tiene una longitud total de 9.70 kilómetros y un ancho de corona de 6 metros en toda su longitud sin acotamientos. De acuerdo a la clasificación y características de las carreteras del Instituto Mexicano del Transporte, esta es una carretera rural tipo D a la cual corresponde a un tránsito diario promedio anual entre 100 y 500 vehículos y una velocidad de proyecto entre 30 – 60 km/h.

En algunos tramos el pavimento se encuentra en mal estado provocando que la circulación sobre la carretera sea lenta, mientras que el tipo de camino es peligroso para realizar maniobras de rebase. Estas situaciones evitan que se tengan viajes cómodos y seguros, además provocan que el tiempo de traslado sea mayor al deseado.

Es importante mencionar también que sobre el kilómetro 7 de la carretera se encuentra la Zona Industrial de Yecapixtla, así como los edificios de servicios médicos del Seguro Social (IMSS), esta particularidad provoca que el flujo de vehículos se incremente considerablemente, además de que demanda una carretera en condiciones óptimas de acuerdo a los servicios hospitalarios que se prestan.

### 1.4.3 Justificación de su modernización

Por su ubicación Geográfica, los municipios de Cuautla y Yecapixtla se localizan en una posición estratégica dentro de la actividad productiva del estado, por lo que la consolidación de la red de vialidades les permitirá potenciar su desarrollo económico e incrementar su competitividad.

El objetivo es generar las condiciones adecuadas en lo que corresponde a las vialidades de esta zona para impulsar un desarrollo más adecuado a la realidad que vive industrialmente el estado. En la actualidad para comunicar los municipios de Cuautla y Yecapixtla la carretera se encuentra en malas condiciones físicas y sin un trazo geométrico adecuado, la cual resulta peligrosa para la gran cantidad de automóviles que transita por estas dos localidades, dando pie a la necesidad de ampliar esta ruta y corregir su trazo geométrico para poder establecer una mejor comunicación entre las comunidades.

Una de las acciones principales en materia de comunicación para estas dos poblaciones contempla ampliar los 9.7 kilómetros de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*. Esta carretera inicia en el kilómetro 5.5 del libramiento de Cuautla y termina al llegar al “Antiguo Camino a Cuautla”, en el municipio de Yecapixtla. La ampliación de esta carretera permitirá gran movilidad para la población, se reduciría el tiempo de recorrido, se eficientará el

intercambio de productos y servicios, y generará una derrama económica entre los municipios de Cuautla y Yecapixtla.

Como obras alternas, en el sector de las comunicaciones, se han venido modernizando las carreteras que existen en el norte del estado, para continuar con esta iniciativa es importante la modernización de la carretera *La Cartonera – Yecapixtla*, necesaria para integrar una ruta rápida y adecuada entre los municipios altos del estado de Morelos con la ciudad de Cuautla. En la actualidad los viajes son demasiado lentos para que la población pueda trasladarse eficientemente hacia el centro del estado.

La propuesta consiste en la ampliación de la carretera y algunas correcciones sobre el trazo para poder circular a una mayor velocidad y permitir un rebase seguro en ciertos tramos de la misma. Al poder trasladarse a una mayor velocidad se reducirían los costos de viaje y será una vía más competitiva para la gente que intercambia sus mercancías entre Yecapixtla y Cuautla. También se reducirá el consumo de combustible provocando una disminución de la contaminación de la quema de gases fósiles.



## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA





### 2.3.1 Intersección Libramiento de Cuautla - Carretera La Cartonera- Yecapixtla

El primero de los puntos en conflicto es la intersección de la carretera con el Libramiento de Cuautla. Como se puede apreciar en la imagen 3.4-1 el cruce no cuenta con las dimensiones adecuadas para efectuar las maniobras de entrada y salida pertinentes, por lo que resulta peligroso ingresar de una vía rápida, como lo es el Libramiento de Cuautla, a La Cartonera - Yecapixtla en una intersección tan brusca y pequeña. Además, surge el problema de los camiones y tracto-camiones, cuando estos intentan ingresar a "La Cartonera" se ven en la necesidad de abarcar los dos carriles de circulación debido a sus amplios radios de giro en sus maniobras de entrada, situación que origina un congestionamiento vial.



*Ilustración 2.3-2 Intersección del Libramiento de Cuautla con la carretera "La Cartonera"*

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.2 Zona Conurbada de Cuautla, del Km 0+000 al Km 0+300

La zona conurbada de la ciudad de Cuautla, aledaña al libramiento de la misma, presenta el inconveniente de la invasión del derecho de vía en los primeros 300 m de "La Cartonera". En la imagen 3.4-2 se puede apreciar que en este tramo existen casas, bardas, guarniciones y servicios que imposibilitan su ampliación.

Aunado a la situación descrita anteriormente, los habitantes de esta zona estacionan sus automóviles sobre la carretera, bloqueando completamente la circulación de un carril; lo que ocasiona congestionamiento vial.



*Ilustración 2.3-3 Zona conurbada de la carretera "La Cartonera", Km 0+000 al Km 0+300.*

*Fuente: Elaboración propia, Google Maps 2013.*

### 2.3.3 Zona Industrial e IMSS, del Km 7+130 al Km 7+400

Otro punto en conflicto es la entrada al Parque Industrial de Yecapixtla y el IMSS. Es aquí donde una gran cantidad de los vehículos provenientes del norte tienen su destino, ya sea a sus trabajos en el parque industrial o al acudir a servicios médicos.

La demandada entrada y salida de autos que genera la atracción de viajes, y la invasión permanente de los acotamientos por el transporte público, ha generado que esta zona presente problemas viales, sobre todo en las hora pico.

Es importante tomar en cuenta que esta zona deberá requerir una solución especial para lograr que los autos entren y salgan con seguridad, y permitan en la medida de lo posible libre circulación a los vehículos que siguen sobre la carretera.



**Ilustración 2.3-4** Zona Industrial e IMSS sobre la carretera "La Cartonera", Km 7+130 al Km 7+400

*Fuente: Elaboración propia, Google Maps 2013.*

### 2.3.4 Intersección La Cartonera- Yecapixtla- Libramiento de Yecapixtla

El último punto de conflicto es el cruce del Libramiento de Yecapixtla con la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*. Es aquí donde se presenta el mayor flujo vehicular de toda la carretera. Durante la hora pico los movimientos aumentan casi al doble del promedio, causando congestión vial.

Al ser ésta una intersección tan reducida (Ilustración 3.4-4), los camiones la paralizan totalmente, cuando éstos quieren entrar o salir de la carretera invaden ambos carriles para realizar su maniobra, tanto los de entrada como los de salida, situación que además de detener el flujo completamente resulta muy peligrosa para todos los usuarios.



**Ilustración 2.3-5** Intersección del Libramiento Cuautla – Yecapixtla con la carretera “La Cartonera”

**Fuente:** Elaboración propia, Google Maps 2013



### 3 MARCO TEÓRICO



En este capítulo se presentan todos aquellos conceptos fundamentales y aspectos teóricos de la Ingeniería de Tránsito referidos en la concepción de este trabajo. De esta manera se brindan al lector las herramientas necesarias para la comprensión de los estudios realizados en esta tesis.

Es importante señalar que la gran mayoría de los conceptos teóricos presentados en esta sección fueron obtenidos de los libros: *Ingeniería de Tránsito*<sup>12</sup>, *Ingeniería de Tránsito y de Carreteras*<sup>13</sup>, y *Manual de Carreteras*<sup>14</sup> principalmente.

### 3.1 Proyecto Carretero

El proyecto carretero es el pilar fundamental sobre el que se asienta la realización de cualquier tipo de infraestructura; es un compendio de toda la información necesaria para garantizar una buena ejecución de la obra. Con lo cual se busca tener un camino en óptimas condiciones geométricas, de seguridad y de transitabilidad al mejor coste.

#### 3.1.1 Tipos de Proyectos

**Proyecto de nuevo trazado:** Son aquellos cuya finalidad es la construcción de una vía de comunicación no existente o la modificación funcional de una en servicio con trazado independiente.

**Proyectos de duplicación de calzada:** Su principal cometido es la transformación de una carretera de calzada única en otra de calzadas separadas. Esto se sigue mediante la construcción de una nueva calzada, generalmente muy cercana y paralela a la existente. Esta clase de proyectos suelen ir acompañados de modificaciones locales del trazado existente: supresión de cruces a nivel, reordenación de accesos, etc.

**Proyectos de acondicionamiento:** Este tipo de proyectos se ejecutan básicamente para efectuar modificaciones en las características geométricas de una vía existente, con actuaciones tendentes a acortar tiempos de recorrido, mejorar el nivel de servicio y reducir la accidentalidad de la misma.

**Proyectos de mejoras locales:** Su propósito fundamental es la adecuación de determinados puntos de la vía que plantean problemas de funcionalidad, los cuales reducen el nivel de servicio y de seguridad. Para ellos se actúa modificando las características geométricas de tramos y elementos aislados de la carretera.

#### 3.1.2 Fases Operativas

La carretera, como vía proyectada y construida para la circulación de vehículos, no sólo deberá limitarse a resolver de manera efectiva el traslado de un punto a otro de la superficie terrestre, sino que deberá hacerlo asegurando las máximas condiciones de seguridad y comodidad de los usuarios.

Para abordar la realización de cualquier proyecto carretero, son necesarias las siguientes fases de desarrollo del proyecto:

**Estudios previos:** Generalmente se comienza con un estudio de viabilidad del proyecto, justificando la necesidad de la construcción de esa vía mediante un análisis de la demanda existente o la necesidad de mejorar o descongestionar un determinado tramo. En función de estas exigencias fundamentalmente cuantitativas y en ocasiones cualitativas, se decide la elección del tipo de vía.

**Anteproyecto:** Su objetivo básico es el análisis detallado de las posibles variantes o trazos alternativos de la vía. Dichas variantes obedecen fundamentalmente a criterios de adaptación en la topografía de la zona, a la disponibilidad de los terrenos y sus condiciones geotécnicas, y al impacto ambiental generado durante la construcción y operación de la vía.

<sup>12</sup> (Cal y Mayor R. & Cárdenas G., 2010)

<sup>13</sup> (Garber & A. Loel, 2004)

<sup>14</sup> (Bañón Blázquez & Beviá García, 2000)

En la memoria del anteproyecto es indispensable presentar los posibles trazos del proyecto en planos a una escala no inferior a 1:5000, tanto en planta como en alzado. Deberá contener también mediciones aproximadas y valoración de las obras, para tener una idea del costo económico del mismo. Todo esto para cada una de las propuestas presentadas.

**Traza del proyecto:** Posterior al anteproyecto se procede a la redacción del proyecto de trazado de la vía, en el que se define la con detalle la geometría de la carretera. Su contenido se especifica brevemente a continuación:

- ✓ Memoria: En ella se describe perfectamente el trazo definitivo de la carretera, así como una justificación razonada y fundamentada de la solución adoptada.
- ✓ Anexos de la memoria: Los necesarios para definir la obra en su totalidad.
- ✓ Planos: Se definen gráficamente y geométricamente todos los elementos funcionales de la vía.
- ✓ Presupuesto: Se especifican los detalles económicos, valorando cada una de las unidades de obra y en función de esto se proporciona una estimación del precio de ejecución de la totalidad de las obras.

El proyecto de trazado sirve de avance al proyecto de construcción, de forma que mientras éste se elabora se agilizan los trámites relativos a la expropiación de los terrenos afectados y la reposición de servicios.

**Proyecto de Construcción:** Como último paso se procede a la redacción del proyecto de construcción, sobre el cual se efectuará la licitación, contratación y ejecución de las obras.

El proyecto podría definirse como el documento contractual en el que se reflejan detalladamente las características y exigencias de orden técnico, económico y administrativo de una determinada obra, así como los procedimientos constructivos a seguir para la ejecución de la misma.

Todo proyecto de construcción de carreteras consta, como cualquier otro proyecto de construcción, de cuatro documentos básicos: 1) Memoria y sus correspondientes anexos, 2) Planos, 3) Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y 4) Presupuesto.

### 3.1.3 Proyecto Geométrico

El Proyecto Geométrico de calles y carreteras es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, una calle o carretera queda definida geométricamente por el proyecto de su eje en planta (alineamiento horizontal) y perfil (alineamiento vertical), y por el proyecto de su sección transversal.

## 3.2 Ingeniería de Tránsito

Es aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, sus terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte.

La *Ingeniería de Transporte* es la aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de manera segura, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente.

Como puede verse, la Ingeniería de Tránsito es un subconjunto de la Ingeniería de Transporte, y a su vez el Proyecto Geométrico es una etapa de la Ingeniería de Tránsito.

### 3.2.1 Alcances de la Ingeniería de Tránsito

Definido anteriormente el marco de la Ingeniería de Tránsito, en esta importante rama se analiza en forma pormenorizada lo siguiente:

**Características del Tránsito**

Se analizan los diversos factores y las limitaciones de los vehículos y los usuarios como elementos de la corriente de tránsito. Se investigan la velocidad, el volumen y la densidad; el origen y destino del movimiento; la capacidad de las calles y carreteras; el funcionamiento de: pasos a desnivel, terminales, intersecciones canalizadas; se analizan los accidentes, etc.

Así se pone en evidencia la influencia de la capacidad y las limitaciones del usuario en el tránsito; se estudia al usuario particularmente desde el punto de vista psíquico-físico, indicándose la rapidez de las reacciones para frenar, para acelerar, para maniobrar, su resistencia al cansancio, etc.

**Reglamentación del Tránsito**

La técnica debe establecer las bases para los reglamentos del tránsito; debe señalar sus objeciones, legitimidad, eficacia, así como sanciones y procedimientos para modificarlos y mejorarlos. Así, por ejemplo, deben ser estudiadas las reglas en materia de licencias; responsabilidad de los conductores; peso y dimensiones de los vehículos; accesorios obligatorios y equipo de iluminación, acústicos y de señalamiento; comportamiento en la circulación, etc.

Igual atención se da a otros aspectos, tales como: prioridad del paso, tránsito en un sentido; zonificación de la velocidad; limitaciones en el tiempo de estacionamiento; control policiaco en las intersecciones; peatones y transporte público.

**Señalamiento y Dispositivos de Control**

Este aspecto tiene por objeto determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales, iluminación y dispositivos de control, etc. Los estudios deben complementarse con investigaciones de laboratorio.

Aunque el técnico en tránsito no es responsable de la fabricación de estas señales y semáforos, a él le incumbe señalar su alcance, promover su empleo y juzgar su eficiencia.

**Planificación Vial**

Es indispensable, en la Ingeniería de Tránsito, realizar investigaciones y analizar los diferentes métodos, para planificar la vialidad en un país, una municipalidad o en una pequeña área, para poder adaptar el desarrollo de calles y carreteras a las necesidades del tránsito.

Parte de esta investigación está dedicada exclusivamente a la planificación de la vialidad urbana, que permite conocer los problemas que se presentan al analizar el crecimiento demográfico, las tendencias al aumento en el número de vehículos y la demanda de movimientos de una zona a otra.

Es reconocido que el tráfico es uno de los factores más importantes en el crecimiento y transformación de un centro urbano y de una región. Es por esto que el punto de vista de un Ingeniero de Tránsito debe ser considerado en toda programación urbanística.

**Administración**

Es necesario examinar las relaciones entre las distintas dependencias públicas que tienen competencia en materia vial y su actividad administrativa al respecto. Deben considerarse los distintos aspectos tales como: económico, político, fiscal, de relaciones públicas, de sanciones, etc.

A su vez, la Ingeniería de Tránsito del futuro deberá ir muy de la mano con temas tales como: 1) Los *sistemas intermodales*, 2) El progreso en los *sistemas de transporte inteligentes*, a través del uso de las comunicaciones y la tecnología de los computadores, 3) La preservación de la *función y jerarquía* del sistema vial, mediante el diseño y rediseño de buenas prácticas, 4) El *manejo de la congestión*, debido a que la expansión potencial para nuevas vialidades es muy limitada y a menudo no factible, 5) El *aseguramiento de la movilidad*, 6) El *impacto ambiental*, relacionado con el ruido, la calidad del aire,

humedales, zonas históricas, alamedas, fuentes naturales, especies animales y vegetales, energía, impactos sociales y económicos.

### 3.2.2 Elementos Básicos del Tránsito

Con el propósito de estudiar los aspectos operacionales de la Ingeniería de Tránsito, es importante analizar, de manera muy general, los elementos básicos que hacen que se produzcan los flujos de tránsito interactuando entre sí, éstos son:

- A) El usuario: conductores, peatones, ciclistas y pasajeros.
- B) El vehículo: privado, público y comercial.
- C) La vialidad: calles y carreteras.
- D) Los dispositivos de control: marcas, señales, semáforos.
- E) El medio ambiente general.

Estos, se describen detalladamente a continuación:

#### A) Usuario

Siempre que se trate de la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte automotor, el ingeniero de tránsito debe conocer las habilidades, limitaciones y requisitos que tiene el usuario, como elemento de la Ingeniería de Tránsito.

Los seres humanos, como usuarios de los diferentes medios de transporte, son estudiados y entendidos claramente con el propósito de poder ser controlados y guiados en forma apropiada. El comportamiento del individuo en el flujo del tránsito, es con frecuencia, uno de los factores que establece sus características.

##### **Peatón**

Es importante estudiar al peatón porque es, por jerarquía entre modos, el más vulnerable, lo cual lo convierte en un componente importante dentro de la seguridad vial. Muchos de los accidentes sufridos por peatones ocurren porque éstos no cruzan en las zonas demarcadas para ellos o porque no siempre los flujos están adecuadamente canalizados.

##### **Conductor**

Por lo regular, el que conduce un vehículo conoce el mecanismo, sabe lo que es el volante, las velocidades, el freno, etc., pero desconoce las limitaciones, la potencialidad de ese vehículo y carece de destreza para mezclarlo en la corriente del tránsito. Con apoyo en las estadísticas de accidentes se puede asegurar que el vehículo, sin la preparación previa del individuo a través de la educación vial, ha sido convertido en un arma homicida.

#### B) Vehículo

Se puede afirmar que la relación de habitantes por vehículo es uno de los indicadores para apreciar el progreso de un país, tanto en su transporte, como en su economía en general. Sin duda, los países industrializados tendrán las relaciones de habitaciones por vehículo más bajas, en tanto que los países en vías de desarrollo tendrán relaciones de habitaciones por vehículo más elevadas.

Es indispensable que cada país facilite su transporte, que lo mecanice al máximo para que progrese, para que puedan transportarse los bienes de consumo, desde las fuentes de producción hasta los mercados; para que los bienes manufacturados puedan ir a los pueblos más apartados; para que las comodidades se puedan distribuir en todo el país, etc. No sólo es inevitable que aumente el número de vehículos cada año, sino que es lo deseable, lo conveniente. Por lo tanto, el segundo elemento componente del tránsito, *El Vehículo*, irremediablemente seguirá en aumento.

### **Características de los Vehículos de Proyecto**

En general, los vehículos se clasifican en vehículos ligeros, vehículos pesados y vehículos especiales.

Los *vehículos ligeros* son vehículos de pasajeros y/o carga, que tienen dos ejes y cuatro ruedas. Se incluyen en esta denominación los automóviles, camperos, camionetas, y las unidades ligeras de pasajeros y carga.

Los *vehículos pesados* son unidades destinadas al transporte masivo de pasajeros o carga, de dos o más ejes y de seis o más ruedas. En esta denominación se incluyen los autobuses y los camiones.

Los vehículos especiales, son aquellos que eventualmente transitan las carreteras y calles, tales como: camiones y remolques especiales para el transporte de troncos, minerales, maquinaria pesada, maquinaria agrícola, bicicletas y motocicletas, y en general, todos los demás vehículos no clasificados anteriormente, tales como vehículos deportivos y vehículos de tracción animal.

El **vehículo de proyecto**, es aquel tipo de vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guiarán el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, tal que éstas puedan acomodar vehículos de este tipo. En general, para efectos de proyecto, se consideran dos tipos de vehículos de proyecto: los vehículos ligeros o livianos y los vehículos pesados, clasificados éstos en camiones y autobuses.

### **Clasificación Vehicular**

Según la NOM-012-SCT-2-2008, Sobre El Peso Y Dimensiones Máximas Con Los Que Pueden Circular Los Vehículos De Autotransporte, publicada por la Dirección General de Autotransporte Federal. La clasificación vehicular atendiendo a su clase y nomenclatura es la siguiente: Clase (nomenclatura)

**Autobús (B):** Vehículo automotor de seis o más llantas, de estructura integral o convencional con capacidad de más de 30 personas.

**Camión unitario (C):** Vehículo automotor de seis o más llantas, destinado al transporte de carga con peso bruto vehicular mayor a 4 t.

**Camión remolque (C-R):** Vehículo destinado al transporte de carga, constituido por un camión unitario con un remolque, acoplado mediante un convertidor.

**Tractocamión articulado (T-S):** Vehículo destinado al transporte de carga, constituido por un tractocamión y un semirremolque.

**Tractocamión doblemente articulado (T-S-R y T-S-S):** Vehículo destinado al transporte de carga, constituido por un tractocamión, un semirremolque y un remolque u otro semirremolque, acoplados mediante mecanismos de articulación.

Ampliando esta clasificación de acuerdo a su clase, nomenclatura, número de ejes y número de llantas, es posible conocer las diferentes configuraciones de vehículos existentes. El número de ejes del vehículo se coloca delante de cada letra con la que está compuesta la nomenclatura de su clase. La cantidad de llantas se determina de la siguiente manera: siempre el eje de dirección tiene dos llantas mientras que los ejes traseros tienen cuatro, excepto en los autobuses (B3) y camiones (C3) de tres ejes, los cuales pueden ser de ocho o diez llantas. Ejemplo:

- ✓ **B2:** Autobús de dos ejes; seis llantas.
- ✓ **C3-R2:** Camión de tres ejes con remolque de dos ejes, cinco ejes totales; 18 llantas.
- ✓ **T3-S2-R4:** Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de cuatro ejes, nueve ejes en total: 34 llantas.



Nota: La letra **A** es comúnmente empleada para los vehículos ligeros menores de 3 t de peso y con capacidad para 9 pasajeros como máximo, mientras que la letra **M** es usada para identificar las motocicletas.

### C) Vialidad

Uno de los patrimonios más valiosos con el que cuenta cualquier país es su infraestructura y en particular la del sistema vial, por lo que su magnitud y calidad representa uno de los indicadores del grado de desarrollo del mismo. Por esto, es común encontrar un excelente sistema vial en un país de un alto nivel de vida y un sistema vial deficiente en un país subdesarrollado.

#### **Clasificación Funcional de una Red Vial**

La clasificación funcional es clave en el proceso de planeación del transporte, ya que agrupa las distintas carreteras y calles en clases o sistemas de acuerdo al servicio que se espera presten.

Dentro de un criterio amplio de la planeación, la red vial, tanto rural como urbana, se debe clasificar de tal manera que se pueden fijar funciones específicas a las diferentes carreteras y calles, para así atender las necesidades de movilidad de personas y mercancías, de una manera rápida, confortable y segura, y a las necesidades de accesibilidad a las distintas propiedades o usos del área colindante.

Para facilitar la movilidad es necesario disponer de carreteras y calles rápidas, y para tener acceso es indispensable contar con carreteras y calles lentas. Naturalmente entre estos dos extremos aparece todo el sistema de carreteras (rurales) y calles (urbanas). En términos generales, las carreteras y calles pueden clasificarse funcionalmente en tres grandes grupos: *principales* (arterias), *secundarias* (colectoras) y *locales*.

Las carreteras y calles principales son de accesos controlados destinados a proveer alta movilidad a grandes volúmenes de tránsito de paso y de poco o nulo acceso a la propiedad lateral; mientras que las carreteras o calles locales son de accesos no controlados que proveen fácil acceso a la propiedad lateral, de volúmenes de tránsito menores y raramente utilizadas por el tránsito de paso.

#### **Clasificación y tipo de Carreteras**

##### **Clasificación de Transitabilidad**

En general corresponden a etapas de construcción y se dividen en:

- Terracerías: su superficie de rodamiento es en tierra, en la mayoría de los casos sólo es transitable en tiempos secos.
- Carretera revestida: aquellas a cuya superficie de rodamiento se le ha aplicado un tipo de revestimiento diferente a una capa de pavimento. Son transitables en todo tiempo.
- Carretera pavimentada: aquellas carreteras cuya superficie de rodamiento corresponde a una capa de tratamiento superficial, de asfalto o concreto.

##### **Clasificación Administrativa**

Por lo general es independiente de las características de la carretera. Llevan su nombre de acuerdo a la dependencia de gobierno que tiene a su cargo la construcción, operación y conservación; por lo que en México se clasifican en:

- Carretera federal: directamente a cargo de la federación.
- Carretera estatal: a cargo de las Juntas Locales de Caminos.
- Carretera vecinal: construida con la cooperación de los particulares beneficiados. Para su conservación, pasa a la clasificación anterior.

- Carretera de cuota: a cargo de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos. La inversión es recuperable a través del pago de cuotas de paso.

#### **Clasificación Técnica Oficial**

Permite distinguir en forma precisa la categoría física de la carretera; tomando en cuenta los volúmenes de tránsito y las especificaciones geométricas. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes clasifica las carreteras de acuerdo a su Tránsito Promedio Diario Anual (TDPA) para el horizonte de proyecto, como:

- Tipo A4: para un TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos
- Tipo A2: para un TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos
- Tipo B: para un TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos
- Tipo C: para un TDPA de 500 a 1,500 vehículos
- Tipo D: para un TDPA de 100 a 500 vehículos
- Tipo E: para un TDPA hasta de 100 vehículos.

**Tabla 3.2-1 Clasificación Técnica Oficial y Características de las Carreteras**

Concepto		Unidad	Tipo de Carretera																														
			E					D					C					B					A										
TDPA EN EL HORIZONTE DEL PROYECTO		Veh/día	HASTA 100					100 a 500					500 a 1500					1500 a 3000					MÁS DE 3000										
Terreno	Montañoso	-	■					■					■					■					■										
	Lomerío		■					■					■					■					■										
	Plano		■					■					■					■					■										
VELOCIDAD DE PROYECTO		km/h	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	40	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	110	110	60	70	80	90	100	110	
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA		m	30	40	55	75	95	30	40	55	75	95	40	55	75	95	115	135	155	55	75	95	115	135	155	175	175	75	95	115	135	155	175
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE		m	-	-	-	-	-	135	180	225	270	315	180	225	270	315	360	405	450	225	270	315	360	405	450	495	495	270	315	360	405	450	495
GRADO MÁXIMO DE CURVATURA		°	60	30	17	11	7.5	60	30	17	11	7.5	30	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75	11	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75	
Curvas	K	Cresta	m / %	4	7	12	23	36	3	4	8	14	20	4	8	14	20	31	43	57	8	14	20	31	43	57	72	14	20	31	43	57	72
		Columpio	m / %	4	7	10	15	20	4	7	10	15	20	7	10	15	20	25	31	37	10	15	20	25	31	37	43	15	20	25	31	37	40
Verticales	Longitud	m	20	30	30	40	40	20	30	30	40	40	30	30	40	40	50	50	60	30	40	40	50	50	60	60	40	40	40	50	50	60	60
Pendiente Gobernadora		%	9					8					8					5					4										
Pendiente Máxima		%	13					12					8					7					6										
Ancho de Calzada		m	4.0					6.0					6.0					7.0					A2		A4		A4S						
Ancho de Corona		m	4.0					6.0					7.0					9.0					7.0		2 x 7.0		2 x 7.0						
Ancho de Acotamientos		m	-					-					0.5					1.0					12.0		2 x 10.5		2 x 11.0						
Ancho de Faja Separadora Central		m	-					-					-					-					Un cuerpo		Un cuerpo		Cuerpo por Separado						
BOMBEO		%	3.0					3.0					2.0					2.0					2.5		3.0 Ext. 0.5 Int.		3.0 Ext. 1.0 Int.						
SOBREELEVACIÓN MÁXIMA		%	1.0					10.0					10.0					10.0					10.0										

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Normas de Servicios Técnicos, Título 2.01.01 Proyecto Geométrico.

## **D) Dispositivos para el control del tránsito**

Las señales en una carretera cumplen una función primordial, no basta con que un camino tenga un excelente diseño geométrico y un pavimento en magníficas condiciones, ya que si no se tiene un buen señalamiento no se ofrece calidad en el servicio y se desvirtúa el trabajo realizado en otras áreas. La operación de la carretera se maneja a través de un señalamiento adecuado.

El señalamiento tanto horizontal como vertical de carreteras y vialidades urbanas está integrado mediante marcas en el pavimento, tableros con símbolos, pictogramas y leyendas, así como otros elementos. En conjunto estas señales constituyen un sistema que tiene por objeto delinear las características geométricas, prevenir sobre la existencia de algún peligro potencial en el camino, regular la operación del tránsito, guiar oportunamente a los usuarios a lo largo de sus itinerarios transmitiéndoles indicaciones relacionadas con su seguridad y con la protección de las vías de comunicación para regular y canalizar correctamente el tránsito de vehículos y peatones.

### ***Clasificación de los Dispositivos de Control***

1. Señales Verticales
  - Preventivas
  - Restrictivas
  - Informativas
  - Turísticas y de servicios
  - Señales diversas
2. Señales Horizontales
  - Rayas
  - Marcas
  - Botones
3. Dispositivos para Protección en Obras
  - Señales horizontales
  - Señales verticales
  - Barreras levadizas
  - Barreras fijas
  - Conos
  - Tambos
  - Dispositivos luminosos
  - Señales manuales
4. Semáforos
  - Vehiculares
  - Peatonales
  - Especiales

### **Señales Preventivas**

Las señales preventivas, identificadas con la clave SP, son tableros con símbolos y leyendas, que tienen como función dar al usuario un aviso anticipado para prevenirlo de la existencia de un peligro potencial y su naturaleza. La señal por sí misma debe provocar que el conductor adopte medidas de precaución, y llamar su atención hacia una reducción de su velocidad o a efectuar una maniobra con el interés de su propia seguridad o la de otro vehículo o peatón.



**Ilustración 3.2-1** Señales preventivas (SP)

**Fuente:** Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras, DGST, 2013.

Las señales preventivas deberán instalarse siempre que una investigación o estudio de tránsito indique que existe una condición de peligro potencial. Las características que pueden justificar el uso de señales preventivas, son las siguientes:

- Cambios en el alineamiento horizontal y vertical por la presencia de curvas.
- Presencia de intersecciones con carreteras o calles, y pasos a nivel con vías de ferrocarril.
- Reducción o aumento del número de carriles y cambios de anchura del pavimento.
- Pendientes peligrosas.
- Proximidad de un cruce donde existe un semáforo o donde se debe hacer un alto.
- Pasos peatonales y cruces escolares.
- Presencia de derrumbes, grava suelta, etc.
- Aviso anticipado de dispositivos de control para obras en construcción.

### **Señales Restrictivas**

Las señales restrictivas SR, tienen como función expresar en la calle o carretera alguna fase del Reglamento del Tránsito, para su cumplimiento por parte del usuario. En general, tienden a restringir un movimiento del mismo, recordando la existencia de alguna prohibición o limitación reglamentada. Infringir las indicaciones de una señal restrictiva acarreará las sanciones previstas por las autoridades de tránsito. De acuerdo a su uso se clasifican en los siguientes grupos:

- De derecho de paso o de vía.
- De inspección.
- De velocidad.
- De circulación de dirección.
- De mando por restricciones y prohibiciones.
- De estacionamiento.



**Ilustración 3.2-2** Señales restrictivas (SR)

**Fuente:** Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras, DGST, 2013.

### **Señales Informativas**

Las señales informativas SI, tienen como función guiar al usuario a lo largo de su itinerario por calles y carreteras, e informarle sus nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés, servicios, kilometrajes, y ciertas recomendaciones que conviene observar. De acuerdo a la información que proporcionan, se clasifican en:

- De identificación (SII).
- De destino (SID).
- De recomendación (SIR) e información General (SIG).
- De servicios y turísticas (SIST), de servicios (SIS) y turísticas (SIT).



**Ilustración 3.2-3** Señales informativas de servicios y turísticas (SIST)

**Fuente:** Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras, DGST, 2013.



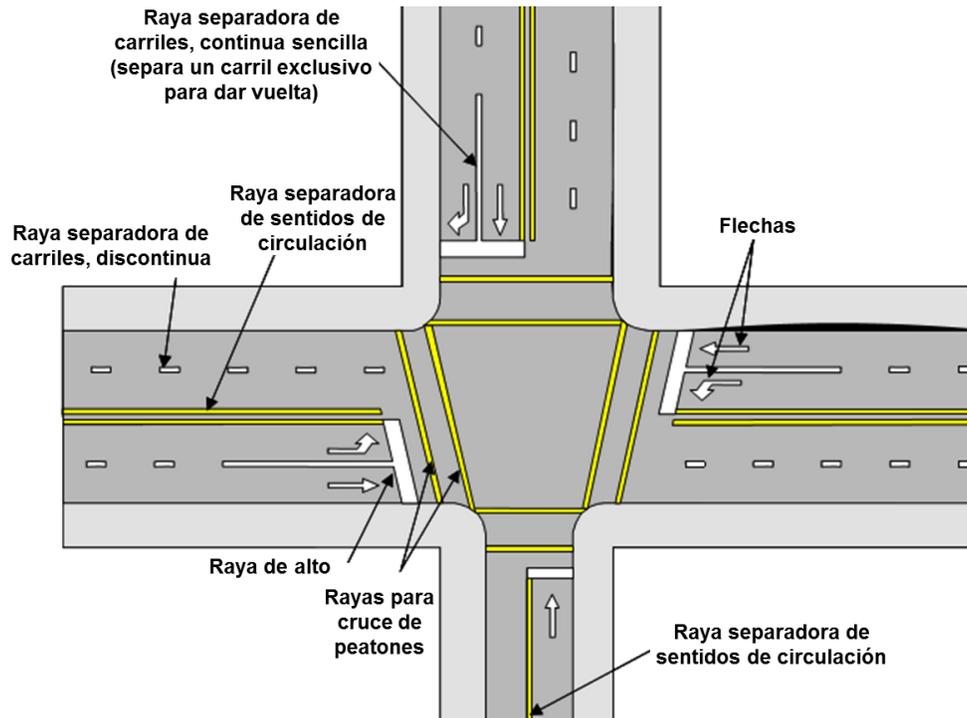
**Ilustración 3.2-4** Señales informativas de destino (SID)

**Fuente:** Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras, DGST, 2013.

**Marcas**

Las marcas M, son indicaciones en forma de rayas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, dentro o adyacentes a las vialidades, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito e indicar la presencia de obstáculos, sin distraer la atención del conductor, como lo son los botones, identificados con el código DH.

Por su uso las marcas pueden estar sobre el pavimento, en las guarniciones para prohibición de estacionamientos, y en obstáculos adyacentes de la superficie de rodamiento. Los colores de las marcas serán blanco o amarillo, y en algunos casos negros sin ser una norma, sirviendo solamente como guía para lograr un contraste en pavimentos claros.



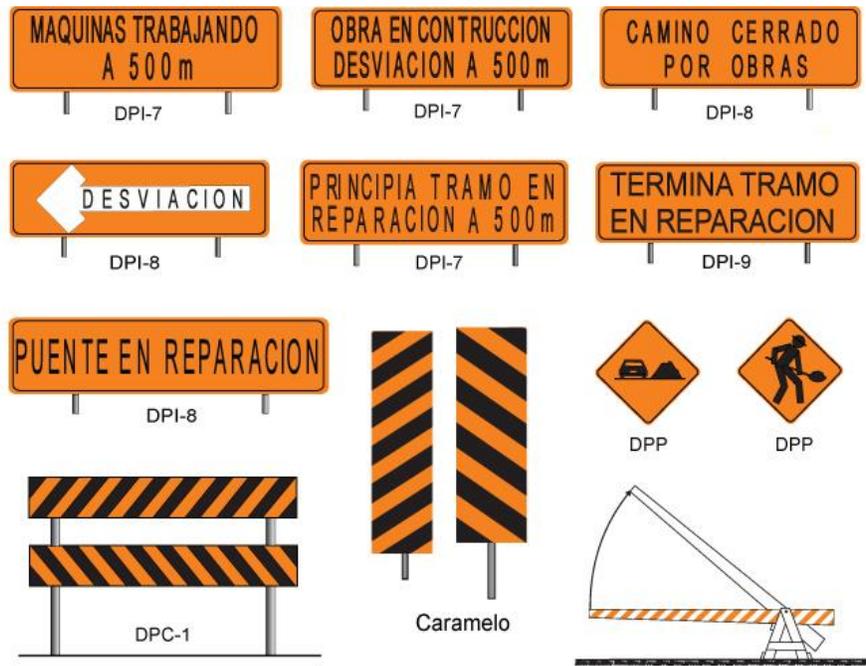
*Ilustración 3.2-5 Marcas sobre el pavimento.*

*Fuente: NOM-034-SCT2-2011, SCT.*

### **Dispositivos para Protección de Obras**

Los dispositivos para protección de obras DP, son las señales y otros medios que se usan transitoriamente para proporcionar seguridad a los usuarios, peatones y trabajadores y guiar al tránsito a través de calles y carreteras en construcción o conservación. Según su propósito y ubicación, el señalamiento para protección de obras se clasifica en:

- Señalamiento horizontal
- Señalamiento vertical
- Dispositivos de canalización



**Ilustración 3.2-6** Dispositivos para protección de obras (DP)

**Fuente:** PROY-NOM-086-SCT2-2004 “Señalamiento y dispositivos para protección en zonas de obras viales”, SCT, 2006.

### E) Medio ambiente

Las características del medio ambiente, es aquel conjunto de condiciones que hacen a su vez, que las características del usuario, del vehículo y del sistema vial, varíen sistemáticamente. Como lo pueden ser el estado del tiempo, la iluminación, la oscuridad, el grado de desarrollo lateral, etc.

Los siguientes elementos básicos del tránsito; vehículo, vialidad y dispositivos de control, debido a su respectiva complejidad, se analizarán separadamente en los siguientes capítulos.

## 3.3 Volumen de Tránsito

Los medios físicos y estáticos del tránsito como las calles, las carreteras, las intersecciones y las terminales, etc., están sujetos a ser solicitados y cargados por volúmenes de tránsito, los cuales poseen características espaciales (ocupan un lugar) y temporales (consumen un tiempo).

Al proyectar una carretera o calle, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen del tránsito, o demanda, que circulará durante un intervalo de tiempo, de su variación, de su tasa de crecimiento, y de su composición. Los errores que se cometan en la determinación de estos datos, ocasionarán que la carretera o calle funcione durante el periodo de proyecto, bien con volúmenes de tránsito muy inferiores a aquellos para los que se proyectó, o mal con problemas de congestión por volúmenes de tránsito altos muy superiores a los proyectados.

### 3.3.1 Tasa de Flujo

La tasa de flujo es la frecuencia a la cual pasan los vehículos (o personas) durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horario equivalente.

### 3.3.2 Demanda Vehicular

La demanda vehicular es la cantidad de vehículos que requieren desplazarse por un determinado sistema u oferta vial que representa la cantidad máxima de vehículos que finalmente pueden desplazarse o circular en dicho espacio físico.

### 3.3.3 Capacidad

Teóricamente la capacidad se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que razonablemente pueden pasar por un punto o sección de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado.

En las fases de planeación, estudio, proyecto y operación de carreteras y calles, la demanda del tránsito presente o futura, se considera como una cantidad conocida. Una medida de la eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda, es su capacidad u oferta.

Como puede observarse, la demanda es una medida del número de vehículos (o personas) que *esperan ser servidos*, distinto que los que *son servidos* (volumen) y de los que *pueden ser servidos* (capacidad).

### 3.3.4 Volúmenes de Tránsito Absolutos o Totales

Es el número total de vehículos que pasan durante un lapso de tiempo determinado. Dependiendo de la duración del lapso de tiempo, se tienen los siguientes volúmenes de tránsito absolutos o totales

#### **Tránsito Anual (TA)**

Es el número total de vehículos que pasan durante un año. En este caso  $T = 1$  año.

#### **Tránsito Mensual (TM)**

Es el número total de vehículos que pasan durante un mes. En este caso  $T = 1$  mes.

#### **Tránsito Semanal (TS)**

Es el número total de vehículos que pasan durante una semana. En este caso  $T = 1$  semana.

#### **Tránsito Diario (TD)**

Es el número total de vehículos que pasan durante un día. En este caso  $T = 1$  día.

#### **Tránsito Horario (TH)**

Es el número total de vehículos que pasan durante una hora. En este caso  $T = 1$  hora.

#### **Tránsito en un periodo inferior a una hora ( $Q_i$ )**

Es el número total de vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora. En este caso  $T < 1$  hora y donde  $i$ , por lo general, representa el periodo en minutos. Así por ejemplo,  $Q_{15}$  es el volumen de tránsito total en 15 minutos.

### 3.3.5 Volúmenes de Tránsito Promedio Diarios

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido por el número de días del periodo. De manera general se expresa como:

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ día} < T \leq 1 \text{ año}}$$

Donde N representa el número de vehículos que pasan durante T días. De acuerdo al número de días del periodo, se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedio diario, dados en vehículos por día.

**Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)**

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

**Tránsito Promedio Diario Mensual (TPDM)**

$$TPDM = \frac{TM}{30}$$

**Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS)**

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

### 3.3.6 Volúmenes de Tránsito Horarios

Con base en la hora seleccionada, se definen los siguientes volúmenes de tránsito horarios, dados en vehículos por hora:

**Volumen Horario Máximo Anual (VHMA)**

Es el máximo volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado. En otras palabras, es la hora de mayor volumen de las 8,760 horas del año.

**Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD)**

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular.

**Volumen Horario – Décimo, Vigésimo, Trigésimo – Anual (10HV, 20 HV, 30 HV)**

Es el volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado, que es excedido por 9, 19 y 29 volúmenes horarios respectivamente. También se le denomina volumen horario de la 10ava, 20ava y 30ava hora de máximo volumen.

**Volumen Horario de Proyecto (VHP)**

Es el volumen de tránsito horario que servirá de base para determinar las características geométricas de la vialidad. Fundamentalmente se proyecta con un volumen horario pronosticado. No se trata de considerar el máximo número de vehículos que se puede presentar dentro de un año, ya que exigiría inversiones demasiado cuantiosas, sino un volumen horario que se pueda presentar un número máximo de veces en el año, previa convención al respecto.

### 3.3.7 Uso de los Volúmenes de Tránsito

Específicamente, dependiendo de la unidad de tiempo en que se expresen los volúmenes de tránsito, éstos se utilizan para:

**Los Volúmenes de Tránsito Anual (TA)**

Determinar los patrones de viaje sobre áreas geográficas. Estimar los gastos esperados de los usuarios de las carreteras. Calcular los índices de accidentes. Indicar las variaciones y tendencias de volúmenes de tránsito, especialmente en carreteras de cuota.

**Los Volúmenes de Tránsito Promedio Diario (TPD)**

Medir la demanda actual en calles y carreteras. Estimar los flujos de tránsito actuales con respecto al sistema vial. Localizar áreas donde se necesite construir nuevas vialidades o mejorar las existentes. Programar mejoras capitales.

**Los Volúmenes de Tránsito Horario (TH)**

Determinar la longitud y magnitud de los periodos de máxima demanda. Evaluar deficiencias de capacidad. Proyectar y rediseñar geoméricamente calles e intersecciones. Establecer controles en el tránsito, como: colocación de señales, semáforos, marcas viales; jerarquización de calles, sentidos de circulación, etc.

**Las tasas de Flujo (q)**

Analizar: los flujos máximos; las variaciones del flujo dentro de las horas de máxima demanda; las limitaciones de capacidad en el flujo de tránsito; y las características de los volúmenes máximos.

**3.3.8 Características de los Volúmenes de Tránsito**

Es fundamental, en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, días de la semana y en los meses del año. Aún más, es también importante conocer las variaciones de los volúmenes de tránsito en función de su distribución por carriles, su distribución direccional y su composición.

**Composición del volumen de tránsito**

En los estudios de volúmenes de tránsito es útil conocer la composición y variación de los distintos tipos de vehículos. La composición vehicular se mide en términos de porcentajes con respecto al volumen total. Por ejemplo, porcentaje de automóviles, porcentaje de autobuses y de camiones. En los países más adelantados, con un mayor grado de motorización, los porcentajes de autobuses y camiones en los volúmenes de tránsito son bajos. En cambio en países con menor grado de desarrollo, como México, el porcentaje de estos vehículos grandes y lentos es mayor. Siempre dependiendo del tipo de carretera, la hora del día y el día de la semana.

**Variación del Volumen de Tránsito en la Hora de Máxima Demanda**

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de máxima demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo periodo máximo. En cualquiera de estos casos, es importante conocer la variación del volumen dentro de las horas de máxima demanda y cuantificar la duración de los flujos máximos, para así realizar la planeación de los controles de tránsito durante el día, tales como prohibición de estacionamientos, prohibición de ciertos movimientos de vuelta y disposición de los tiempos de los semáforos.

**Factor de la Hora de Máxima Demanda**

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que conserve la misma frecuencia de flujo durante toda la hora. Eso significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo mucho mayores a las de la hora misma. Para la hora de máxima demanda, se llama factor de la hora de máxima demanda FHMD, a la relación entre el volumen horario de máxima demanda VHMD, y el volumen  $Q_{m\acute{a}x}$ , que se presenta durante un periodo dado dentro de dicha hora. Matemáticamente de expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{m\acute{a}x})}$$

Donde N es el número de periodos durante la hora de máxima demanda.

Los periodos dentro de la hora de máxima demanda pueden ser de 5, 10 o 15 minutos, utilizándose éste último con mayor frecuencia, en cuyo caso  $N = 4$ .

#### ***Variación Horaria del Volumen de Tránsito***

Las variaciones de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, dependen principalmente del tipo de ruta, según las actividades que prevalezcan en ella, puesto que hay rutas de tipo turístico, agrícola, comercial, etc.

En zonas agrícolas las variaciones dentro de la época de cosecha son extraordinarias; puede ser que a ciertas horas de la noche no haya absolutamente ningún vehículo y, sin embargo, a determinadas horas del día se puede llegar a saturar una carretera de dos carriles. En una carretera tipo turística durante los días entre semana existe un tránsito normal a lo largo de todas las horas, pero los sábados y domingos puede llegar a volúmenes supremamente altos. El día sábado, de las 8 de la mañana las 11 o 12 horas el volumen horario es muy grande, en la tarde baja y ya en la noche es bastante pequeño.

#### ***Variación Diaria del Volumen de Tránsito***

Se han estudiado cuáles son los días de la semana que llevan los volúmenes normales de tránsito. Así para carreteras principales de lunes a viernes son muy estables; los máximos se registran durante el fin de semana, debido a que durante estos días por estas carreteras circula una alta demanda de usuarios de tipo turístico y recreacional. En carreteras secundarias de tipo agrícola, los máximos volúmenes se presentan entre semana. En las calles de la ciudad la variación de los volúmenes de tránsito diario no es muy pronunciada entre semana; están más o menos distribuidos en los días laborales; sin embargo, los más altos volúmenes ocurren el viernes.

Es importante mencionar que se presentan máximos volúmenes de tránsito en aquellos días de eventos especiales como Semana Santa, Navidad, fin de año, competencias deportivas, etc.

#### ***Variación Mensual del Volumen de Tránsito***

Hay meses que las calles y carreteras llevan mayores volúmenes que otros, presentando variaciones notables. Los más altos volúmenes de tránsito se registran en Semana Santa, en las vacaciones escolares y a fin de año por las fiestas y vacaciones navideñas del mes de diciembre. Por esta razón los volúmenes de tránsito promedio diarios que caracterizan cada mes son diferentes, dependiendo también en cierta manera, de la categoría y el tipo de servicio que presten las calles y carreteras. Sin embargo, el patrón de variación de cualquier vialidad no cambia grandemente año con año, a menos que ocurran cambios importantes en su diseño, en los usos de la tierra, o se construyan nuevas carreteras que funcionen como alternas.

### **3.4 Velocidad**

Se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Para un vehículo expresa su relación de movimiento, usualmente expresada en km/h.

Es un factor determinante en cada proyecto y factor definitivo para evaluar las condiciones del flujo del tránsito, de ahí que sea un parámetro de cálculo en la obtención de los elementos geométricos del proyecto. A continuación se muestran las distintas definiciones de velocidad empleadas frecuentemente y aplicadas a diferentes condiciones según sea el caso:

#### **3.4.1 Velocidad Puntual**

La velocidad de punto de un vehículo, es la velocidad ( $V$ ) a su paso por un determinado punto o sección transversal de una carretera o calle.

Las características de velocidades instantáneas/puntuales son usadas en muchas actividades de la Ingeniería de Tránsito, entre las cuales se encuentran:

1. Determinación de las reglamentaciones y equipos adecuados para el control del tránsito:
  - Límites de velocidad máximos y mínimos.
  - Zonas de “no pase”.
  - Rutas, zonas y cruces escolares.
  - Ubicación de semáforos.
  - Ubicación de señalización de tránsito.
2. Estudio de zonas de alta accidentalidad para determinar el tratamiento correctivo apropiado.
3. Análisis de áreas críticas donde los problemas sean evidentes y se hayan recibido quejas.
4. Evaluación de la efectividad de las mejoras de tránsito mediante estudios “antes y después”.
5. Selección de elementos en el diseño geométrico de carreteras.

### 3.4.2 Velocidad de Recorrido

También llamada velocidad global o de viaje, es el resultado de dividir la distancia recorrida, desde el inicio hasta el fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla.

En el tiempo total del recorrido están incluidas todas aquellas demoras operacionales por reducciones de velocidad y paradas provocadas por la vía, el tránsito y los dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor. No incluye aquellas demoras fuera de la vía; gasolineras, restaurantes, lugares de recreación, etc. La velocidad de recorrido sirve principalmente para comparar condiciones de fluidez en ciertas rutas; ya sea una con otra, o bien, para medir los efectos ocasionados por los cambios que se realicen en una misma ruta.

**Velocidad de Marcha:** Es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento.

### 3.4.3 Velocidad de Proyecto

También llamada velocidad de diseño, es la velocidad máxima a la cual pueden circular los vehículos con seguridad sobre una sección específica de una vía. Todos aquellos elementos geométricos del alineamiento horizontal, vertical y transversal, tales como radios mínimos, pendientes máximas, sobreelevaciones (peraltes), anchos de carriles, etc., dependen de la velocidad de proyecto.

## 3.5 Inventario Vial

Gran parte del trabajo del ingeniero civil, de carreteras, de tránsito o de transporte y vías consiste en analizar una problemática específica como etapa preliminar a la planeación, diseño y construcción de cualquier proyecto de infraestructura. Cuando se trata específicamente de la Infraestructura del Transporte, dicho análisis se realiza a partir del estudio del fenómeno del tránsito y de un diagnóstico de las características de los elementos que intervienen en el desarrollo de la actividad del transporte, entre estos, la vía y los dispositivos para el control del tránsito en el área de influencia del sitio objeto de estudio, que afectan directamente el comportamiento del tránsito en las ciudades.

El estudio de los elementos mencionados se realiza mediante la elaboración de inventarios viales, para lo cual el registro de datos y su análisis se convierten en información con un gran valor técnico y en el punto de partida para la posterior realización de estudios de Ingeniería de Tránsito y transporte más detallados, como los estudios de volúmenes de tránsito, maniobras en intersecciones, velocidades de punto, tiempos de recorrido, etc.

La elaboración de un inventario vial depende de la situación específica que se quiera estudiar, siendo los más comunes el *Inventario de Infraestructura vial* e *Inventario de señalización y dispositivos de control*. Sin embargo

para estudios con propósitos distintos podremos encontrar inventarios de estacionamientos, de paraderos, o de rutas de transporte público. En seguida explicaremos en que consiste un Inventario de Infraestructura vial y un Inventario de señalización y dispositivos de control.

### 3.5.1 Inventario de infraestructura vial

El inventario de infraestructura vial se emplea para conocer las condiciones de operabilidad y funcionalidad de una vía, a partir de una descripción detallada de sus condiciones físicas, geométricas y de diseño; la forma más usual de elaborar este inventario es a través de una inspección visual, que consiste en hacer un reconocimiento a lo largo del sector o tramo objeto de estudio, para cuantificar y calificar sus condiciones. La metodología para la inspección visual incluye la descripción completa de tres aspectos fundamentales: 1) Descripción de la vía; 2) Geometría de la vía, y 3) Estado superficial del pavimento y obras complementarias.

**La descripción de la vía** consiste en el registro de sus características generales, tales como: localización, sentido de circulación, límites, tipo de vía (autopista, principal, colector y local) y tipo de pavimento (flexible, tratamiento superficial, rígido y en afirmado o en tierra).

Dentro de los criterios que se deben examinar en la **geometría de la vía** se encuentran los siguientes: longitud del tramo, ancho de la calzada, número de carriles, ancho de bermas, separador y zonas laterales; también se puede analizar la distancia de visibilidad y la longitud disponible para el frenado.

**La evaluación del estado superficial** del pavimento consiste básicamente en identificar las fallas, defectos o daños que presenta, y que provocan un funcionamiento deficiente y una reducción en su vida útil.

La evaluación del estado de las vías urbanas y las carreteras es un aspecto importante por considerar en el análisis de los factores operacionales relacionados con la calidad y el nivel del servicio de su infraestructura. El estado de la infraestructura vial afecta los parámetros macroscópicos de volumen, velocidad y densidad considerados en el estudio del fenómeno del tránsito; esto se explica en que de acuerdo con las características geométricas de la vía, el estado del pavimento y las obras complementarias, los usuarios (conductores y peatones) definirán sus preferencias a la hora de realizar cualquier desplazamiento, lo cual, a su vez, afectará el comportamiento de los flujos vehiculares y peatonales, las velocidades desarrolladas por los vehículos y los resultados de los análisis de los valores obtenidos para los parámetros mencionados.

### 3.5.2 Inventario de señalización y dispositivos de control

En el seguimiento y mantenimiento de vías rurales y urbanas se debe considerar la evaluación de la funcionalidad y suficiencia de la señalización y de los dispositivos utilizados para el control de tránsito, los cuales tienen como principal función proveer movilidad de manera organizada a los usuarios, indicándoles la forma correcta en que deben desplazarse por la vía, evitando conflictos de tránsito como accidentes, embotellamientos y demoras.

Los inventarios de señalización y dispositivos de control permiten evaluar los parámetros de funcionalidad y suficiencia a partir de la clasificación y calificación de la señalización existente en el sitio de estudio, con base en las características topográficas y geométricas de la vía, los tipos de señales, marcas, semáforos y otros dispositivos emplazados en el sitio. De la misma forma, la evaluación y el rediseño de un tipo específico de dispositivo y su localización se fundamentan en los resultados de los inventarios de señalización.

La elaboración de los inventarios de infraestructura vial y de señalización y dispositivos para el control tiene grandes aplicaciones desde el punto de vista del diagnóstico de las características físicas y geométricas y del estado y suficiencia de los componentes de una carretera, una vía urbana, una intersección u otro elemento de infraestructura; estos inventarios son determinantes para establecer y evaluar el nivel de servicio en calles y carreteras, aspecto fundamental en las etapas preliminares, en el diseño y la planeación de cualquier proyecto de infraestructura vial.

### 3.6 Capacidad Vial y Nivel de Servicio

Una corriente de tránsito dentro de un sistema vial funciona aceptablemente bien cuando la *magnitud del flujo*, circulando a una velocidad razonable, es menor que la *capacidad* del sistema. Por otro lado, cuando los valores de los flujos vehiculares están muy próximos a los de la capacidad, el tránsito se torna inestable y la congestión se hace presente.

Para determinar la capacidad de un sistema vial no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también las características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones de operación sujetas a los dispositivos de control y al medio circundante.

Por lo tanto, un estudio de capacidad es al mismo tiempo un estudio cuantitativo y cualitativo, el cual permite evaluar la *suficiencia* (cuantitativo) y la *calidad* (cualitativo) del servicio ofrecido por el sistema (oferta) a los usuarios (demanda).

#### 3.6.1 Concepto de capacidad vial

En las fases de planeación, estudio, proyecto y operación de carreteras y calles, la demanda de tránsito se considera como una cantidad conocida. Una medida de la eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda, es su capacidad u oferta.

La capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que razonablemente pueden pasar por un punto o una sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado. El intervalo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable.

El principal objetivo del análisis de capacidad, es estimar el máximo número de vehículos que un sistema vial puede acomodar con razonable seguridad en un periodo específico. A su vez, mediante los análisis de capacidad, también se estima la cantidad máxima de vehículos que el sistema vial puede acomodar mientras se mantiene una determinada calidad de operación, introduciéndose aquí el concepto de nivel de servicio.

#### 3.6.2 Concepto de nivel de servicio

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos y direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.

El Manual de Capacidad Vial HCM 2000 del TRB<sup>15</sup> ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van desde el mejor hasta el peor, los cuales se definen según que las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua, como se verá más adelante.

#### 3.6.3 Estudios de capacidad y nivel de servicio

Por lo general no se realizan estudios de capacidad para determinar la cantidad máxima de vehículos que puede alojar cierta parte de una carretera; lo que se hace es tratar de determinar el nivel de servicio al que funciona cierto tramo. En determinadas circunstancias se hace el análisis para predecir con qué flujos y a qué plazo se llegará a la capacidad de esa parte del sistema vial.

<sup>15</sup> Highway Capacity Manual 2000, Transportation Research Board.

En función del nivel de servicio estará el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la carretera o calle, al cual se le denomina *flujo de servicio*. Este flujo va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad, hasta que llega al nivel E. Más allá de este nivel se registrarán condiciones más desfavorables; en el nivel F no aumenta el flujo de servicio, sino que disminuye.

Tradicionalmente se ha considerado la velocidad como el principal indicador para identificar el nivel de servicio, sin embargo, métodos modernos introducen otros indicadores; como la *densidad* para casos de circulación continua o la *demora* para casos de circulación discontinua.

Para fines de interpretación uniforme y metodología ordenada, se han establecido los siguientes criterios para los análisis de nivel de servicio:

- El flujo y la capacidad se expresan en vehículos mixtos por hora por cada tramo de la carretera.
- El nivel de servicio de aplica a un tramo significativo de la carretera o calle. Dicho tramo puede variar en sus condiciones de operación debido a variaciones en el flujo o su capacidad. El nivel de servicio del tramo debe tomar en cuenta el efecto general de estas limitaciones.
- Correspondiente a la capacidad, se requiere información del tipo de infraestructura vial, sus características geométricas, la velocidad media de recorrido, la composición del tránsito y las variaciones del flujo. Por lo que toca al nivel de servicio los factores adicionales que se requieren incluyen la densidad, la velocidad media de recorrido, las demoras y la relación flujo a capacidad.
- Por razones prácticas se han fijado valores de densidades, velocidades medias de recorrido, demoras y relaciones de flujo a capacidad; que definen los niveles de servicio para carreteras.
- El criterio utilizado para una identificación práctica de los niveles de servicio de las diversas infraestructuras viales, establece que se deben considerar las medidas de eficiencia<sup>16</sup>; *densidad*, *velocidad* y *% de tiempo de seguimiento*, para carreteras de dos carriles.

### 3.6.4 Carreteras de dos carriles

Una carretera de dos carriles es aquella que tiene un carril disponible para cada carril de circulación. Los rebases a los vehículos lentos se efectúan en el carril del sentido opuesto, siempre y cuando lo permitan las condiciones físicas o geométricas de la carretera (suficiente distancia de visibilidad) y del tránsito (magnitud de los intervalos entre los vehículos del sentido opuesto).

Como los rebases se efectúan en el carril del sentido opuesto, y las oportunidades de lograrlos dependen en gran medida de la magnitud del volumen de tránsito opuesto, la capacidad y los niveles de servicio de las carreteras, en general, se analizan para ambos sentidos.

Las medidas de efectividad que se utilizan para describir la calidad del servicio son la *velocidad media de viaje* y la *demora porcentual en seguimiento*. Este último, es el porcentaje del tiempo total de viaje que los vehículos deben viajar en grupos, detrás (siguiendo) de los vehículos más lentos debido a la incapacidad de realizar maniobras de rebase. Como esta demora es difícil de medir, se considera el porcentaje de vehículos que viajan a intervalos menores a 3 segundos como medida indicativa de la demora porcentual.

#### **Clasificación de las carreteras de dos carriles**

Para determinar el nivel de servicio, las carreteras de dos carriles se clasifican en dos clases para el análisis:

- ❖ **Clase I:** Son aquellas carreteras en donde los conductores esperan viajar a velocidades relativamente altas. Generalmente son rutas interurbanas mayores, arterias primarias que conectan grandes generadores de tráfico, o aquellas que sirven más a menudo a los viajes de larga distancia.
- ❖ **Clase II:** Son aquellas carreteras donde los conductores no necesariamente esperan viajar a velocidades altas. Funcionan como rutas de acceso para carreteras de Clase I, no son arterias primarias y generalmente prestan servicio a viajes relativamente cortos.

<sup>16</sup> Highway Capacity Manual 2000. TRB.

### ***Niveles de Servicio***

Como se mencionó anteriormente, las medidas primarias del nivel de servicio para las carreteras de dos carriles Clase I son la velocidad media de viaje y el porcentaje del tiempo consumido en seguimiento. Para carreteras Clase II, el nivel de servicio se basa únicamente en el porcentaje del tiempo consumido en seguimiento. Las características de los niveles de servicio son:

- **Nivel de servicio A:** Los conductores pueden viajar a la velocidad deseada. La frecuencia de rebase no ha alcanzado el nivel de demanda, esto es, la demanda por rebase está por debajo de la capacidad de rebase, y grupos de tres o más vehículos son raros. Una tasa máxima de flujo de 490 vehículos livianos / hora en ambas direcciones puede lograrse en condiciones base.
- **Nivel de servicio B:** La demanda por rebase es más significativa y se aproxima a la capacidad de rebase en el límite inferior del nivel de servicio. Tasas máximas de flujo de 780 vehículos livianos / hora en ambas direcciones pueden lograrse en condiciones base. Por encima de esta tasa de flujo, el número de grupos vehiculares se incrementa significativamente.
- **Nivel de servicio C:** Describe más incrementos en el flujo, lo que resulta en aumentos notables en la formación de grupos tamaños y frecuencias de zonas de no rebase, disminuyendo significativamente la capacidad de rebase. A pesar de que el flujo vehicular es estable, es susceptible de congestionarse debido a los vehículos que realizan maniobras de vuelta o a la circulación de vehículos lentos. Una tasa de servicio hasta de 1,190 vehículos livianos en ambas direcciones, puede ser acomodada bajo condiciones base.
- **Nivel de servicio D:** Describe flujo vehicular inestable. Las dos corrientes de tránsito opuestas empiezan a operar separadamente a niveles de volúmenes altos, en la medida en que la maniobra de rebase se torna difícil, esto es, cuando la demanda por rebase es alta y la capacidad de rebase se aproxima a cero.
- **Nivel de servicio E:** El rebase es prácticamente imposible a este nivel, y los grupos vehiculares son intensos a medida que se encuentran vehículos lentos u otras interrupciones. El volumen más alto que se puede alcanzar define la capacidad de la carretera, generalmente de 3,200 vehículos livianos/hora en ambas direcciones y de 1,700 vehículos livianos/hora para cada dirección, según la metodología del HCM 2000. Las condiciones de operación a capacidad son inestables y difíciles de predecir. Muy rara vez la operación vehicular en carreteras rurales está cercana a capacidad, principalmente por falta de demanda.
- **Nivel de servicio F:** Representa flujo congestionado con demandas vehiculares que exceden la capacidad. Los volúmenes son menores que la capacidad y las velocidades son muy variables.

### **3.6.5 Análisis, Capacidad y Nivel de Servicio para Carreteras de Dos Carriles (HCM 2000)**

#### ***Niveles de análisis***

El procedimiento básico del HCM 2000, en general, para los diferentes tipos de infraestructuras viales, considera tres niveles de aplicación de la metodología de análisis de capacidad y niveles de servicio:

1. **Análisis operacional:** Es la aplicación que requiere mayor precisión, orientada hacia las condiciones existentes o anticipadas de la infraestructura vial, el tránsito y los dispositivos de control. La aplicación más útil del análisis operacional es cuando se requiere evaluar el efecto de una medida de corto a mediano alcance, o una mejor de bajo costo, tales como: configuraciones para uso de carriles, implementación de dispositivos de control, cambio de la programación de un semáforo, ubicación de paraderos o el aumento del radio de una curva en una carretera, etc.

El análisis produce indicadores operacionales para la comparación de alternativas. Los datos de entrada a los procedimientos metodológicos deben ser detallados con base en mediciones de campo, por lo que el uso de los valores estandarizados o por defecto que se recomiendan es inapropiado.

2. **Análisis de diseño o proyecto:** Este nivel de análisis principalmente se utiliza para establecer las características físicas detalladas que le permitan a un sistema vial nuevo o modificado operar a un nivel de servicio deseado, tal como el C o el D, a mediano y largo plazo. Tales características pueden ser: número básico de carriles requerido, anchos de carril, valores de pendientes longitudinales, longitud de carriles adicionales, anchos de banquetas y cruces peatonales, etc.  
Los datos requeridos son relativamente detallados y están basados en los atributos de diseños propuestos, por lo que la precisión de esta aplicación es intermedia, más aún, si se tiene en cuenta la incertidumbre que existe en el pronóstico de la demanda futura de tránsito. Por esto, el enfoque requiere de ciertos valores por defecto.
3. **Análisis de planeamiento:** Está dirigido hacia estrategias en el largo plazo, cuando se empieza a planear un elemento del sistema vial y no se conocen con exactitud todos los detalles necesarios, especialmente los relativos a la demanda de tránsito, por lo que la aplicación es menos precisa, y se suelen emplear valores por defecto. Los estudios se enfocan a: la posible configuración de un sistema vial, impacto de un desarrollo propuesto, pronóstico de los años futuros en los cuales la operación de un sistema vial caerá por debajo de un nivel de servicio deseado, políticas sistemáticas de gestión del tránsito, etc.

### **Condiciones base**

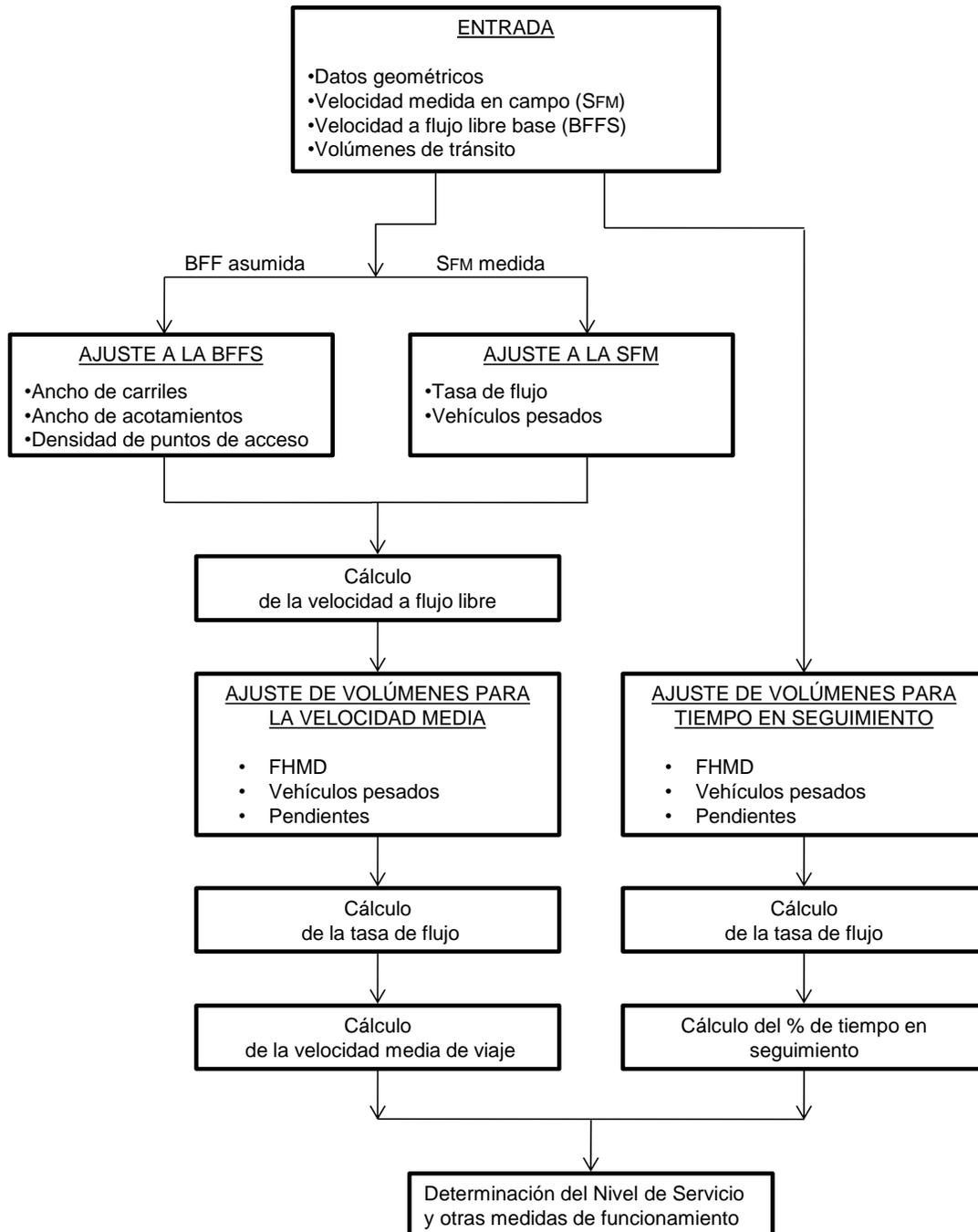
Las condiciones base para carreteras de dos carriles, se definen como aquellas condiciones no restrictivas desde el punto de vista geométrico, del tránsito y del medio ambiente o entorno. Para carreteras rurales de dos carriles, las condiciones base son las siguientes:

- Anchuras de carril igual o mayor de 3.60 metros.
- Acotamientos de anchura igual o mayor de 1.80 metros.
- Inexistencia de tramos con rebase restringido.
- Todos los vehículos en la corriente de tránsito son ligeros.
- Distribución direccional del volumen de tránsito 50/50.
- Ninguna restricción al tránsito directo debido a controles o vehículos que dan vuelta.
- Terreno llano

### **3.6.6 Metodología para el Análisis de Carreteras de Dos Carriles (HCM 2000)**

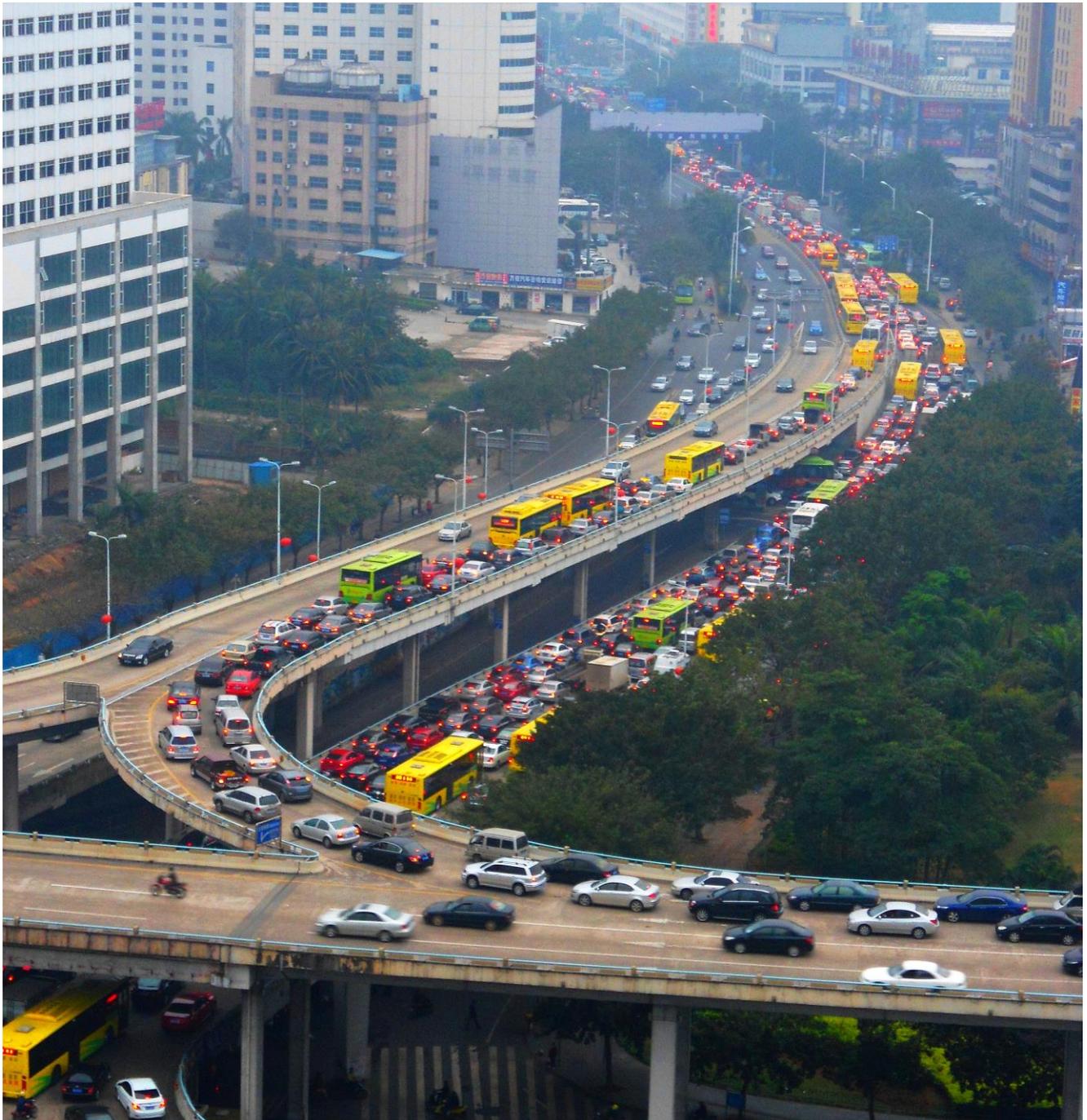
La metodología para el análisis de carreteras de dos carriles de acuerdo al HCM 2000 se ejemplifica a continuación mediante el siguiente esquema:

Esquema 3.6-1 Metodología para el análisis de carreteras de dos carriles



Fuente: Ingeniería de Tránsito (Cal y Mayor R. & Cárdenas G., 2010)

## 4 ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO EN LA C. LA CARTONERA – YECAPIXTLA



## 4.1 Inventario Vial

### 4.1.1 Introducción

Antes de comenzar con cualquier estudio de Ingeniería de Tránsito es importante que el ingeniero civil conozca las condiciones físicas donde se lleva a cabo la actividad del transporte. Es necesario que el ingeniero se encuentre inmerso dentro de las características y la infraestructura que presenta la zona en estudio, a partir de estos reconocimientos podrá plantear y definir que estudios será necesario realizar posteriormente y como los va a efectuar.

Los estudios del Inventario Vial para este proyecto se hicieron por la mañana y hasta el mediodía del martes, 27 de febrero de 2013. Se decidió hacer seis estudios; uno en la propia carretera, tres más en sus principales intersecciones y los dos últimos sobre el Libramiento de Cuautla y el Libramiento Cuautla – Yecapixtla en las zonas donde inicia y termina “La Cartonera” respectivamente.

### 4.1.2 Objetivo del Estudio

Evaluar las condiciones en las que se encuentra la infraestructura de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla* y la de sus principales carreteras adyacentes, así mismo, realizar un diagnóstico de las características de los elementos que intervienen en el tránsito de vehículos como la vía y los dispositivos para el control del tránsito.

### 4.1.3 Libramiento de Cuautla

#### **Descripción General**

El libramiento de la Cd. de Cuautla está ubicado al oriente de la misma, conectando al norte con la carretera “México - Cuautla” y al sur con la carretera “Cuautla – Jantetelco” logrando el fácil desplazamiento entre estas dos vías y comunicando los dos extremos de la ciudad. Tiene una longitud aproximada de 6.7 Km.

La pista de rodamiento es de concreto flexible que se encuentra en muy buenas condiciones a lo largo de toda la vialidad, permite el libre flujo de los vehículos y disminuye así los riesgos de accidentes.



**Ilustración 4.1-1** Condiciones de la carpeta de rodamiento del Libramiento de Cuautla

**Fuente:** Elaboración propia, Google Maps 2013.

#### **Características Geométricas**

Este libramiento es una carretera tipo A4S con cuerpos separados. Cada cuerpo cuenta con 9.5 m de ancho de corona; aloja 2 carriles de circulación de 3.5 m de ancho con acotamiento de 2 m y 0.50 m de separación respecto a la barrera de protección izquierda.

El cuerpo que circula hacia el norte justo en la zona de la intersección con la carretera La Cartonera reduce su ancho de acotamiento a 1.5 m, y cien metros más delante de la intersección inicia una curva a la izquierda en terraplén donde desaparece dicho acotamiento.



*Ilustración 4.1-2 Características geométricas del Libramiento de Cuautla*

*Fuente: Google Maps, 2013.*

### **Señalamientos y Dispositivos de Control**

Esta carretera cuenta con los dispositivos de control necesarios que permiten tener un tránsito adecuado y seguro sobre la vialidad. A continuación se muestran algunas fotografías de los señalamientos preventivos, restrictivos, informativos y las marcas sobre el pavimento que se encuentran sobre la carreta.



*Ilustración 4.1-3 Marcas y señalamientos sobre el Libramiento de Cuautla*

*Fuente: Google Maps 2013.*

## **4.1.4 Libramiento Cuautla - Yecapixtla**

### **Descripción General**

El libramiento Cuautla – Yecapixtla enlaza estas dos localidades, comienza al norte del municipio de Cuautla sobre su propio libramiento y finaliza en la intersección con la carretera Yecapixtla – Ocuituco pasando al sur del municipio de Yecapixtla, zona en la cual se interseca con la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*.

En sus 9.2 km de longitud esta vialidad tiene una pista de rodamiento de asfalto, en condiciones regulares. En algunos tramos encontramos la presencia de grietas longitudinales como transversales y la aparición de “baches” que merman el libre tránsito de los automóviles. Se puede ver que esta vía no ha recibido el mantenimiento necesario para tenerla en óptimas condiciones.



**Ilustración 4.1-4** Condiciones de la carpeta de rodamiento del Libramiento de Cautla – Yecapixtla

**Fuente:** Elaboración propia, Google Maps, 2013.

### **Características Geométricas**

El libramiento de Yecapixtla es una carretera tipo D, con ancho de corona de 6 m y 2 carriles de circulación de 3.0 m cada uno sin acotamientos.



**Ilustración 4.1-5** Características geométricas del Libramiento de Cautla – Yecapixtla

**Fuente:** Google Maps 2013.

### **Señalamientos y Dispositivos de Control**

Esta carretera carece de los suficientes dispositivos de control que permitan regular el tránsito de forma adecuada. A continuación se muestran las fotografías de los señalamientos: preventivos, restrictivos, informativos y marcas sobre el pavimento que se encuentran sobre la carretera





**Ilustración 4.1-6** Marcas y señalamientos sobre el Libramiento de Cuautla – Yecapixtla

**Fuente:** Elaboración propia y Google Maps 2013.

Como se puede ver en las imágenes algunos señalamientos necesitan mantenimiento y las marcas sobre el pavimento casi no son visibles.

#### 4.1.5 Carretera La Cartonera - Yecapixtla

##### **Descripción General**

Esta carretera enlaza directamente Cuautla con el centro del municipio de Yecapixtla. La zona de estudio que nos interesa comienza a partir del libramiento de Cuautla y termina en la intersección con el Libramiento Cuautla – Yecapixtla al sur de esta localidad, con una longitud total de 9.64 Km.

Es importante señalar que en los primeros 300 m a partir del libramiento de Cuautla la carretera se encuentra en una zona conurbada, lo que restringirá su posible ampliación en esta longitud.



**Ilustración 4.1-7** Carretera La Cartonera – Yecapixtla y sus principales vialidades adyacentes

**Fuente:** Elaboración propia

La pista de rodaje es de pavimento asfáltico, en sus casi 10 km existen diversos tramos muy deteriorados donde podemos encontrar baches de grandes tamaños y grietas tanto longitudinales como transversales en el asfalto. El tramo de Cuautla a la Intersección con la carretera a Huexca resultó tener las características más desfavorables, y, en general las condiciones no son las óptimas para tener un viaje seguro.



**Ilustración 4.1-8** Condiciones de la carpeta de rodamiento de la carretera La Cartonera – Yecapixtla

**Fuente:** Google Maps 2013.

### **Características Geométricas**

Ésta es una carretera tipo D, con ancho de corona de 6 m y 2 carriles de circulación de 3.0 m de ancho sin acotamientos.



**Ilustración 4.1-9** Características geométricas de la carretera La Cartonera – Yecapixtla

**Fuente:** Google Maps 2013.

### **Señalamientos y Dispositivos de Control**

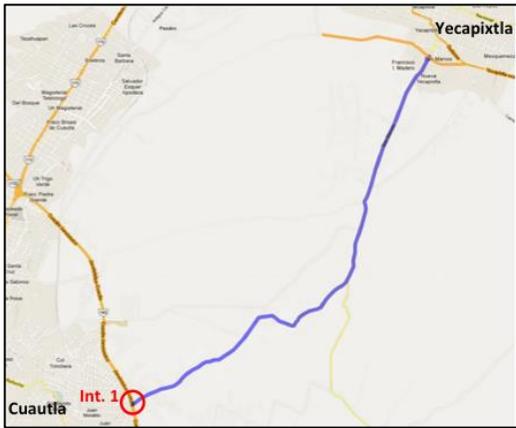
Esta ruta no cuenta con todas las señales y dispositivos de control necesarios para regular adecuadamente el tránsito de los vehículos. Las marcas sobre el pavimento se han desvanecido y las señales en algunos casos se encuentran en mal estado y deben ser remplazadas.

#### **4.1.6 Intersección 1. Libramiento Cuautla – C. La Cartonera- Yecapixtla**

##### **Descripción General**

Esta intersección conecta el Libramiento de Cuautla, vialidad principal en este caso, con el inicio de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*. Ambas vialidades tienen una superficie de rodamiento de concreto flexible.

Sólo es posible ingresar a *La Cartonera* por el Libramiento de Cuautla en la dirección de viaje sur a norte. Los automóviles tipo A no tienen mayor problema cuando quieren ingresar a la carretera, en cambio, se crea un conflicto cuando los vehículos tipo B, C y TS quieren integrarse ya que invaden el carril contrario cuando realizan sus maniobras de ingreso. En general es una intersección peligrosa.



**Ilustración 4.1-10** Intersección del Libramiento de Cuautla con la carretera “La Cartonera”

**Fuente:** Elaboración propia, Google Maps 2013.

### **Características Geométricas**

Esta es una intersección a nivel tipo T, la cual no cuenta con carriles de aceleración y desaceleración bien definidos y con la longitud necesaria para hacer maniobras seguras de entrada y salida a *La Cartonera*.

### **Señalamientos y Dispositivos de Control**

En la intersección sólo podremos encontrar tres señalamientos, todos informativos. Sobre “La Cartonera-Yecapixtla” una señal I. de destino y sobre el Libramiento de Cuautla una señal I. de destino y una más I. de servicios. Es importante mencionar que en toda la intersección no existen marcas en el pavimento.



**Ilustración 4.1-11** Señalamientos en la Intersección del Libramiento de Cuautla con la “La Cartonera”

**Fuente:** Google Maps 2013.

## **4.1.7 Intersección 2. C. La Cartonera - Yecapixtla – Carretera a Huexca**

### **Descripción General**

Esta intersección está formada por la Carretera a Huexca y “La Cartonera- Yecapixtla”, ubicada en el kilómetro 4+700 de ésta última. Ambas carreteras tienen una superficie de rodamiento de asfalto.

El flujo vehicular en esta intersección es muy pequeño por lo tanto no existen mayores inconvenientes al realizar los distintos movimientos que presenta la intersección. El movimiento de ingreso a la c. a Huexca de Cuautla hacia Yecapixtla es el más crítico, sin embargo es el viaje menos común, por no decir nulo.



**Ilustración 4.1-12** Intersección de la carretera La Cartonera Yecapixtla con la carretera a Huexca

**Fuente:** Elaboración propia, Google Maps 2013.

### **Características Geométricas**

Esta es una intersección tipo Y, formada por la carretera a Huexca y “La Cartonera” ambas son carreteras tipo D con 6 metros de ancho y dos carriles de circulación.

### **Señalamientos y Dispositivos de Control**

Esta intersección sí está señalizada, verticalmente podremos encontrar señalamientos informativos de destino decisivos y confirmativos, así como un señalamiento preventivo (SP-14) que indica la incorporación de otra carretera. Es necesaria la incorporación de señalamientos informativos de destino *previos* así como el mantenimiento a algunas de las señales actuales.

Es importante mencionar que no existe ningún tipo de señalamiento horizontal ni marcas sobre el pavimento que indiquen la intersección, sobre todo en el caso de la carretera a Huexca.



**Ilustración 4.1-13** Señalamientos en la intersección de la carretera La Cartonera - Yecapixtla con la carretera a Huexca

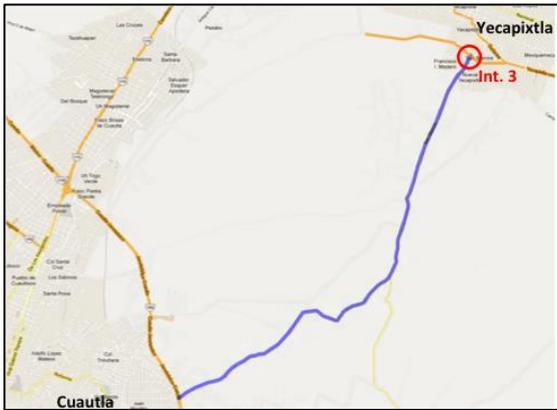
**Fuente:** Elaboración propia.

## **4.1.8 Intersección 3. C “La Cartonera” – Libramiento Yecapixtla**

### **Descripción General**

Esta es una intersección tipo cruz entre la carretera *La Cartonera - Yecapixtla* y el Libramiento de Yecapixtla, ambas tienen una superficie de rodadura de concreto flexible. En toda la carretera esta es la intersección más compleja ya que es aquí donde el mayor flujo vehicular se presenta, además de que se manejan un total de 12 movimientos.

En esta intersección se presentan muchos conflictos ya que no hay espacio para realizar las maniobras de todos los movimientos. El mayor de los problemas se presenta cuando los camiones intentan entrar o salir de “La Cartonera”, sus radios de giro obligan a que estos vehículos invadan ambos carriles de la carretera lo que ocasiona que este cruce sea muy peligroso. Es importante mencionar que cercana a esta intersección se encuentra la Zona Industrial de Yecapixtla por lo que existe un gran flujo de camiones y tráileres.



**Ilustración 4.1-14** Intersección del libramiento Cuautla – Yecapixtla con la carretera “La Cartonera”

**Fuente:** Google Maps 2013.

**Características Geométricas**

Esta es una intersección a nivel tipo cruz entre las carreteras mencionadas anteriormente, ambas son tipo D con ancho de corona de 6 metros y dos carriles de circulación por sentido, sin acotamientos.

Este cruce no tiene las condiciones geométricas que aseguren seguridad de operación en el mismo, al no tener acotamientos ni carriles de aceleración y desaceleración; en cada uno de los giros se presentan demasiadas demoras e incluso invasión de carriles como se explicó anteriormente. Debido a estas circunstancias es necesario proponer una solución vial a esta situación, ya sea ampliando los carriles en esta zona, agregando carriles de aceleración o desaceleración o incluso evaluar la posibilidad de construir gasas en el cruce.

**Señalamientos y Dispositivos de Control**

Las señales en esta intersección son escasas entendiendo al tipo de cruce analizado. El señalamiento necesita mantenimiento y en algunos casos es necesario sustituirlo, además, existen señales que no tienen la mejor posición en cuanto a sus condiciones de visibilidad. Por otra parte el señalamiento horizontal es prácticamente nulo y las marcas sobre el pavimento para pasos peatonales no existen.

Por los motivos descritos es necesario para esta intersección realizar un proyecto de señalamiento ya que hacen falta marcas en el pavimento y señales informativas de destino previas, decisivas y confirmativas.





**Ilustración 4.1-15** Señalamientos en la Intersección del libramiento Cuautla – Yecapixtla con la carretera “La Cartonera”

**Fuente:** Elaboración propia, Google Maps 2013.

## 4.2 Volúmenes de Tránsito

### 4.2.1 Introducción

La determinación de los volúmenes vehiculares forma parte de la información básica para el estudio y análisis de las condiciones del tránsito en corredores viales. Por esta razón su cuantificación constituye una de las principales medidas en cualquier estudio de tránsito y transporte.

Para llevar a cabo la realización de los censos volumétricos y de clasificación es necesario emplazar las estaciones censales. Si buscamos mayor representación de la información los aforos se deben realizar en días típicos de la semana, ya sea martes, miércoles o jueves. Sin embargo, es importante tener en cuenta que para ciertos estudios podría ser más importante la información de otros días de la semana.

### 4.2.2 Objetivo del estudio

Mediante este estudio buscamos obtener la hora pico y el volumen horario de máxima demanda que se presentan en las intersecciones de inicio y término de la carretera *La Cartonera – Yecapixtla*. Además, con esta información, planearemos los estudios de volúmenes de tránsito direccionales en la hora de máxima demanda que nos presente la carretera.

### 4.2.3 Metodología

De acuerdo con la magnitud y tipo de proyecto y el equipo disponible para el estudio, se puede utilizar uno de los siguientes métodos de conteo: el mecánico (registro automático) y el manual.

**Conteos Automáticos:** los conteos automáticos son utilizados sobre todo para conteos de tipo continuo (permanentes), los cuales sirven para determinar las fluctuaciones vehiculares semanales, mensuales y anuales. Los dispositivos empleados para determinar los volúmenes de tránsito pueden ser:

- ✓ De presión: mediante mangueras que se colocan sobre el pavimento y cuentan ejes de vehículos.
- ✓ Electromagnéticos: como los lazos inductivos. El auto genera un campo magnético el cual es detectado y envía la señal correspondiente por medio de los lazos colocados en la vía.
- ✓ Electrónicos: mediante dispositivos como cámaras de video, las cuales sirven para aplicar el método de placas, entre otros.

Las estaciones que funcionan los 365 días del año, en forma continua, durante las 24 horas del día, proporcionan los valores horarios del tránsito. Con los datos aportados se pueden determinar los valores del T.D.P.A. (Tránsito Diario Promedio Anual).

**Conteo Manual:** son empleados principalmente para aforos en intersecciones y aforos direccionales en tiempos de conteo corto. Éstos nos permiten determinar las horas de máxima demanda, obtener la clasificación vehicular y las distribuciones direccionales así como identificar la dirección de recorrido.

La información de campo se registra en periodos de 15 minutos, clasificándolos de acuerdo con el tipo de movimiento y el tipo de vehículo (auto, autobús, camión, motocicleta, y de tracción animal si fuera el caso) a medida que van fluyendo por el punto de referencia.

### 4.2.4 Recolección de Datos Viales

La información de los volúmenes de tránsito es de gran utilidad para la planeación del transporte, diseño vial, operación de tránsito y también para fines educativos de investigación, en nuestro caso la finalidad de la recolección de información será para diseño vial y operación del tránsito. Para tener un panorama más acertado relativo a los estudios a realizar nos apoyamos con la información de Datos Viales que publica la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la SCT, trabajo del cual se obtuvieron los datos que se mostrarán a continuación.

En las siguientes tablas se pueden observar los aforos vehiculares de las carreteras que rodean a *La Cartonera - Yecapixtla*. Esto nos da una idea del flujo vehicular que se tiene en la zona. Como es de esperarse la mayor cantidad de flujo vehicular se localiza sobre el Libramiento de Cuautla.

**Tabla 4.2-1 Datos Viales 2013**

5 CARR : Libramiento Cuautla				CLAVE : 17309										RUTA: MEX-160				AÑO: 2012		
LUGAR	ESTACIÓN				CLASIFICACIÓN VEHICULAR EN POR CIENTO															
	KM	TE	SC	TDPA	M	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS	A	B	C	K'	D		
T.C. Santa Bárbara - Izúcar de Matamoros	0.00	3	1	15,495	1.1	86.3	2.7	5.9	1.3	1.2	0.8	0.6	0.1	87.4	2.7	9.9	0.083	0.508		
T.C. Santa Bárbara - Izúcar de Matamoros	0.00	3	2	15,014	0.8	84.8	3.1	6.9	1.5	1.3	0.8	0.7	0.1	85.6	3.1	11.3	0.085	0.508		
T.C. Santa Bárbara - Izúcar de Matamoros	4.00																			

10 CARR : Santa Bárbara - Izúcar de Matamoros				CLAVE : 00451										RUTA: MEX-115-160				AÑO: 2012		
LUGAR	ESTACIÓN				CLASIFICACIÓN VEHICULAR EN POR CIENTO															
	KM	TE	SC	TDPA	M	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS	A	B	C	K'	D		
T. Der. Atlatlahucan	58.95	1	0	10,449	0.7	78.1	3.5	5.6	3.1	5.5	1.5	1.1	0.9	78.8	3.5	17.7	0.077	0.506		
T. Izq. Tetela del Volcán	62.99	1	0	15,431	1.5	88.5	1.9	3.2	1.0	1.4	1.4	0.6	0.5	90.0	1.9	8.1	0.081	0.239		
T. Izq. Libramiento de Cuautla (1° Acceso)	67.00	1	1	12,856	1.8	88.7	1.7	4.8	0.8	1.1	0.6	0.4	0.1	90.5	1.7	7.8	0.085	0.522		
T. Izq. Libramiento de Cuautla (1° Acceso)	67.00	1	2	12,940	2	87.2	2.0	5.4	1.0	1.3	0.6	0.4	0.1	89.2	2	8.8	0.1	0.522		

32 CARR : Ramal a Tetela del Volcán				CLAVE : 17010										RUTA: MOR - 010				AÑO: 2012		
LUGAR	ESTACIÓN				CLASIFICACIÓN VEHICULAR EN POR CIENTO															
	KM	TE	SC	TDPA	M	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS	A	B	C	K'	D		
T.C. Santa Bárbara - Izúcar de Matamoros	0.00	3	1	5,884	3.0	88.6	2.2	4.6	0.5	0.7	0.3	0.0	0.1	91.6	2.2	6.2	0.093	0.504		
T.C. Santa Bárbara - Izúcar de Matamoros	0.00	3	2	5,800	2.7	88.1	2.4	5.2	0.5	0.7	0.3	0.0	0.1	90.8	2.4	6.8	0.085	0.504		
Yecapixtla	5.50	3	0	5,072	1.7	88.0	1.3	3.3	1.2	2.2	1.1	0.2	1.0	89.7	1.3	9.0	0.066	0.504		
Ocuituco	15.00	1	0	4,548	2.4	84.8	2.2	5.2	0.2	3.5	0.8	0.2	0.7	87.2	2.2	10.6	0.091	0.503		
Tetela del Volcán	22.00	1	0	3,880	2.3	85.1	2.5	5.4	0.5	2.7	0.6	0.4	0.5	87.4	2.5	10.1	0.076	0.502		

**Fuente:** Datos Viales 2013. D.G.S.T., S.C.T.

La notación que se presenta en las tablas anteriores se describe a continuación:

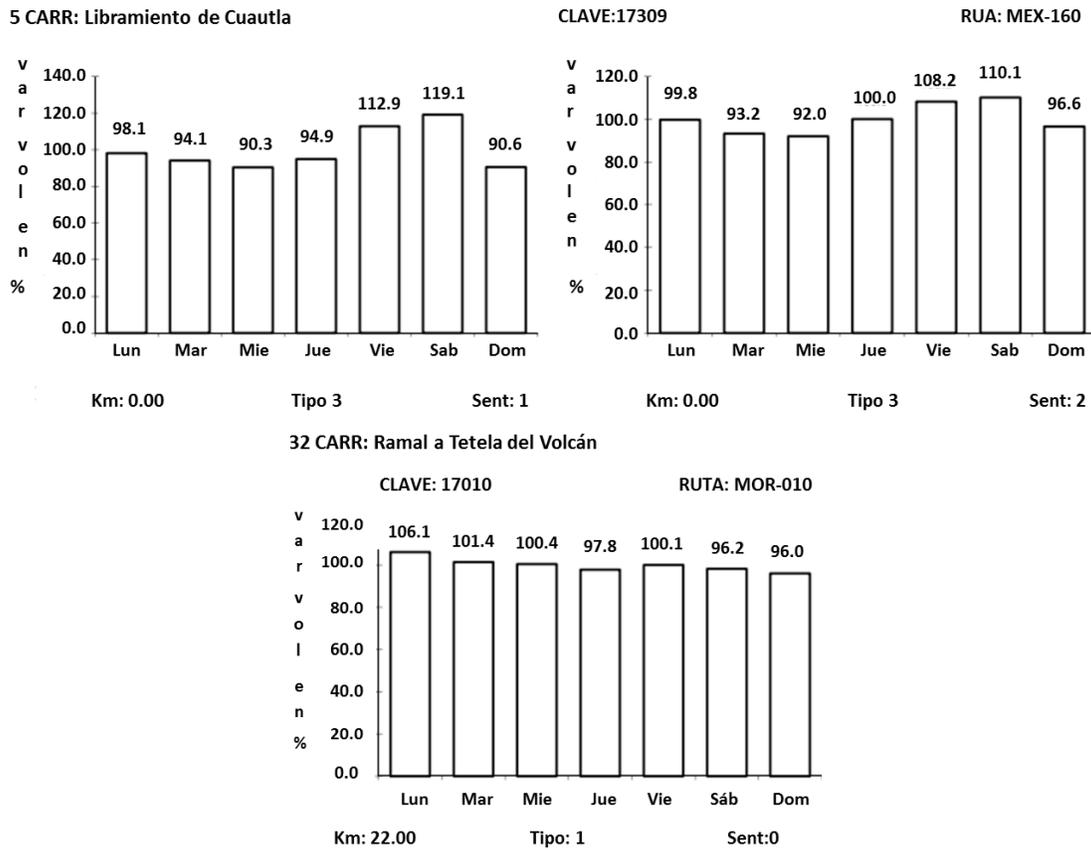
**TE (Tipo de Estación).**- Considerando el sentido en que crece el kilometraje de la carretera, el número “1” indica que el aforo fue efectuado antes del punto generador, el “2” que fue realizado en el punto generador y el “3” que el aforo se llevó a cabo después del punto generador.

**SC (Sentido de Circulación).**- El número “1” indica que los datos corresponden al sentido de circulación en que crece el cadenamamiento del camino, el “2” al sentido en que decrece el kilometraje y el “0” a ambos sentidos.

**K'.**- Este factor es útil para determinar el volumen horario de proyecto, el dato que se proporciona es aproximado y se obtuvo a partir de relacionar los volúmenes horarios más altos registrados en la muestra de aforo semanal y el tránsito diario promedio anual.

**D (Factor Direccional).**- Este factor se obtuvo de dividir el volumen de tránsito horario en el sentido de circulación más cargado entre el volumen en ambos sentidos a la misma hora.

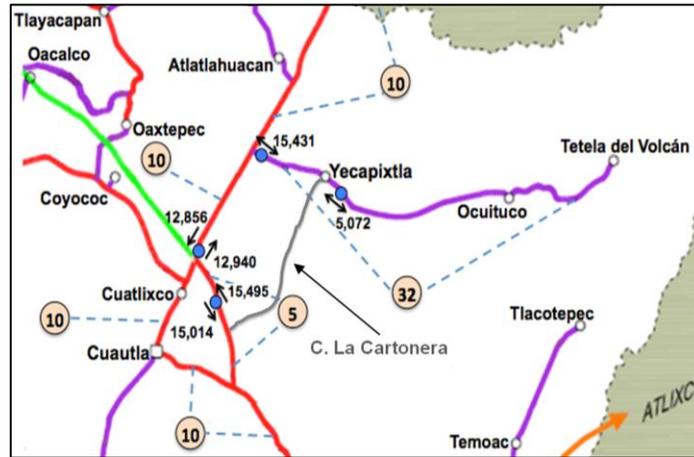
Como sabemos el comportamiento del tránsito no es constante, al contrario, diverge de acuerdo al día. Completando los registros anteriores, las mismas estaciones censales nos proporcionan la distribución que tienen los aforos a lo largo de los diferentes días de la semana. Esta información complementaria se presenta en forma de gráficas que muestran la variación del tránsito y también es publicada en el libro “Datos Viales 2013” que emite la D.G.S.T.



**Gráficas 4.2-1** Variación diaria del volumen de tránsito en porcentaje.

**Fuente:** Datos Viales 2013. D.G.S.T., S.C.T.

Es importante mencionar que sólo se muestran las gráficas de variación diaria de la carretera 5: Libramiento de Cuautla y carretera 32: Ramal a Tetela del Volcán, ya que éstas son las que tienen mayor incidencia sobre la carretera “La Cartonera”. Para ejemplificar lo dicho en seguida se muestra una ilustración con los datos del T.D.P.A más representativos en la zona en estudio.



**Ilustración 4.2-1** Ubicación e información de los datos viales recabados.

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.2.5 Aforos Vehiculares

Los datos acerca de los volúmenes de tránsito, son utilizados en distintas áreas de la actividad vial, ya sea para la planificación, el diseño (geométrico y/o estructural) de los caminos, para el dictado de las normas de circulación, etc. Para efectos de este estudio se decidió hacer aforos manuales en el inicio y final de la carretera “La Cartonera”, con el objetivo de determinar las Horas de Máxima Demanda en la carretera. El lugar donde se realizaron ambos se muestran en la siguiente imagen:

1. Aforo vehicular 1: Cruce de la C. “La Cartonera” y el Libramiento de Cuautla.
2. Aforo vehicular 2: Cruce de la C. “La Cartonera” y el Libramiento Cuautla - Yecapixtla.



**Ilustración 4.2-2** Ubicación de los aforos vehiculares realizados

*Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo a la experiencia que se tiene sobre los posibles momentos en el día en los cuales se presentan las horas pico; se decidió realizar los aforos en tres bloques distintos: de las 06:00 a las 10:00 horas el primer bloque, el siguiente de las 12:00 a las 16:00 horas y por último de las 18:00 a las 21:00 horas; todos el día martes 19 de febrero de 2013.

Es importante mencionar que se aforaron sólo los autos que entraron y salieron de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*, en periodos de 15 minutos y sin hacer una clasificación vehicular de los mismos. El resumen de la información recabada se presenta a continuación:

**Aforo Vehicular en el Crucero de La Cartonera - Yecapixtla y El Libramiento de Cuautla****Tabla 4.2-2** Volúmenes obtenidos en el aforo vehicular del cruce: "La Cartonera" y el L. de Cuautla

Aforo de 06:00 a 10:00 horas			Aforo de 12:00 a 16:00 horas			Aforo de 18:00 a 21:00 horas		
Hora	# de autos		Hora	# de autos		Hora	# de autos	
6:00 - 6:15	19		12:00 - 12:15	54		18:00 - 18:15	99	
6:15 - 6:30	25		12:15 - 12:30	52		18:15 - 18:30	84	
6:30 - 6:45	54		12:30 - 12:45	55		18:30 - 18:45	78	
6:45 - 7:00	50		12:45 - 13:00	62		18:45 - 19:00	63	
7:00 - 7:15	78		13:00 - 13:15	69		19:00 - 19:15	52	
7:15 - 7:30	84		13:15 - 13:30	84		19:15 - 19:30	46	
7:30 - 7:45	124		13:30 - 13:45	75		19:30 - 19:45	47	
7:45 - 8:00	100		13:45 - 14:00	64		19:45 - 20:00	39	
8:00 - 8:15	70		14:00 - 14:15	67		20:00 - 20:15	45	
8:15 - 8:30	89		14:15 - 14:30	67		20:15 - 20:30	41	
8:30 - 8:45	89		14:30 - 14:45	67		20:30 - 20:45	38	
8:45 - 9:00	76		14:45 - 15:00	65		20:45 - 21:00	43	
9:00 - 9:15	74		15:00 - 15:15	62			$\Sigma = 675$	
9:15 - 9:30	53		15:15 - 15:30	66				
9:30 - 9:45	51		15:30 - 15:45	58				
9:45 - 10:00	44		15:45 - 16:00	54				
	$\Sigma = 1080$			$\Sigma = 1021$				

*Fuente: Elaboración propia.*

Como podemos observar en el primer aforo se contabilizaron 1,080 vehículos, 1021 vehículos en el segundo y por último 625 automóviles; en total en las 11 horas netas de aforo se presentó un volumen de tránsito de 2,776 vehículos.

**Aforo Vehicular en el Crucero de "La Cartonera-Yecapixtla" y El Libramiento de Cuautla - Yecapixtla****Tabla 4.2-3** Volúmenes obtenidos en el aforo vehicular del cruce: "La Cartonera" y L. de Cuautla - Yecapixtla

Aforo de 06:00 a 10:00 horas			Aforo de 12:00 a 16:00 horas			Aforo de 18:00 a 21:00 horas		
Hora	# de autos		Hora	# de autos		Hora	# de autos	
6:00 - 6:15	42		12:00 - 12:15	71		18:00 - 18:15	49	
6:15 - 6:30	62		12:15 - 12:30	56		18:15 - 18:30	47	
6:30 - 6:45	143		12:30 - 12:45	54		18:30 - 18:45	67	
6:45 - 7:00	134		12:45 - 13:00	47		18:45 - 19:00	45	
7:00 - 7:15	97		13:00 - 13:15	72		19:00 - 19:15	38	
7:15 - 7:30	119		13:15 - 13:30	69		19:15 - 19:30	73	
7:30 - 7:45	168		13:30 - 13:45	52		19:30 - 19:45	112	
7:45 - 8:00	148		13:45 - 14:00	72		19:45 - 20:00	94	
8:00 - 8:15	69		14:00 - 14:15	87		20:00 - 20:15	49	
8:15 - 8:30	91		14:15 - 14:30	71		20:15 - 20:30	52	
8:30 - 8:45	71		14:30 - 14:45	98		20:30 - 20:45	50	
8:45 - 9:00	76		14:45 - 15:00	78		20:45 - 21:00	48	
9:00 - 9:15	51		15:00 - 15:15	69			$\Sigma = 724$	
9:15 - 9:30	69		15:15 - 15:30	65				
9:30 - 9:45	49		15:30 - 15:45	74				
9:45 - 10:00	52		15:45 - 16:00	58				
	$\Sigma = 1441$			$\Sigma = 1093$				

*Fuente: Elaboración propia.*

Analizando la información arrojada por ambos aforos podemos apreciar claramente que ingresan y salen más autos en la intersección norte, en total 3,258 vehículos, que en la intersección sur; 2,776. Esta situación se

presenta debido a que al norte de la carretera “La Cartonera” se encuentra el Parque Industrial y el IMSS, por lo tanto es una zona que genera más viajes. Esta situación se describirá con mayor detalle en el capítulo 4.3 *Volúmenes de Tránsito Direccionales*.

#### 4.2.6 Determinación del Volumen Horario de Máxima Demanda

Con los datos obtenidos del aforo vehicular es posible determinar el *VHMD* del mismo día. El Volumen Horario de Máxima Demanda se presenta en aquella hora en la cual se aforó la mayor cantidad de autos, éste se obtiene sumando el flujo registrado de cuatro periodos consecutivos de 15 minutos.

#### Crucero La Cartonera – Yecapixtla y Libramiento de Cuautla

**Tabla 4.2-4** Determinación del VHMD del crucero: “La Cartonera” y el L. de Cuautla

Aforo de 06:00 a 10:00 horas			Aforo de 12:00 a 16:00 horas			Aforo de 18:00 a 21:00 horas		
Hora	# de autos	D. Hora Pico	Hora	# de autos	D. Hora Pico	Hora	# de autos	D. Hora Pico
6:00 - 6:15	19	-	12:00 - 12:15	54	-	18:00 - 18:15	99	-
6:15 - 6:30	25		12:15 - 12:30	52		18:15 - 18:30	84	
6:30 - 6:45	54		12:30 - 12:45	55		18:30 - 18:45	78	
6:45 - 7:00	50	148	12:45 - 13:00	62	223	18:45 - 19:00	63	324
7:00 - 7:15	78	207	13:00 - 13:15	69	238	19:00 - 19:15	52	277
7:15 - 7:30	84	266	13:15 - 13:30	84	270	19:15 - 19:30	46	239
7:30 - 7:45	124	336	13:30 - 13:45	75	290	19:30 - 19:45	47	208
7:45 - 8:00	100	386	13:45 - 14:00	64	292	19:45 - 20:00	39	184
8:00 - 8:15	70	378	14:00 - 14:15	67	290	20:00 - 20:15	45	177
8:15 - 8:30	89	383	14:15 - 14:30	67	273	20:15 - 20:30	41	172
8:30 - 8:45	89	348	14:30 - 14:45	67	265	20:30 - 20:45	38	163
8:45 - 9:00	76	324	14:45 - 15:00	65	266	20:45 - 21:00	43	167
9:00 - 9:15	74	328	15:00 - 15:15	62	261			
9:15 - 9:30	53	292	15:15 - 15:30	66	260			
9:30 - 9:45	51	254	15:30 - 15:45	58	251			
9:45 - 10:00	44	222	15:45 - 16:00	54	240			

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 4.2-4 podemos observar que el Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD) es de 386 automóviles y se presenta de las 07:00 a las 08:00 horas, siendo ésta la Hora Pico de la intersección.

**Crucero La Cartonera – Yecapixtla y Libramiento Cuautla Yecapixtla****Tabla 4.2-5** Determinación del VHMD del crucero: La Cartonera y L. de Cuautla - Yecapixtla

Aforo de 06:00 a 10:00 horas			Aforo de 12:00 a 16:00 horas			Aforo de 18:00 a 21:00 horas		
Hora	# de autos	D. Hora Pico	Hora	# de autos	D. Hora Pico	Hora	# de autos	D. Hora Pico
6:00 - 6:15	42	-	12:00 - 12:15	71	-	18:00 - 18:15	49	-
6:15 - 6:30	62		12:15 - 12:30	56		18:15 - 18:30	47	
6:30 - 6:45	143		12:30 - 12:45	54		18:30 - 18:45	67	
6:45 - 7:00	134		12:45 - 13:00	47		18:45 - 19:00	45	
7:00 - 7:15	97	381	13:00 - 13:15	72	228	19:00 - 19:15	38	208
7:15 - 7:30	119	436	13:15 - 13:30	69	229	19:15 - 19:30	73	197
7:30 - 7:45	168	493	13:30 - 13:45	52	242	19:30 - 19:45	112	223
7:45 - 8:00	148	518	13:45 - 14:00	72	240	19:45 - 20:00	94	268
8:00 - 8:15	69	532	14:00 - 14:15	87	265	20:00 - 20:15	49	317
8:15 - 8:30	91	504	14:15 - 14:30	71	280	20:15 - 20:30	52	328
8:30 - 8:45	71	476	14:30 - 14:45	98	282	20:30 - 20:45	50	307
8:45 - 9:00	76	379	14:45 - 15:00	78	328	20:45 - 21:00	48	245
9:00 - 9:15	51	307	15:00 - 15:15	69	334			199
9:15 - 9:30	69	289	15:15 - 15:30	65	316			
9:30 - 9:45	49	267	15:30 - 15:45	74	310			
9:45 - 10:00	52	245	15:45 - 16:00	58	286			
		221			266			

**Fuente:** Elaboración propia.

Al igual que en el análisis hecho en la intersección anterior la hora pico se presentó de las 07:00 a las 08:00 horas con un VHMD de 532 vehículos, 146 vehículos más que en la misma HMD que la intersección sur (386).

Podemos concluir que la hora pico de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla* se presenta de las 07:00 a las 08:00 horas según este estudio de aforo vehicular, además, en ambos casos el periodo de máximo volumen se presentó entre las 07:30 y 07:45 horas; 124 y 168 automóviles para el crucero sur y norte respectivamente.

Con base en los resultados arrojados; Hora de Máxima Demanda de 07:00 a 08:00 horas y periodo de máximo volumen de 07:30 a 07:45 horas es posible planear los estudios de volúmenes de tránsito direccionales para la carretera, de tal manera que aseguremos que estos periodos se encuentren durante nuestro estudio.

## 4.3 Volúmenes de Tránsito Direccionales

### 4.3.1 Introducción

Los conteos para determinar volúmenes de tránsito direccionales se realizan en intersecciones viales, en las cuales se desea conocer la cantidad y distribución de movimientos que se realizan en la misma, así como la configuración de los vehículos que circulan en la intersección. Generalmente este tipo de estudios se realizan en aquellas intersecciones que tienen problemas de congestionamiento vial y cuando se quiere conocer el origen y destino de los viajes.

Los volúmenes se deberán llevar a cabo registrando de acuerdo a su clasificación, dirección o sentido del flujo vehicular, movimiento, es decir, directo, giro a derecha y giro a izquierda y por tipo de vehículo, o sea, automóvil, autobús, camión, moto, bicicleta, vehículo de tracción animal, entre otros, según sea el caso particular requerido por el estudio.

### 4.3.2 Objetivo del Estudio

En este capítulo deseamos analizar las características y el comportamiento del tránsito dentro de la carretera La Cartonera – Yecapixtla, además, identificar la variación de flujo que se presenta dentro del tiempo de estudio y la composición vehicular de los movimientos dentro de la carretera.

### 4.3.3 Antecedentes

En el Aforo Vehicular realizado previamente para este estudio, martes 19 de febrero, se determinó que la hora pico en la carretera es de las 07:00 a las 08:00 horas, por éste motivo se decidió hacer el estudio de Volumen de Tránsito Direccional el día miércoles 27 de febrero del 2013 entre las 06:00 y las 09:00 horas, con el objetivo de obtener la siguiente información:

- ✓ Encontrar el VHMD del día y compararlo con respecto al obtenido en el aforo vehicular,
- ✓ Conocer la distribución de los movimientos direccionales,
- ✓ Determinar la composición vehicular del volumen de tránsito,
- ✓ Explicar las condiciones que prevalecen en el sistema y,
- ✓ Estimar, con los datos obtenidos, el T.D.P.A. de la carretera.

Para este estudio se realizaron aforos manuales en las tres principales intersecciones de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*, en el libramiento con Cuautla, con la carretera a Huexca y con el libramiento Cuautla – Yecapixtla. Se decidió hacer el estudio de las 06:00 hrs a las 09:00 hrs para asegurar que en este intervalo se encontrara la hora pico de estos movimientos. En la siguiente imagen se muestra la posición de donde se realizaron los aforos direccionales.



**Tabla 4.3-1** Ubicación de los aforos direccionales realizados sobre “La Cartonera”

**Fuente:** Elaboración propia.

La recolección de información se realizó simultáneamente en las tres intersecciones mencionadas, para cada una de ellas se aforó manualmente en periodos de 15 minutos. En cada conteo se discrepó entre el tipo de movimiento y la clasificación del vehículo que lo realizaba. Los datos recabados en campo fueron procesados y se presentan a continuación para cada una de las intersecciones.

Nos referiremos de aquí en adelante, dentro de este capítulo, a la carretera *La Cartonera - Yecapixtla* como “El Sistema”.

#### 4.3.4 Intersección 1. Libramiento Cuautla – C. “La Cartonera”

La configuración de esta intersección sólo permite que se generen dos tipos de movimientos; el de incorporación a “La Cartonera” y el de la salida de la misma. Como se describió en el estudio de inventario vial sólo es posible la incorporación a ésta carretera viajando de sur a norte sobre el Libramiento de Cuautla.

En la siguiente imagen se muestra la configuración de los movimientos y la ubicación de la intersección. Con el interés de tener una mejor organización y facilidad para digerir la información se colocaron los puntos de origen y/o destino de cada movimiento señalados mediante un círculo como se muestra enseguida, siendo de  $A \rightarrow B$  los que entran a *La Cartonera - Yecapixtla* y los de  $B \rightarrow C$  los que se incorporan al Lib. de Cuautla.

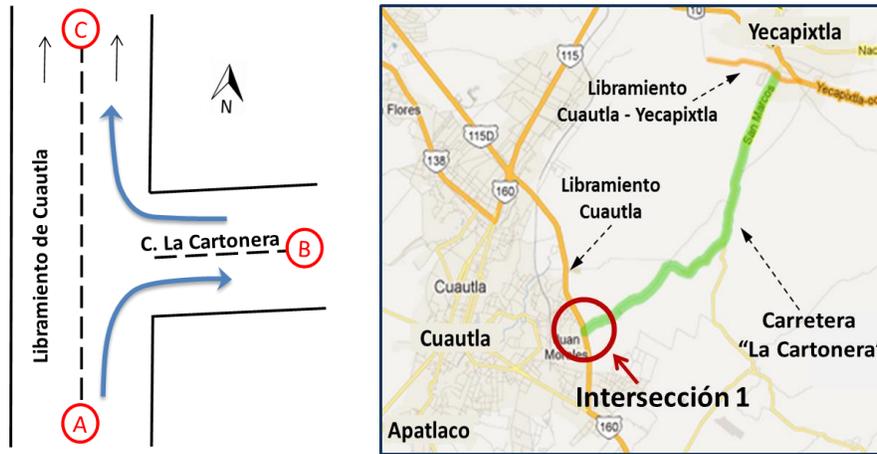


Ilustración 4.3-1 Esquema y ubicación de los aforos direccionales de la intersección 1.

Fuente: Elaboración propia.

**Recolección de Datos de Campo**

La información recabada del conteo vehicular se presenta en la siguiente tabla, en la cual se clasifica el tipo de vehículo que realiza cada movimiento.

Tabla 4.3-2 Volúmenes de aforos direccionales de la intersección 1

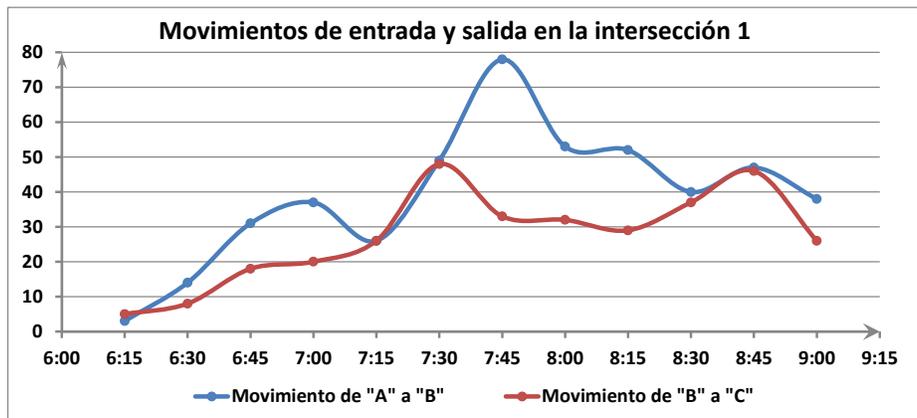
Hora/Tipo	Movimiento de A → B					Total	Hora/Tipo	Movimiento de B → C					Total
	A	B	C	T-S	N			A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	3	0	0	0	0	3	6:00 - 6:15	4	0	1	0	0	5
6:15 - 6:30	12	0	0	0	2	14	6:15 - 6:30	6	0	1	0	1	8
6:30 - 6:45	30	0	0	0	1	31	6:30 - 6:45	17	0	0	0	1	18
6:45 - 7:00	34	0	0	0	3	37	6:45 - 7:00	17	0	2	0	1	20
7:00 - 7:15	23	0	2	0	1	26	7:00 - 7:15	23	0	1	0	2	26
7:15 - 7:30	47	0	0	0	2	49	7:15 - 7:30	43	0	1	0	4	48
7:30 - 7:45	74	0	0	1	3	78	7:30 - 7:45	30	0	2	0	1	33
7:45 - 8:00	50	0	1	1	1	53	7:45 - 8:00	31	0	1	0	0	32
8:00 - 8:15	49	0	0	0	3	52	8:00 - 8:15	26	0	0	0	3	29
8:15 - 8:30	36	0	2	0	2	40	8:15 - 8:30	30	0	2	0	5	37
8:30 - 8:45	40	0	3	1	3	47	8:30 - 8:45	45	0	0	0	1	46
8:45 - 9:00	35	0	1	0	2	38	8:45 - 9:00	24	0	0	0	2	26
Σ	433	0	9	3	23	468	Σ	296	0	11	0	21	328

Fuente: Elaboración propia.

**Características de los Movimientos**

En total se aforaron 796 movimientos en las tres horas de estudio, 468 vehículos ingresaron a “La Cartonera” mientras que un total de 328 salieron de ella. Los autos que entran al “sistema” son 140 más que los que salen durante las tres horas de aforo.

La variación de los vehículos que entran contra los vehículos que salen de la carretera se describe mediante la siguiente gráfica; en la cual claramente se aprecia, como era de esperarse, que el flujo de entrada es mucho más alto que el de salida.



**Gráfica 4.3-1** Relación entre los movimientos de entrada y salida de la intersección 1

Fuente: Elaboración propia.

**Determinación del Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD)**

Para determinar el VHMD se hará el desglose de movimientos por tipo de auto, tomando en cuenta ambos movimientos en conjunto para el análisis. De esta manera podremos observar la cantidad y el porcentaje de los diferentes tipos de autos que entran y salen del sistema.

**Tabla 4.3-3** Determinación del VHMD de la intersección 1

Determinación de la Hora pico de la intersección 1

Hora/Movs.	Tipo de Vehículos					Total	D. Hora Pico
	A	B	C	T-S	N		
06:00 - 06:15	7	0	1	0	0	8	-
06:15 - 06:30	18	0	1	0	3	22	
06:30 - 06:45	47	0	0	0	2	49	
06:45 - 07:00	51	0	2	0	4	57	136
07:00 - 07:15	46	0	3	0	3	52	180
07:15 - 07:30	90	0	1	0	6	97	255
07:30 - 07:45	104	0	2	1	4	111	317
07:45 - 08:00	81	0	2	1	1	85	345
08:00 - 08:15	75	0	0	0	6	81	374
08:15 - 08:30	66	0	4	0	7	77	354
08:30 - 08:45	85	0	3	1	4	93	336
08:45 - 09:00	59	0	1	0	4	64	315
Σ	729	0	20	3	44	796	
%	91.6%	0.0%	2.5%	0.4%	5.5%		

Fuente: Elaboración propia.

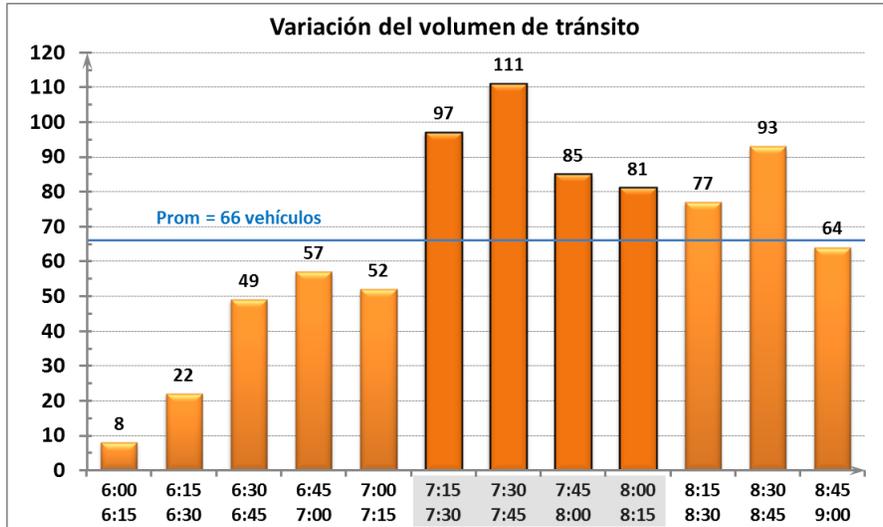
De la tabla podemos extraer las siguientes conclusiones:

- La hora pico se presenta de 07:15 a 08:15 hrs con un VHMD de 374 autos, a esta hora;
  - Entran al sistema 232 autos
  - Salen del sistema 142 autos, una diferencia de 90 movimientos.
- El 91.6% de los movimientos son autos tipo A (vehículos menores a 3ton), sólo el 0.4% son tracto-camiones mientras que el 5.5% son otros vehículos, en su gran mayoría motocicletas.

**Variación del Volumen de Tránsito**

La variación del volumen de tránsito es la manera en la que se comporta el tránsito a lo largo del tiempo. Si el conteo fuera uniforme hubiéramos contabilizado 66 vehículos cada periodo, es decir, cada 15 minutos. En este caso, un aforo de tres horas, es muy ejemplificativo mostrar esta dispersión en los conteos.

En la siguiente gráfica podemos apreciar el comportamiento que siguió el flujo vehicular a lo largo del aforo y la enorme diferencia que puede existir en los diferentes periodos de conteo.



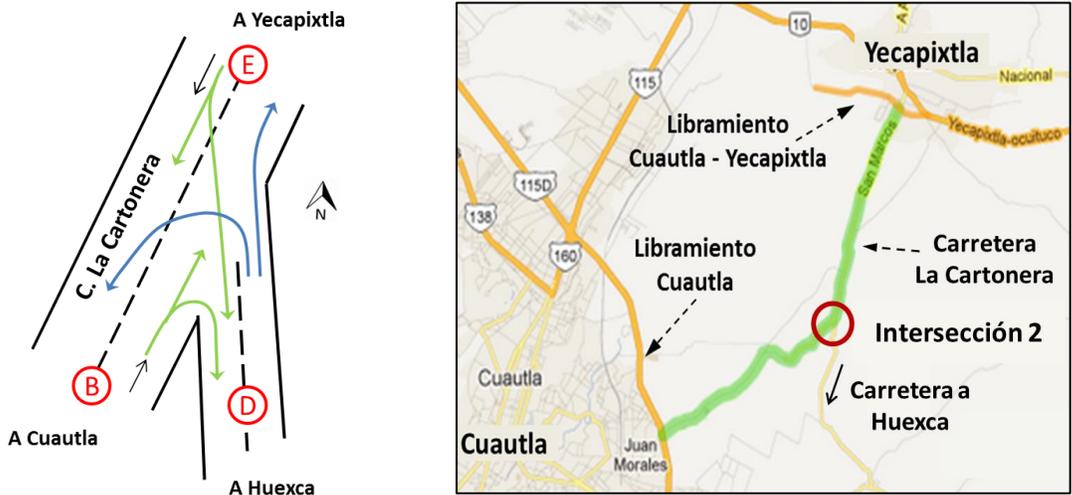
**Gráfica 4.3-2** Variación del volumen de tránsito en el aforo vehicular de la intersección 1

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.3.5 Intersección 2. C. “La Cartonera” – C. a Huexca

La intersección está conformada por “La Cartonera” y la carretera a Huexca, ambas carreteras tienen dos carriles de circulación lo que permite que cada carril de llegada a la intersección tenga dos distintas opciones de movimiento. A diferencia de la intersección 1 en la cual sólo existía la posibilidad de realizar dos movimientos este cruce permite la generación de seis movimientos distintos.

Como se puede observar en la siguiente imagen los autos que se acercan desde Cuautla a la intersección; pueden seguirse de frente hacia Yecapixtla ( $B \rightarrow E$ ) o girar a la derecha para dirigirse a Huexca ( $B \rightarrow D$ ). Los vehículos que se acercan en dirección contraria por “La Cartonera” pueden avanzar de frente hacia Cuautla ( $E \rightarrow B$ ) o virar a la izquierda para ir hacia Huexca ( $E \rightarrow D$ ). Por último, los viajes que se generan a partir de la C. a Huexca pueden tener su destino en dirección a Cuautla ( $D \rightarrow B$ ) o bien a Yecapixtla ( $D \rightarrow E$ ). La descripción de estos seis movimientos se ejemplifica en la siguiente imagen.



**Ilustración 4.3-2** Esquema y ubicación de los afloros direccionales de la intersección 2

Fuente: Elaboración propia.

**Recolección de Datos de Campo**

Los datos recabados en el aforo direccional manual se presentan a continuación, discrepando el tipo de movimiento y clasificando los vehículos que realizan cada uno de éstos.

En este aforo direccional no se presentó ningún automóvil que realizara los movimientos de Cautla hacia Huexca (B→D) y viceversa (D→B.), por tal motivo no se presentan las tablas que describirían dichos movimientos.

**Tabla 4.3-4** Volúmenes de los afloros direccionales de la intersección 2

Hora/Tipo	Movimiento de E→B					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	3	0	0	0	0	3
6:15 - 6:30	8	0	0	0	0	8
6:30 - 6:45	9	0	1	0	0	10
6:45 - 7:00	14	0	0	0	0	14
7:00 - 7:15	36	0	0	1	1	38
7:15 - 7:30	22	0	0	2	2	26
7:30 - 7:45	21	0	0	0	0	21
7:45 - 8:00	22	0	0	1	0	23
8:00 - 8:15	25	0	0	0	6	31
8:15 - 8:30	25	0	1	0	2	28
8:30 - 8:45	27	0	0	0	0	27
8:45 - 9:00	21	0	0	0	0	21
Σ	233	0	2	4	11	250

Hora/Tipo	Movimiento de E→D					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	2	0	1	0	0	3
6:15 - 6:30	3	1	0	0	0	4
6:30 - 6:45	4	0	0	0	1	5
6:45 - 7:00	1	0	0	0	1	2
7:00 - 7:15	0	0	0	0	0	0
7:15 - 7:30	7	0	0	2	1	10
7:30 - 7:45	7	0	0	0	4	11
7:45 - 8:00	4	0	0	1	5	10
8:00 - 8:15	5	0	0	0	1	6
8:15 - 8:30	2	0	0	2	0	4
8:30 - 8:45	0	0	0	0	0	0
8:45 - 9:00	1	0	0	0	1	2
Σ	36	1	1	5	14	57

Hora/Tipo	Movimiento de B→E					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	10	0	0	0	0	10
6:15 - 6:30	6	0	0	0	0	6
6:30 - 6:45	20	0	0	0	0	20
6:45 - 7:00	36	0	0	2	0	38
7:00 - 7:15	23	0	0	3	1	27
7:15 - 7:30	32	0	0	0	1	33
7:30 - 7:45	55	0	0	0	3	58
7:45 - 8:00	51	0	0	1	1	53
8:00 - 8:15	41	0	0	2	0	43
8:15 - 8:30	37	0	0	0	3	40
8:30 - 8:45	17	0	0	2	0	19
8:45 - 9:00	39	0	0	2	4	45
Σ	367	0	0	12	13	392

Hora/Tipo	Movimiento de D→E					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	0	0	0	0	0	0
6:15 - 6:30	3	0	0	0	0	3
6:30 - 6:45	0	0	0	0	0	0
6:45 - 7:00	1	0	0	0	0	1
7:00 - 7:15	3	0	0	0	0	3
7:15 - 7:30	0	0	0	0	1	1
7:30 - 7:45	2	0	0	0	0	2
7:45 - 8:00	3	0	0	0	0	3
8:00 - 8:15	2	0	0	0	0	2
8:15 - 8:30	0	0	0	0	0	0
8:30 - 8:45	1	0	0	0	0	1
8:45 - 9:00	4	0	0	0	0	4
Σ	19	0	0	0	1	20

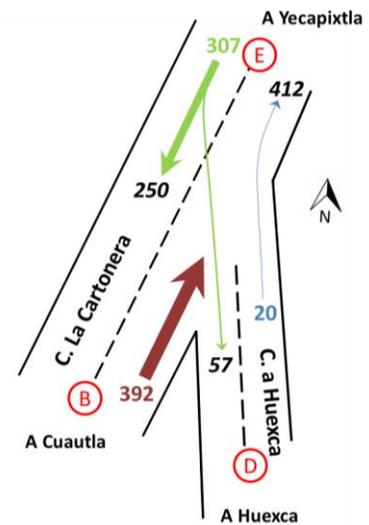
Fuente: Elaboración propia.

**Características de los Movimientos**

En la siguiente tabla se presentan el total de vehículos contabilizados por cada movimiento, mientras que la figura representa un esquema del comportamiento de la intersección en las 3 horas de estudio.

Tabla 4.3-5 Características de los movimientos del aforo direccional en la intersección 2

Hora/Tipo	Movimientos de:						TOTAL
	E→B	E→D	B→D	B→E	D→E	D→B	
06:00 - 06:15	3	3	0	10	0	0	16
06:15 - 06:30	8	4	0	6	3	0	21
06:30 - 06:45	10	5	0	20	0	0	35
06:45 - 07:00	14	2	0	38	1	0	55
07:00 - 07:15	38	0	0	27	3	0	68
07:15 - 07:30	26	10	0	33	1	0	70
07:30 - 07:45	21	11	0	58	2	0	92
07:45 - 08:00	23	10	0	53	3	0	89
08:00 - 08:15	31	6	0	43	2	0	82
08:15 - 08:30	28	4	0	40	0	0	72
08:30 - 08:45	27	0	0	19	1	0	47
08:45 - 09:00	21	2	0	45	4	0	72
Σ	250	57	0	392	20	0	719



Fuente: Elaboración propia.

**Determinación del Volumen Horario de Máxima Demanda**

A continuación presentamos el desglose de movimientos por tipo de vehículo de toda la intersección, de esta manera determinaremos el Volumen Horario de Máxima Demanda.

**Tabla 4.3-6** Determinación del VHMD de la intersección 2

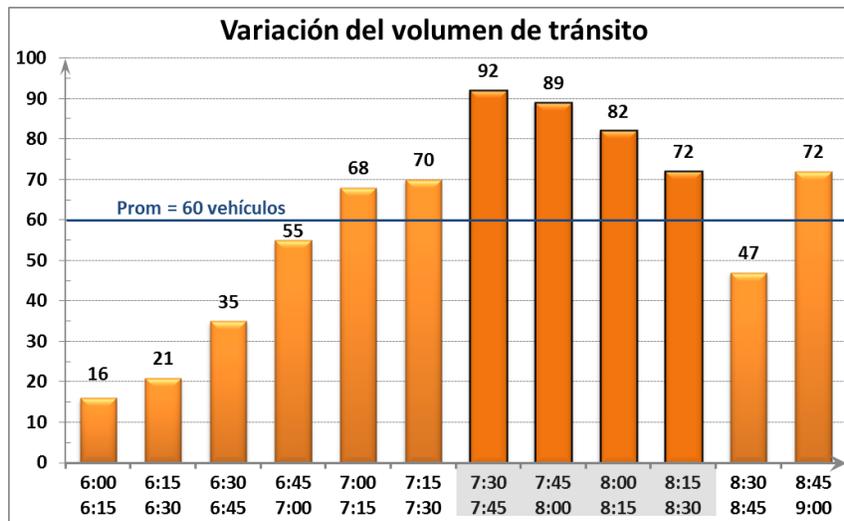
Hora/Movs.	Tipo de Vehículos					Total	D. Hora Pico
	A	B	C	T-S	N		
06:00 - 06:15	15	0	1	0	0	16	-
06:15 - 06:30	20	1	0	0	0	21	
06:30 - 06:45	33	0	1	0	1	35	
06:45 - 07:00	52	0	0	2	1	55	
07:00 - 07:15	62	0	0	4	2	68	
07:15 - 07:30	61	0	0	4	5	70	
07:30 - 07:45	85	0	0	0	7	92	
07:45 - 08:00	80	0	0	3	6	89	
08:00 - 08:15	73	0	0	2	7	82	
08:15 - 08:30	64	0	1	2	5	72	
08:30 - 08:45	45	0	0	2	0	47	
08:45 - 09:00	65	0	0	2	5	72	
Σ	655	1	3	21	39	719	
%	91.1%	0.1%	0.4%	2.9%	5.4%		

Fuente: Elaboración propia.

De los datos presentados podemos observar que el VHMD se presenta de las 07:30 a las 08:30 horas con un total de 335 vehículos, esta es la hora de mayor congestión en la intersección.

**Variación del Volumen de Tránsito**

En la siguiente gráfica se refleja el comportamiento que siguió el flujo vehicular a lo largo del aforo. El promedio de los vehículos por periodo es de 60, sin embargo podemos observar que en la hora de máxima demanda se presentaron 92 vehículos en un solo periodo, de las 07:30 a las 07:45 horas, mientras que de las 06:00 a las 06:15 horas se presentó el periodo con menor flujo; 16 vehículos.



**Gráfica 4.3-3** Variación del volumen de tránsito en el aforo vehicular de la intersección 2

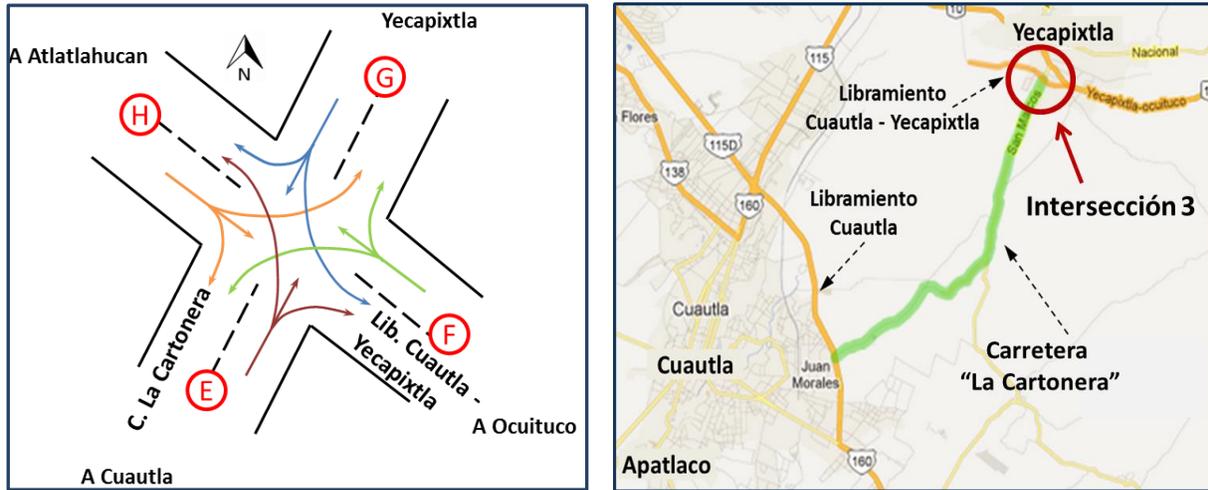
Fuente: Elaboración propia.

**4.3.6 Intersección 3. C “La Cartonera” - Libramiento Yecapixtla**

Esta es una intersección formada por “La Cartonera” y el Lib. Cuautla Yecapixtla ambas con dos carriles de circulación ida y vuelta que se cruzan perpendicularmente por lo que es la más compleja de las tres estudiadas.

Debido a la configuración de la intersección cada uno de los cuatro carriles de llegada a la intersección tienen la disponibilidad de efectuar tres movimientos; seguir de frente, girar a la izquierda o girar a la derecha. De este

modo los Autos que se acerquen por “La Cartonera” podrán seguir de frente para entrar al centro de Yecapixtla (E→G), girar a la derecha hacia Ocuituco (E→F) o bien virar a la izquierda hacia Yecapixtla (E→H). Esta descripción, la localización del cruce y los posibles 12 movimientos que se pueden generar se ejemplifican en la siguiente imagen.



**Ilustración 4.3-3** Esquema y ubicación de los afloros direccionales de la intersección 3

*Fuente: Elaboración propia.*

**Recolección de Datos de Campo**

La información procesada del aforo vehicular se presenta en las siguientes tablas; cada una de ellas representa un cierto movimiento discriminando cada conteo de acuerdo a la clasificación vehicular.

**Tabla 4.3-7** Volúmenes de los afloros direccionales de la intersección 3

Hora/Tipo	Movimiento de G→H					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	4	0	0	0	0	4
6:15 - 6:30	7	0	0	0	0	7
6:30 - 6:45	6	0	0	0	0	6
6:45 - 7:00	6	0	0	0	1	7
7:00 - 7:15	2	0	0	0	0	2
7:15 - 7:30	6	0	0	0	0	6
7:30 - 7:45	8	0	0	0	1	9
7:45 - 8:00	11	0	0	0	0	11
8:00 - 8:15	11	0	0	0	0	11
8:15 - 8:30	4	0	0	0	0	4
8:30 - 8:45	7	0	0	0	1	8
8:45 - 9:00	10	0	0	0	0	10
<b>Σ</b>	<b>82</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>85</b>

Hora/Tipo	Movimiento de G→E					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	4	0	0	0	0	4
6:15 - 6:30	11	0	1	0	3	15
6:30 - 6:45	35	0	0	0	7	42
6:45 - 7:00	47	0	0	0	11	58
7:00 - 7:15	14	0	0	0	4	18
7:15 - 7:30	12	0	0	0	1	13
7:30 - 7:45	42	0	2	0	9	53
7:45 - 8:00	25	0	0	0	9	34
8:00 - 8:15	22	0	0	0	2	24
8:15 - 8:30	17	0	0	0	0	17
8:30 - 8:45	23	0	0	0	3	26
8:45 - 9:00	10	0	1	0	4	15
<b>Σ</b>	<b>262</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>53</b>	<b>319</b>

Hora/Tipo	Movimiento de G→F					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	0	0	0	0	0	0
6:15 - 6:30	0	0	0	0	0	0
6:30 - 6:45	1	0	0	0	0	1
6:45 - 7:00	0	0	0	0	0	0
7:00 - 7:15	0	0	0	0	0	0
7:15 - 7:30	0	0	0	0	0	0
7:30 - 7:45	2	0	0	0	0	2
7:45 - 8:00	2	0	0	0	0	2
8:00 - 8:15	2	0	0	0	0	2
8:15 - 8:30	1	0	0	0	0	1
8:30 - 8:45	2	0	0	0	0	2
8:45 - 9:00	3	0	0	0	0	3
<b>Σ</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13</b>

Hora/Tipo	Movimiento de H→E					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	3	0	0	0	0	3
6:15 - 6:30	8	0	0	0	1	9
6:30 - 6:45	23	0	1	0	1	25
6:45 - 7:00	9	0	0	1	1	11
7:00 - 7:15	8	0	0	0	2	10
7:15 - 7:30	16	0	0	0	1	17
7:30 - 7:45	28	0	2	0	2	32
7:45 - 8:00	22	0	0	0	1	23
8:00 - 8:15	7	0	0	0	1	8
8:15 - 8:30	9	0	0	0	1	10
8:30 - 8:45	9	0	0	0	0	9
8:45 - 9:00	11	0	0	0	0	11
<b>Σ</b>	<b>153</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>168</b>

Hora/Tipo	Movimiento de H→F					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	15	0	0	0	0	15
6:15 - 6:30	6	0	0	0	1	7
6:30 - 6:45	13	0	0	0	0	13
6:45 - 7:00	17	0	0	0	0	17
7:00 - 7:15	26	0	1	0	0	27
7:15 - 7:30	21	1	1	0	0	23
7:30 - 7:45	32	0	0	0	0	32
7:45 - 8:00	27	0	3	0	0	30
8:00 - 8:15	23	0	1	0	1	25
8:15 - 8:30	15	0	1	0	2	18
8:30 - 8:45	13	0	1	0	4	18
8:45 - 9:00	14	0	0	0	1	15
<b>Σ</b>	<b>222</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>240</b>

Hora/Tipo	Movimiento de H→G					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	6	0	0	0	0	6
6:15 - 6:30	2	0	0	0	1	3
6:30 - 6:45	4	0	0	0	0	4
6:45 - 7:00	8	0	0	0	0	8
7:00 - 7:15	4	0	0	0	0	4
7:15 - 7:30	6	0	0	0	0	6
7:30 - 7:45	5	0	0	0	0	5
7:45 - 8:00	12	0	0	0	2	14
8:00 - 8:15	10	0	0	0	2	12
8:15 - 8:30	11	0	0	0	0	11
8:30 - 8:45	9	0	0	0	0	9
8:45 - 9:00	11	0	0	0	2	13
<b>Σ</b>	<b>88</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>95</b>

Hora/Tipo	Movimiento de E→F					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	2	0	0	0	0	2
6:15 - 6:30	1	0	0	0	0	1
6:30 - 6:45	6	0	0	0	0	6
6:45 - 7:00	7	0	0	0	2	9
7:00 - 7:15	16	0	0	0	0	16
7:15 - 7:30	17	0	0	0	1	18
7:30 - 7:45	7	0	0	0	0	7
7:45 - 8:00	20	0	0	0	0	20
8:00 - 8:15	16	0	0	1	0	17
8:15 - 8:30	24	0	0	0	1	25
8:30 - 8:45	15	0	0	0	0	15
8:45 - 9:00	15	0	0	1	2	18
<b>Σ</b>	<b>146</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>154</b>

Hora/Tipo	Movimiento de E→G					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	5	0	0	0	0	5
6:15 - 6:30	4	0	0	0	0	4
6:30 - 6:45	7	0	0	0	0	7
6:45 - 7:00	9	0	0	0	0	9
7:00 - 7:15	16	0	0	0	2	18
7:15 - 7:30	16	0	0	0	0	16
7:30 - 7:45	32	0	0	0	1	33
7:45 - 8:00	19	0	0	0	1	20
8:00 - 8:15	16	0	1	0	0	17
8:15 - 8:30	28	0	0	0	8	36
8:30 - 8:45	26	0	1	0	1	28
8:45 - 9:00	22	0	0	0	6	28
<b>Σ</b>	<b>200</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>19</b>	<b>221</b>

Hora/Tipo	Movimiento de E→H					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	1	0	0	0	0	1
6:15 - 6:30	1	0	0	0	0	1
6:30 - 6:45	1	0	0	0	0	1
6:45 - 7:00	2	0	0	0	1	3
7:00 - 7:15	7	0	0	0	0	7
7:15 - 7:30	9	0	0	0	2	11
7:30 - 7:45	4	0	1	0	2	7
7:45 - 8:00	9	0	0	0	1	10
8:00 - 8:15	6	0	0	0	0	6
8:15 - 8:30	14	0	0	0	2	16
8:30 - 8:45	7	0	1	0	0	8
8:45 - 9:00	6	0	0	0	0	6
<b>Σ</b>	<b>67</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>77</b>

Hora/Tipo	Movimiento de F→G					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	1	0	0	0	0	1
6:15 - 6:30	0	0	0	0	0	0
6:30 - 6:45	0	0	0	0	0	0
6:45 - 7:00	0	0	0	0	0	0
7:00 - 7:15	2	0	0	0	0	2
7:15 - 7:30	0	0	0	0	0	0
7:30 - 7:45	0	0	0	0	0	0
7:45 - 8:00	3	0	0	0	0	3
8:00 - 8:15	3	0	0	0	0	3
8:15 - 8:30	1	0	0	0	0	1
8:30 - 8:45	1	0	0	0	0	1
8:45 - 9:00	2	0	0	0	0	2
<b>Σ</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13</b>

Hora/Tipo	Movimiento de F→H					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	8	0	0	0	0	8
6:15 - 6:30	16	0	0	1	0	17
6:30 - 6:45	20	0	0	0	0	20
6:45 - 7:00	11	0	1	0	1	13
7:00 - 7:15	12	1	0	0	0	13
7:15 - 7:30	17	0	1	0	2	20
7:30 - 7:45	25	0	0	0	1	26
7:45 - 8:00	21	0	0	0	2	23
8:00 - 8:15	18	0	0	0	2	20
8:15 - 8:30	24	0	0	0	4	28
8:30 - 8:45	26	0	1	0	2	29
8:45 - 9:00	21	0	0	0	1	22
<b>Σ</b>	<b>219</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>239</b>

Hora/Tipo	Movimiento de F→E					Total
	A	B	C	T-S	N	
6:00 - 6:15	3	0	0	0	0	3
6:15 - 6:30	14	0	0	0	2	16
6:30 - 6:45	25	0	1	0	3	29
6:45 - 7:00	15	0	0	0	1	16
7:00 - 7:15	19	0	1	0	1	21
7:15 - 7:30	14	0	1	0	4	19
7:30 - 7:45	25	0	0	0	9	34
7:45 - 8:00	18	0	0	0	1	19
8:00 - 8:15	12	0	1	0	2	15
8:15 - 8:30	17	0	0	0	0	17
8:30 - 8:45	9	0	1	0	0	10
8:45 - 9:00	11	0	0	0	0	11
<b>Σ</b>	<b>182</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>210</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Características de los Movimientos**

Para poder hacer el análisis del aforo direccional en la intersección es necesario agrupar el número total de vehículos contados de acuerdo a su tipo de movimiento, esta información se obtiene de cada uno de los movimientos recolectados en campo y se presenta digerido en la siguiente tabla.

**Tabla 4.3-8** Características de los movimientos del aforo direccional en la intersección 3

Hora/Tipo	Mov. de "G" a:			Mov. de "H" a:			Mov. de "E" a:			Mov. de "F" a:			TOTAL
	→H	→E	→F	→E	→F	→G	→F	→G	→H	→G	→H	→E	
06:00 - 06:15	4	4	0	3	15	6	2	5	1	1	8	3	52
06:15 - 06:30	7	15	0	9	7	3	1	4	1	0	17	16	80
06:30 - 06:45	6	42	1	25	13	4	6	7	1	0	20	29	154
06:45 - 07:00	7	58	0	11	17	8	9	9	3	0	13	16	151
07:00 - 07:15	2	18	0	10	27	4	16	18	7	2	13	21	138
07:15 - 07:30	6	13	0	17	23	6	18	16	11	0	20	19	149
07:30 - 07:45	9	53	2	32	32	5	7	33	7	0	26	34	240
07:45 - 08:00	11	34	2	23	30	14	20	20	10	3	23	19	209
08:00 - 08:15	11	24	2	8	25	12	17	17	6	3	20	15	160
08:15 - 08:30	4	17	1	10	18	11	25	36	16	1	28	17	184
08:30 - 08:45	8	26	2	9	18	9	15	28	8	1	29	10	163
08:45 - 09:00	10	15	3	11	15	13	18	28	6	2	22	11	154
Σ	85	319	13	168	240	95	154	221	77	13	239	210	1834
	417			503			452			462			

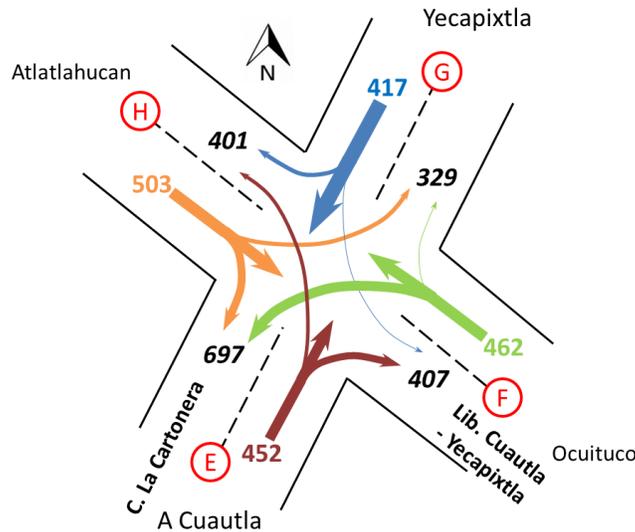
*Fuente: Elaboración propia.*

Podemos interpretar de los resultados de la tabla que:

- En las tres horas de aforo se registraron un total de 1834 movimientos.
- El movimiento que generó más flujo fue sobre "La Cartonera"; de Yecapixtla hacia Cuautla (G→E); 319 vehículos aforados.
- El movimiento con más flujo por periodo se presentó de las 06:45 a las 07:00 horas, fue de G→E con 58 autos contabilizados.
- El intervalo con mayor congestión fue de 07:30 a 07:45 horas con 240 movimientos.
- El movimiento más frío fue de Yecapixtla hacia Ocuituco (G→F) y viceversa (F→G); ambos con 13 vehículos contabilizados.

Con la información procesada de la tabla anterior presentamos una imagen esquemática sobre el comportamiento que siguieron los autos en este aforo direccional, de la cual se pueden obtener las siguientes conclusiones.

- Del sector "H" se desprenden la mayor cantidad de movimientos; 503 vehículos, pero también recibe la menor cantidad; 401 vehículos.
- En la estación "E" se contabilizan la mayor cantidad de movimientos, 1149 automóviles aforados.
  - 697 vehículos entran a "La Cartonera".
  - 452 vehículos salen del Sistema.
- El sector que más movimientos vehiculares recibe es el "E"; 697.
  - 319 provienen de Yecapixtla G→E (siguen de frente).
  - 168 llegan de Atlatlahucan H→E (giran a la derecha).
  - 210 arriban de Ocuituco G→E (giran a la izquierda).



**Ilustración 4.3-4** Características de los movimientos del aforo direccional en la intersección 3

Fuente: Elaboración propia.

**Determinación del Volumen Horario de Máxima Demanda**

Se muestra a continuación como en los casos anteriores, una tabla resumen con el número total de movimientos por intervalo desglosado por el tipo de vehículo.

**Tabla 4.3-9** Determinación del VHMD de la intersección 3

Hora/Movs.	Tipo de Vehículos					Total	D. Hora Pico
	A	B	C	T-S	N		
06:00 - 06:15	52	0	0	0	0	52	
06:15 - 06:30	70	0	1	1	8	80	-
06:30 - 06:45	141	0	2	0	11	154	
06:45 - 07:00	131	0	1	1	18	151	437
07:00 - 07:15	126	1	2	0	9	138	523
07:15 - 07:30	134	1	3	0	11	149	592
07:30 - 07:45	210	0	5	0	25	240	678
07:45 - 08:00	189	0	3	0	17	209	736
08:00 - 08:15	146	0	3	1	10	160	758
08:15 - 08:30	165	0	1	0	18	184	793
08:30 - 08:45	147	0	5	0	11	163	716
08:45 - 09:00	136	0	1	1	16	154	661
Σ	1647	2	27	4	154	1834	
%	89.8%	0.1%	1.5%	0.2%	8.4%		

Fuente: Elaboración propia.

De los datos obtenidos rescatamos que el VHMD resultó ser de 793 vehículos y se presentó de 07:30 a 08:30 horas.

**Determinación del VHMD en la Estación E**

Hasta el momento hemos estado estudiando la intersección como todo un bloque, sin embargo de aquí en adelante nos enfocaremos también en los movimientos de la estación “E”, es decir, analizaremos tanto lo que entra como lo que sale de “La Cartonera”. Esto debido a que la estación “E” es un extremo del sistema que estamos analizando, y en este caso, es el factor de mayor incidencia en el estudio.

**Tabla 4.3-10** Determinación del VHMD de la estación E

Hora/Movs.	Tipo de V. que entran a "E"					Tipo de V. que salen "E"					Total	D. Hora Pico
	A	B	C	T-S	N	A	B	C	T-S	N		
06:00 - 06:15	10	0	0	0	0	8	0	0	0	0	18	-
06:15 - 06:30	33	0	1	0	6	6	0	0	0	0	46	
06:30 - 06:45	83	0	2	0	11	14	0	0	0	0	110	
06:45 - 07:00	71	0	0	1	13	18	0	0	0	3	106	280
07:00 - 07:15	41	0	1	0	7	39	0	0	0	2	90	352
07:15 - 07:30	42	0	1	0	6	42	0	0	0	3	94	400
07:30 - 07:45	95	0	4	0	20	43	0	1	0	3	166	456
07:45 - 08:00	65	0	0	0	11	48	0	0	0	2	126	476
08:00 - 08:15	41	0	1	0	5	38	0	1	1	0	87	473
08:15 - 08:30	43	0	0	0	1	66	0	0	0	11	121	500
08:30 - 08:45	41	0	1	0	3	48	0	2	0	1	96	430
08:45 - 09:00	32	0	1	0	4	43	0	0	1	8	89	393
Σ	597	0	12	1	87	413	0	4	2	33	1149	
%	52.0%	0.0%	1.0%	0.1%	7.6%	35.9%	0.0%	0.3%	0.2%	2.9%		

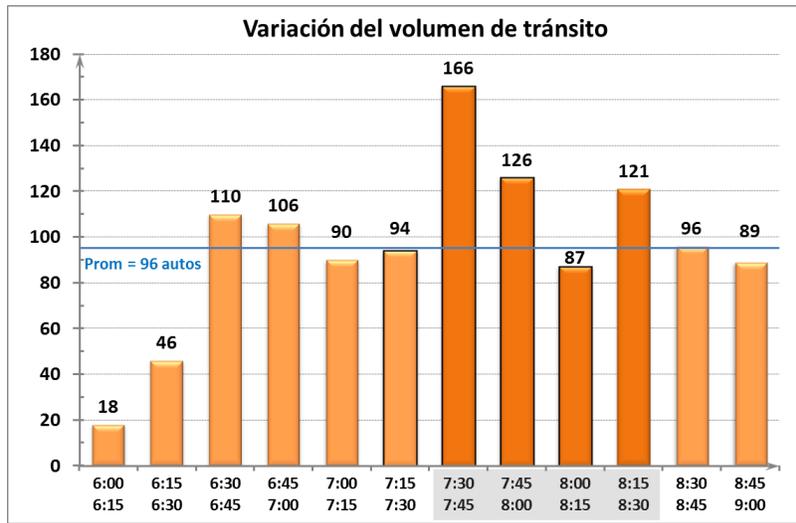
*Fuente: Elaboración propia.*

La hora pico es la misma que para toda la intersección, de 07:30 a 08:30 hrs. Como habíamos comentado anteriormente los movimientos en "E" ascienden a 1,149 y 500 de éstos conforman el VHMD, correspondientes al 44% de todos los movimientos, registrados en una sola hora.

**Variación del Volumen de Tránsito en la Estación E**

A diferencia de lo presentado en las intersecciones anteriores en las cuales se presentaba la variación del volumen de tránsito para toda la intersección, en este caso la información que se mostrará es la relativa a los movimientos en la estación E, que son aquellos que tienen incidencia directa dentro del sistema.

En la siguiente gráfica de histogramas se refleja el comportamiento que siguió el flujo vehicular relativo a "La Cartonera" en la intersección 3. El promedio de aforo por periodo es de 96 vehículos, sin embargo podemos observar que en la hora de máxima demanda se presentaron 166 vehículos en un solo periodo, de las 07:30 a las 07:45 horas, mientras que de las 06:00 a las 06:15 horas se presentó el periodo con menor flujo; 18 vehículos en total.



Gráfica 4.3-4 Variación del volumen de tránsito en el aforo vehicular de la estación E

Fuente: Elaboración propia.

Es importante resaltar que entre las 06:30 y las 07:30 horas se presentó un flujo muy uniforme; 110, 106, 90 y 94 vehículos cada periodo respectivamente, con una diferencia de sólo 20 vehículos entre los periodos de máximo y mínimo registro. En cambio en la hora pico del sistema la diferencia es de 79 vehículos entre los periodos de máximo (166) y mínimo (87) aforo vehicular.

#### 4.3.7 Variación del Volumen Horario en la Hora de Máxima Demanda

El movimiento vehicular no es constante, sino por el contrario él mismo sufre una serie de variaciones que dependen fundamentalmente del camino y de su localización. Los caminos rurales presentan variaciones del tránsito que son distintas a aquellas que experimentan las arterias y calles de una ciudad. Sin embargo, estas variaciones en el flujo del tránsito, presentan, para cada tipo de camino, una gran uniformidad o semejanza en las formas en que las mismas se presentan a lo largo del tiempo.

Un Factor de la Hora de Máxima Demanda (FHMD) igual a 1 querrá decir que los intervalos dentro de la hora pico son los mismos, entre más cercano a la unidad sea este factor los flujos tienen un comportamiento más uniforme, mientras que un FHMD más alejado de la unidad nos representará congestionamientos más severos en periodos dentro de la Hora de Máxima Demanda.

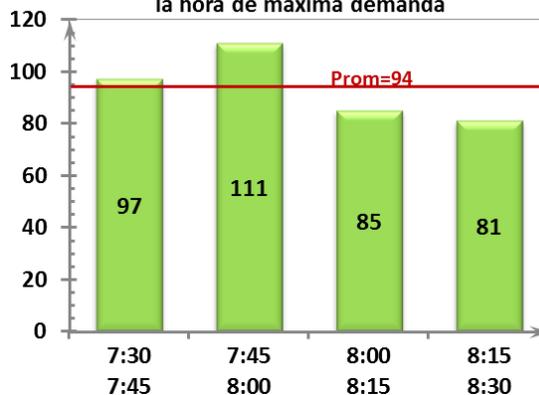
Con esta información previa determinaremos el FHMD para cada una de las intersecciones.

#### FHMD para la intersección 1

FHP Intersección 1

Hora Pico	# de autos
7:30 - 7:45	97
7:45 - 8:00	111
8:00 - 8:15	85
8:15 - 8:30	81
Σ=	374
Q máx=	111
Prom=	94

INT 1: Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda



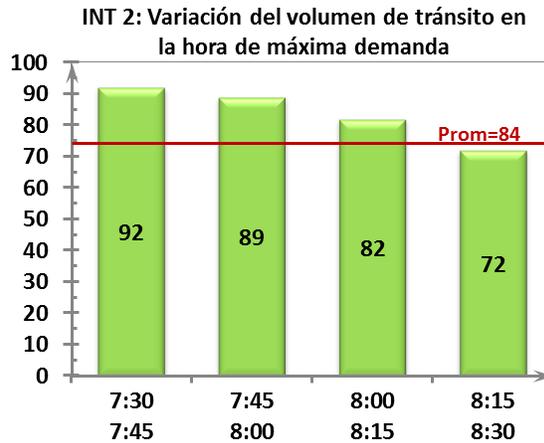
$$FHMD = \frac{374}{4(111)} = 0.842$$

Fuente: Elaboración propia.

**FHMD para la intersección 2**

FHP Intersección 2

Hora Pico	# de autos
7:30 - 7:45	92
7:45 - 8:00	89
8:00 - 8:15	82
8:15 - 8:30	72
Σ=	335
Q máx=	92
Prom=	84



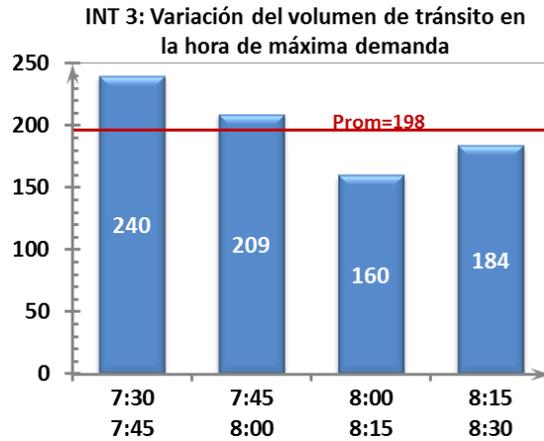
$$FHMD = \frac{335}{4(92)} = 0.910$$

Fuente: Elaboración propia.

**FHMD para la intersección 3**

FHP Intersección 3

Hora Pico	# de autos
7:30 - 7:45	240
7:45 - 8:00	209
8:00 - 8:15	160
8:15 - 8:30	184
Σ=	793
Q máx=	240
Prom=	198



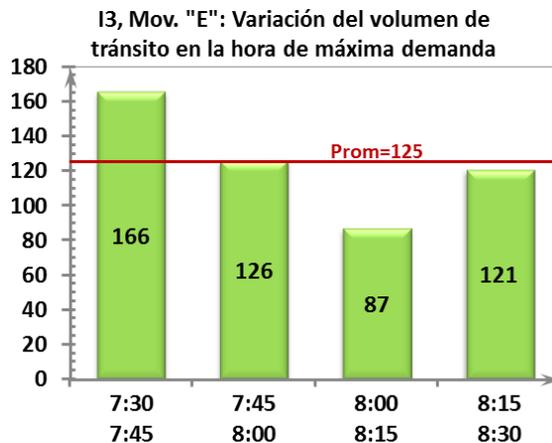
$$FHMD = \frac{793}{4(240)} = 0.826$$

Fuente: Elaboración propia.

**FHMD para la estación "E"**

FHP Intersección 3, Mov. en E

Hora Pico	# de autos
7:30 - 7:45	166
7:45 - 8:00	126
8:00 - 8:15	87
8:15 - 8:30	121
Σ=	500
Q máx=	166
Prom=	125



$$FHMD = \frac{500}{4(166)} = 0.753$$

*Fuente: Elaboración propia.*

Podemos observar que el FHMD de los movimientos sobre “La Cartonera” (0.753) es más pequeño que el general de toda la intersección (0.826) e incluso el más pequeño de las dos previas intersecciones; 0.842 y 0.910 respectivamente. Por lo tanto los flujos que entran y salen del sistema tienen un comportamiento más irregular, lo que provocará sobre “La Cartonera”, en la intersección 3, congestionamientos más intensos en intervalos de tiempo cortos.

#### 4.3.8 Determinación del VHMD dentro del Sistema

Para determinar la hora pico de todo el sistema se tomará como referencia todo lo que esté dentro de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*, contabilizando lo que entra y sale en cada intersección. Así en la siguiente tabla se muestran todos aquellos vehículos que se aforaron dentro del sistema.

**Tabla 4.3-11** Determinación del VHMD dentro del sistema

Hora	# de vehículos				D. Hora Pico
	Int. 1	Int. 2	I.3 (M. en "E")	TOTAL	
06:00 - 06:15	8	16	18	42	-
06:15 - 06:30	22	21	46	89	
06:30 - 06:45	49	35	110	194	
06:45 - 07:00	57	55	106	218	543
07:00 - 07:15	52	68	90	210	711
07:15 - 07:30	97	70	94	261	883
07:30 - 07:45	111	92	166	369	1058
07:45 - 08:00	85	89	126	300	1140
08:00 - 08:15	81	82	87	250	1180
08:15 - 08:30	77	72	121	270	1189
08:30 - 08:45	93	47	96	236	1056
08:45 - 09:00	64	72	89	225	981
Σ	796	719	1149	2664	

*Fuente: Elaboración propia.*

Como era de esperarse la hora pico de todo el sistema se presentó de 07:30 a 08:30 horas, situación que resultó predominante en el análisis de los casos anteriores. En esta hora obtuvimos el VHMD de 1189 vehículos contabilizados.

#### 4.3.9 Características de los Movimientos Dentro del Sistema en la HMD

En primera instancia haremos un análisis muy breve sobre el movimiento direccional en la estación E, la cual presenta la mayor complejidad. Posteriormente se mostrará el análisis de los flujos dentro de “La Cartonera” interpretando las diversas situaciones de los movimientos.

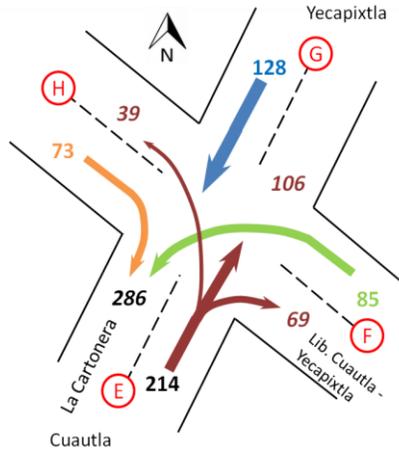
Cada característica de los viajes presentada en este bloque representa lo sucedido en la Hora de Máxima Demanda (HMD) de todo el sistema.

##### **Movimientos Direccionales en la Estación E**

Los movimientos en esta estación son los que alimentan al sistema en la parte norte de la carretera. En el siguiente esquema podemos observar la magnitud de los movimientos registrados en la HMD.

**Tabla 4.3-12** Característica de los movimientos direccionales de la estación E en la HMD

Movimiento	Número de autos		
E→F	214	69	32.2%
E→G		106	49.5%
E→H		39	18.2%
G→E	286	128	44.8%
H→E		73	25.5%
F→E		85	29.7%



Fuente: Elaboración propia.

**Movimientos de Cuautla a Yecapixtla y Viceversa**

Para tener una mejor certeza acerca del comportamiento de los movimientos que se presentan de Cuautla a Yecapixtla y Viceversa en la hora pico, es necesario comparar la información llegada y salida de vehículos en cada intersección. De esta manera podemos estimar lo que está sucediendo con los vehículos que de pierden o se ganan entre cada intersección.

A continuación presentaremos un resumen con los movimientos que se generaron en cada intersección en la hora pico del sistema, tomando en cuenta para cada caso el sentido en el que avanzan los automóviles.

**Movimientos hacia el norte, del Libramiento de Cuautla a Yecapixtla**

**Tabla 4.3-13** Características de los movimientos (al norte) de “La Cartonera” en la hora pico del sistema

INTERSECCIÓN 1		→	INTERSECCIÓN 2		→	INTERSECCIÓN 3
Mov. de A → B			Llegan de B	Avanzan a E		Llegan a E
Hora/Tipo	TOTAL	Se pierden	TOTAL	TOTAL	Se ganan	TOTAL
07:30 - 07:45	78	20	58	60	-13	47
07:45 - 08:00	53	0	53	56	-6	50
08:00 - 08:15	52	9	43	45	-5	40
08:15 - 08:30	40	0	40	40	37	77
<b>223</b>			<b>194</b>	<b>201</b>		<b>214</b>
Se pierden de I1 a I2:			Se ganan de I2 a I3:			
<b>29</b>			<b>13</b>			

Fuente: Elaboración propia.

En el tramo de Cuautla a la carretera a Huexca tienen su destino 29 automóviles, es por eso que dejaron de ser contabilizados en la intersección 2. Por otro lado en el tramo norte, entre la c. a Huexca y Yecapixtla se generaron 13 viajes más que los aforados en la misma intersección 2. En este último caso cabe la posibilidad de que exista una gran interacción de viajes en la zona industrial.

**Movimientos hacia el SUR, de Yecapixtla al Libramiento de Cuautla**

**Tabla 4.3-14** Características de los movimientos (al sur) de “La Cartonera” en la hora pico del sistema

INTERSECCIÓN 3 Entran hacia E		→	INTERSECCIÓN 2		→	INTERSECCIÓN 1 Llegan a B
Hora/Tipo	TOTAL	Se pierden	Llegan de E TOTAL	Avanzan a B TOTAL	Se ganan	TOTAL
07:30 - 07:45	119	87	32	21	12	33
07:45 - 08:00	76	43	33	23	9	32
08:00 - 08:15	47	10	37	31	-2	29
08:15 - 08:30	44	12	32	28	9	37
	<b>286</b>		<b>134</b>	<b>103</b>		<b>131</b>

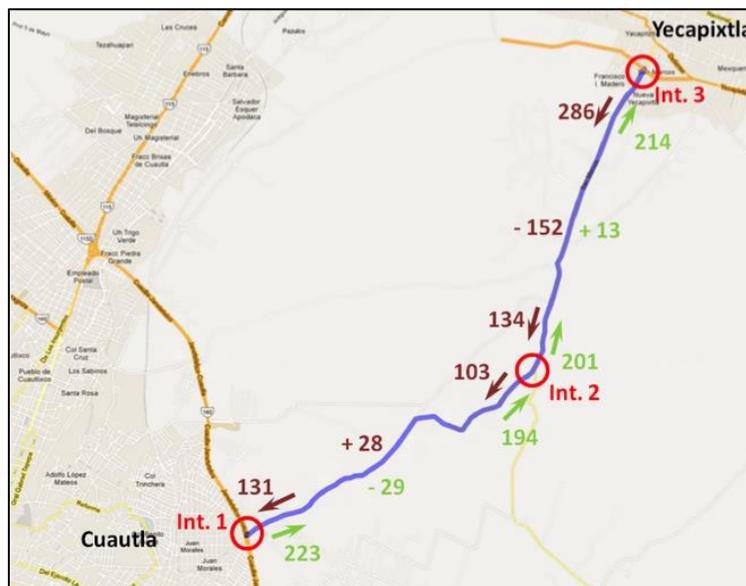
  

Se pierden de I3 a I2: <b>152</b>	Se ganan de I2 a I1: <b>28</b>
--------------------------------------	-----------------------------------

**Fuente:** Elaboración propia.

En la siguiente imagen se muestra esquemáticamente el resumen de la información prevista para la hora pico del sistema. Es importante señalar lo siguiente:

- De Yecapixtla a la intersección 2 se pierden 152 autos mientras que en el sentido contrario se ganan 13. Este fenómeno se presenta por que en este tramo se encuentra el “Parque Industrial Yecapixtla” y el Instituto Mexicano del Seguro Social IMSS. Lo que ocasiona una fuerte atracción de viajes.
- El 53.1 % de los vehículos que ingresan por la Intersección 3 en la Hora de Máxima Demanda tienen su destino en la Zona Industrial; 152 de 286 vehículos que entran.
  - En las tres horas de aforo (06:00 – 09:00) 697 vehículos ingresaron a “La Cartonera” por la misma intersección y sólo 307 llegaron hasta la intersección con la carretera a Huexca. Un total de 390 vehículos tuvieron su destino en la Zona Industrial; lo que representa el 56 % de los vehículos totales que ingresaron a la carretera.
- Entre la el libramiento de Cuautla y la intersección 2 se pierden y se ganan prácticamente la misma cantidad de autos, 29 y 28 respectivamente. Debemos recordar que los primeros 300 metros de *La Cartonera - Yecapixtla* es una zona conurbada, lo que ocasiona movimientos por los habitantes de esta frontera, ya sea que originen viajes de corto plazo o laborales.



**Ilustración 4.3-5** Característica de los flujos vehiculares de “La Cartonera” en la hora pico del sistema.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Aforos en cada una de las intersecciones**

**Tabla 4.3-15** Aforos vehiculares para cada una de las intersecciones.

Tipo de Aforo	VHMD						Volumen de las 06:00 a las 09:00 horas					
	Intersección 1		Intersección 2		Intersección 3		Intersección 1		Intersección 2		Intersección 3	
Aforo vehicular	386	72.6%	-		532	100.0%	858	70.3%	-		1,220	100.0%
Aforo direccional	374	74.8%	335	67.0%	500	100.0%	796	69.5%	719	62.7%	1,146	100.0%

*Fuente: Elaboración propia.*

En la tabla 5.3-15 podemos observar los volúmenes de tránsito obtenidos para cada una de las intersecciones. Tanto en la Hora de Máxima Demanda como en el aforo de las 06:00 a las 09:00 horas. En ambos casos se muestra el volumen obtenido y el porcentaje correspondiente con respecto al volumen de la intersección 3.

Para el VHMD:

- La intersección 1 maneja entre el 73 % y 75 % respecto al volumen de la intersección 3.
- El Volumen registrado en la intersección 2 es un 8% menor que el de la intersección 1.

Para el volumen aforado en las tres horas de coincidencia (de 06:00 a 09:00 horas):

- El volumen de la intersección 1 es el 70 % respecto al volumen de la intersección 3.
- La diferencia de volúmenes entre las intersecciones uno y dos es del 7 %.

Bajo el análisis hecho de estos datos es posible interpretar que existen dos tramos dentro de la carretera La Cartonera – Yecapixtla con una gran diferencia de volúmenes de tránsito. Como se describió anteriormente la Zona Industrial, donde se encuentra también el IMSS, está generando una gran cantidad de viajes con respecto a la intersección 3; situación por la cual los flujos del tránsito son tan distintos. Por lo tanto, podemos definir dos grandes tramos dentro de la carretera:

- Tramo A; de Cuautla (Intersección 1) a la Zona Industrial, y
- Tramo B; de la Zona Industrial a Yecapixtla (Intersección 3).

**4.3.10 Composición del Volumen de Tránsito Dentro del Sistema**

En seguida se presenta el total de vehículos aforados dentro de la carretera “La Cartonera”, discrepando entre su clasificación vehicular.

**Tabla 4.3-16** Composición del volumen del tránsito dentro del sistema

Hora/Movs.	Tipo de Vehículos					Total
	A	B	C	T-S	N	
06:00 - 06:15	40	0	2	0	0	<b>42</b>
06:15 - 06:30	77	1	2	0	9	<b>89</b>
06:30 - 06:45	177	0	3	0	14	<b>194</b>
06:45 - 07:00	192	0	2	3	21	<b>218</b>
07:00 - 07:15	188	0	4	4	14	<b>210</b>
07:15 - 07:30	235	0	2	4	20	<b>261</b>
07:30 - 07:45	327	0	7	1	34	<b>369</b>
07:45 - 08:00	274	0	2	4	20	<b>300</b>
08:00 - 08:15	227	0	2	3	18	<b>250</b>
08:15 - 08:30	239	0	5	2	24	<b>270</b>
08:30 - 08:45	219	0	6	3	8	<b>236</b>
08:45 - 09:00	199	0	2	3	21	<b>225</b>
Σ	2394	1	39	27	203	<b>2664</b>
%	89.86%	0.04%	1.46%	1.01%	7.62%	

*Fuente: Elaboración propia.*

De la información procesada podemos concluir que:

- El 89.9% de los movimientos son vehículos tipo A; 2,394 viajes.
- Sólo el 2.47% son movimientos de camiones o tracto-camiones, 66 viajes.
- Un considerable 7.62% de movimientos son realizados por otro tipo de vehículos, en su gran mayoría motocicletas, en total éstos realizan 203 viajes.

## 4.4 Estimación del Volumen Horario de Máxima Demanda

### 4.4.1 Introducción

Como sabemos el Volumen Horario de Máxima Demanda es el número máximo de vehículos que pasan por un punto de una carretera durante un periodo de 60 minutos consecutivos. Este tipo de volumen se usa para determinar la clasificación funcional de la carretera, definir el diseño de las características geométricas de una carretera, por ejemplo, número de carriles o canalización del tránsito, diseñar la señalización de las intersecciones, realizar los análisis de capacidad, entre otros.

Además, el Volumen Horario de Máxima Demanda es de suma importancia para determinar el Volumen Horario de Proyecto y estimar así el TDPA, ya que con estos datos proyectaremos geoméricamente las dimensiones de la carretera.

### 4.4.2 Objetivo

Bajo la información recabada de los aforos realizados, determinar el Volumen Horario de Máxima Demanda aplicable al Tramo A y al Tramo B de la carretera La Cartonera – Yecapixtla; teniendo como base los conteos de las Intersecciones uno y tres respectivamente.

### 4.4.3 Comparación de Resultados Obtenidos en los Aforos Realizados

Es necesario para estimar el VHMD de la carretera analizar y comparar los resultados obtenidos en los dos aforos realizados, vehicular y direccional. El Aforo Vehicular se realizó el martes 19 de febrero del 2013, mientras que el Aforo Direccional se realizó el miércoles 17 de febrero del mismo año, ocho días después que el conteo previo. Se compararán únicamente las intersecciones uno y tres, Cuautla y Yecapixtla respectivamente, ya que fueron los cruces que repitieron aforo.

#### **Intersección 1. Libramiento de Cuautla**

Los aforos realizados en esta intersección fueron realmente muy congruentes, el VHMD fue de 386 vehículos en el aforo vehicular y de 374 en el aforo direccional, mientras que la Hora de Máxima Demanda en el primer caso se presentó de las 07:00 a las 08:00 horas, retrasándose 15 minutos para el aforo direccional, de 07:15 a 08:15 horas. En la tabla podemos observar el resumen de los conteos realizados.

**Tabla 4.4-1** Comparación del VHMD de la intersección 1

Aforo Vehicular		Aforo Direccional	
Periodo	No. De Vehículos	Periodo	No. De Vehículos
7:00 - 7:15	78	7:15 - 7:30	97
7:15 - 7:30	84	7:30 - 7:45	111
7:30 - 7:45	124	7:45 - 8:00	85
7:45 - 8:00	100	8:00 - 8:15	81
VHMD = 386		VHMD = 374	

**Fuente:** Elaboración propia.

- La diferencia entre el VHMD de cada aforo es de sólo 12 vehículos.
- La hora pico del aforo direccional se presentó 15 minutos después que el aforo vehicular, de 07:15 a 08:15 horas.

#### **Intersección 3. Libramiento Cuautla – Yecapixtla**

En esta intersección se presentaron resultados parecidos, sin embargo hubo algunas diferencias en cuanto a la hora pico resultante. En la tabla 5.4-2 podemos observar el resumen de la información.

**Tabla 4.4-2** Comparación del VHMD de la intersección 3

Aforo Vehicular		Aforo Direccional	
Periodo	No. De Vehículos	Periodo	No. De Vehículos
7:00 - 7:15	97	7:30 - 7:45	166
7:15 - 7:30	119	7:45 - 8:00	126
7:30 - 7:45	168	8:00 - 8:15	87
7:45 - 8:00	148	8:15 - 8:30	121
VHMD = 532		VHMD = 500	

**Fuente:** Elaboración propia.

- El VHMD presenta una diferencia de sólo 32 conteos; 532 vehículos en el aforo vehicular contra los 500 del aforo direccional.
- La hora pico en cambio presenta una ligera diferencia, presentándose de 07:00 a 08:00 horas y de 07:30 a 08:30 horas para el aforo vehicular y el aforo direccional respectivamente.

### **Variación Diaria del Volumen Vehicular**

Los volúmenes de tránsito deben ser considerados como dinámicos, por lo que solamente son precisos para el periodo de duración de los aforos. Sin embargo, sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, si tenemos conocimiento de estas características podremos relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar.

Se ha estudiado cuáles son los días de la semana que llevan volúmenes normales de tránsito. Así para carreteras principales de lunes a viernes los volúmenes son estables; los máximos generalmente se registran durante el fin de semana, debido a que circula una alta demanda de usuarios tipo turístico y recreacional. En carreteras secundarias, como la de este proyecto, los máximos se presentan entre semana.

Las ligeras diferencias encontradas en estos conteos atienden principalmente a dos situaciones; en principio es improbable que dos aforos cualesquiera tengan exactamente los mismos resultados, y además, es muy importante tener en cuenta la variación diaria que sigue el TDPA, en este caso los estudios se realizaron martes y miércoles.

Para tal situación la Dirección General de Servicios Técnicos, S.C.T., publica en su libro de Datos Viales la variación del volumen vehicular en porcentaje de acuerdo al día de la semana. En las “Gráficas 4.2-1 Datos Viales 2013, D.G.S.T., S.C.T.” presentadas en el capítulo 4.2.1 *Recolección de Datos Viales* de este trabajo, podemos observar la variación diaria de volumen de la Carretera 5; Lib. de Cuautla y de la Carretera 32; Ramal a Tetela del Volcán, vialidades con incidencia en las intersecciones 1 y 3 respectivamente. De estas gráficas podemos rescatar la siguiente información:

Variación de Volumen en %		Martes	Miércoles
Carr 5. Lib. de Cuautla	Sent. 1	94.1%	90.3%
	Sent. 2	93.2%	92.0%
Carr 32. Ramal Tetela del Volcán	Ambos S.	101.4%	100.4%

En todos los casos anteriores el día martes presenta un índice más alto de volumen respecto al día miércoles. Bajo esta información es de esperarse que los aforos vehiculares, realizados en día martes, sean ligeramente mayores en volumen a los aforos direccionales, realizados en miércoles. Tal y como sucede para nuestros conteos;

VHMD	Aforo	
	Vehicular (Mar)	Direccional (Mie)
Intersección 1	386	374
Intersección 3	532	500

#### 4.4.4 Determinación del VHMD de “La Cartonera”

Bajo todos los estudios y análisis hechos previamente podemos interpretar que la carretera “La Cartonera” tiene dos distintos flujos vehiculares, éste análisis se explicó con detalle en el capítulo Volúmenes de Tránsito Direccionales. En términos prácticos podemos establecer un volumen de tránsito para dos tramos representativos: el Tramo A de Cuautla (intersección 1) a la Zona Industrial y el Tramo B de la Zona Industrial a Yecapixtla (intersección 3).

El Volumen Horario de Máxima Demanda lo obtendremos mediante un promedio simple entre los aforos vehicular y direccional, para las intersecciones uno y tres representativas del Tramo A y Tramo B respectivamente.

- Tramo A, Cuautla – Zona Industrial

$$VHMD = \frac{386 + 374}{2} \quad \therefore VHMD = 380 \text{ veh\u00edculos}$$

- Tramo B, Zona Industrial – Cuautla

$$VHMD = \frac{532 + 500}{2} \quad \therefore VHMD = 516 \text{ veh\u00edculos}$$

## 4.5 Estimación del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)

### 4.5.1 Introducción

Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho periodo de medición. Tratándose de un promedio simple, el TPDA no refleja las variaciones extremas que, por el límite superior, pueden llegar a duplicar los volúmenes promedios del tránsito en algunas carreteras.

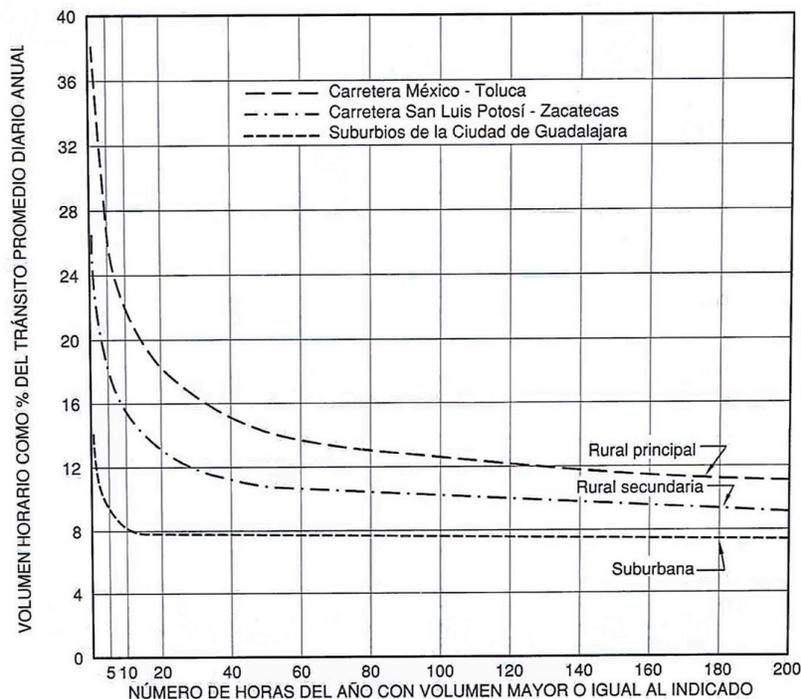
No obstante, conocer o estimar el Tránsito Diario Promedio Anual es crucial para cualquier tipo de proyecto carretero. Este valor en especial es un indicador numérico de diseño de las carreteras, además de ser un factor determinante para calcular el Volumen Horario de Proyecto con el cual vamos a proyectar y rediseñar geoméricamente calles e intersecciones.

### 4.5.2 Objetivo

Con base en los resultados obtenidos en la estimación del Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD) y la relación que existe entre el Volumen Horario de Proyecto (VHP) y el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), determinaremos el TDPA representativo para el Tramo A, de Cuautla a la Zona Industrial, y del Tramo B, de la Zona Industrial a Yecapixtla. Así mismo, haremos una proyección del volumen de tránsito a futuro con los resultados recabados.

### 4.5.3 Relación Entre el Volumen Horario de Proyecto y el Tránsito Diario Promedio Anual

Si se hiciera una lista de los volúmenes de tránsito horario que se presentan en el año, en orden descendente, sería posible determinar los volúmenes horarios de la 10<sup>a</sup>, 20<sup>ava</sup>, 30<sup>ava</sup>, 50<sup>ava</sup>, o 100<sup>ava</sup> hora de máximo volumen. Una guía para determinar el *volumen horario de proyecto VHP* es precisamente una curva que indique la variación de los volúmenes de tránsito horario durante el año. La figura siguiente muestra tres curvas que relacionan los volúmenes horarios más altos del año y el *tránsito promedio* diario anual TDPA, de las carreteras nacionales.



**Gráfica 4.5-1** Relaciones entre los volúmenes horarios más altos del año y el tránsito promedio diario anual TDPA.

**Fuente:** Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, México, 1991.

Estas curvas también indican que los volúmenes de tránsito horario en una carretera presentan una amplia distribución durante el año y que, en términos generales, la mayor parte del volumen de tránsito ocurre durante un número relativamente pequeño en horas.

Comúnmente se utiliza el volumen de la 30ava hora, estimado al futuro, para fines de proyecto. Por lo tanto, como se puede apreciar en estas curvas, el volumen horario de proyecto para esta hora está comprendido entre el 8% y el 16% del TDPA. Así para carreteras suburbanas, el volumen de proyecto de la 30ava hora es aproximadamente el 57% de la hora de máximo volumen ( $8\% \div 14\%$ ), para carreteras rurales secundarias el 46% ( $12\% \div 26\%$ ) y para carreteras rurales principales el 42% ( $16\% \div 38\%$ ). Estos porcentajes significan un ahorro considerable en el proyecto de la sección transversal con un buen criterio en la selección del volumen horario pronosticado. En ocasiones quizá convenga considerar la 50ava hora de máximo volumen, como norma de proyecto, en condiciones de presupuestos muy limitados.

De acuerdo a lo anterior en los proyectos de carreteras, el volumen horario de proyecto VHP, para el año de proyecto en función del tránsito promedio diario anual TDPA se expresa como:

$$VHP = k(TDPA)$$

Donde:

k = valor esperado de la relación entre el volumen de la n-ava hora máxima seleccionada y el TDPA del año de proyecto.

Tomando como referencia las tres curvas anteriores, si se selecciona el volumen de la 30ava hora como el de proyecto, para proyecciones a años futuros en carreteras, se recomiendan los siguientes valores de k:

- Para carreteras suburbanas:  $k = 0.08$
- Para carreteras rurales secundarias:  $k = 0.12$
- Para carreteras rurales principales:  $k = 0.16$

Bajo esta información y sabiendo que la carretera “La Cartonera”, que va de Cuautla a Yecapixtla, es una carretera rural secundaria, podemos estimar para la misma un valor  $k = 0.12$ , el cual es un dato representativo entre los caminos de su tipo.

¿Cómo saber que n-ava hora de máximo volumen representa cada uno de nuestros Volúmenes Horarios de Máxima Demanda?, sencillamente es imposible conocer este dato con sólo dos aforos vehiculares realizados y sin más información previa de esta carretera. Probablemente éstos dos sean las horas de mínimo volumen, o quizá las dos horas con mayor flujo vehicular presentadas en el año, sin embargo, en términos prácticos, ingenierilmente, y en especial para los fines de este trabajo; es importante considerar que nuestros datos obtenidos son la información representativa de la carretera.

Bajo estas circunstancias consideraremos nuestros volúmenes horarios de máxima demanda, 380 vehículos en el Tramo 1 y 516 vehículos en el Tramo 2, como si fueran la 30ava hora de máximo volumen. Esta suposición representaría para cada Tramo un Volumen Horario de Proyecto estimado al día de hoy.

Poniéndonos en contexto, dada la relación entre el volumen horario de proyecto y el tránsito diario promedio anual, sabemos que el VHP se determina a partir de conocido el TDPA. En nuestro caso, es justamente el TDPA el dato que queremos estimar, para lo cual ocuparemos esta relación a la inversa, es decir, a partir del VHP; obtenido como la 30ava hora de máximo volumen, y el valor  $k$  para carreteras rurales secundarias estimaremos el TDPA actual de “La Cartonera”. Así, la relación quedaría de la siguiente manera:

$$VHP = k (TDPA)$$

Donde:

$K = 0.12$  es el valor esperado entre el volumen de la n-ava hora máxima seleccionada y el TDPA, para carreteras rurales secundarias.

$$VHP = VHMD_{30}$$

Por lo tanto:

$$TDPA = \frac{VHMD_{30}}{0.12}$$

#### 4.5.4 Obtención del TDPA

Bajo toda la información presentada y considerando los supuestos mencionados, es posible calcular el TDPA para cada uno de los tramos de “La Cartonera” a partir de su VHMD, estimados en el capítulo anterior.

##### **Obtención del TDPA para el Tramo A, Cuautla – Zona Industrial**

El  $VHMD_{30}$  para este tramo es de 380 vehículos, por lo tanto:

$$TDPA_{T1} = \frac{VHMD_{30-T1}}{0.12} = \frac{380}{0.12} \quad \therefore TDPA_{T1} = 3,167 \text{ veh\u00edculos}$$

##### **Obtención del TDPA para el Tramo B, Zona Industrial – Yecapixtla**

El  $VHMD_{30}$  estimado para este tramo fue de 516 vehículos, por lo tanto:

$$TDPA_{T2} = \frac{VHMD_{30-T2}}{0.12} = \frac{516}{0.12} \quad \therefore TDPA_{T2} = 4,300 \text{ veh\u00edculos}$$

#### 4.5.5 Proyecciones del Volumen de Tránsito

Es necesario realizar proyecciones de volumen de tránsito por que la carretera estará operando una gran cantidad de años, y en el futuro los volúmenes de tránsito podrán crecer o disminuir de acuerdo a las condiciones económicas por las que atraviese el país.

El Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), recomienda utilizar para la evaluación socioeconómica de proyectos y programas de inversión en México, la tasa de crecimiento media anual (TCMA) del Producto Interno Bruto (PIB) para 2012 de 3.30%, y para los años posteriores, la tasa de largo plazo de 2.54%.

La tasa de 3.30% es la aprobada por el Congreso de la Unión en el Paquete Económico del Presupuesto de Egresos de la Federación para 2012. El 2.54% corresponde a la tasa anual promedio del PIB real desestacionalizado sobre el periodo 1980-2012, que se calculó a partir de la tasa de crecimiento media trimestral del PIB de 0.63%  $((1+0.63\%)^4 - 1 = 2.54\%)$ .

*¿Qué es el CEPEP?*

El Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), es un fideicomiso creado en el año de 1994 por el gobierno federal por conducto de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y administrado por el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (Banobras). Este centro tiene como propósito contribuir a optimizar el uso de los recursos destinados a la realización de proyectos y programas de inversión, así como la capacitación permanente en preparación y evaluación socioeconómica de proyectos.

Por lo tanto para las proyecciones de tránsito en este proyecto utilizaremos la tasa de crecimiento media anual y la tasa de largo plazo del PIB para los casos siguientes. Las proyecciones las calcularemos de la siguiente manera:

$$TDPA_F = TDPA_A * (1 + TC)^i$$

Donde:

$TDPA_F$  = Tránsito Diario Promedio Anual Futuro

$TDPA_A$  = Tránsito Diario Promedio Anual Actual

$TC$  = Tasa de Crecimiento del PIB

$i$  = años de proyección

#### **Al inicio de operaciones de la alternativa (2014)**

Para hacer la proyección de volumen de tránsito en este caso, utilizaremos la Tasa de Crecimiento Media Anual del PIB (3.30 %), debido a que estamos a un año (2014) de que se cumpla la primera condición.

##### **Tramo A, Cuautla – Zona Industrial**

$$TDPA_{2014} = TDPA_A * (TC)^i = 3,167 * (1 + 0.033)^1$$

$$\therefore TDPA_{2014} = 3,271 \text{ veh\u00edculos}$$

##### **Tramo B, Zona Industrial – Yecapixtla**

$$TDPA_{2014} = TDPA_A * (TC)^i = 4,300 * (1 + 0.033)^1$$

$$\therefore TDPA_{2014} = 4,442 \text{ veh\u00edculos}$$

#### **A 10 años de operación de la alternativa (2024)**

Al ser ésta una proyección a largo plazo, estimaremos el volumen futuro con la tasa anual promedio del PIB (2.54 %).

##### **Tramo A, Cuautla – Zona Industrial**

$$TDPA_{2024} = TDPA_A * (TC)^i = 3,167 * (1 + 0.0254)^{11}$$

$$\therefore TDPA_{2024} = 4,173 \text{ veh\u00edculos}$$

##### **Tramo B, Zona Industrial – Yecapixtla**

$$TDPA_{2024} = TDPA_A * (TC)^i = 4,300 * (1 + 0.0254)^{11}$$

$$\therefore TDPA_{2024} = 5,666 \text{ veh\u00edculos}$$

## 4.6 Velocidad Puntual

### 4.6.1 Introducción

La calidad de viaje es asociada a menudo con la velocidad o tiempo del recorrido. Por este motivo la velocidad es un factor importante en el transporte, ya que tiene implicaciones económicas, de seguridad, de tiempo y servicio (confort), tanto para el conductor como para el público en general.

### 4.6.2 Objetivo

Identificar la velocidad de operación que mantienen los vehículos en las inmediaciones de las intersecciones mencionadas.

### 4.6.3 Metodología

Para la correcta realización de un estudio de velocidad puntual, éste debe realizarse en una vía de flujo continuo; deben evitarse puntos cercanos a semáforos, cruces peatonales o con otras avenidas, curvas y señales de tránsito en general; que puedan afectar las condiciones de flujo de los autos.

Este estudio en particular se realizará en tres puntos clave, para fines prácticos en las inmediaciones de la intersección 1 Libramiento Cuautla – C. “La Cartonera”, Intersección 2 C. “La Cartonera” – C. a Huexca e Intersección 3 C. “La Cartonera” – Libramiento Cuautla - Yecapixtla. Tomando en cuenta que la ubicación exacta del estudio deberá priorizar lo comentado anteriormente.

Se decidió determinar la velocidad puntual utilizando el método de la trampa, el cual consiste en medir una longitud de base adecuada y contabilizar el tiempo que los vehículos tardan en recorrerla. Aun cuando ésta es una velocidad de un pequeño tramo, para fines prácticos se supone que esta es la velocidad puntual en la zona de referencia.

Para determinar la longitud base, Box y Oppenlander (1985) recomiendan en condiciones ordinarias de operación de la vía:

**Tabla 4.6-1** Longitud base de medición, Box y Oppenlander, 1985.

Longitud (m)	Velocidades (km/h)
25	hasta 45
50	entre 45 y 100
75	mayores a 100

**Fuente:** Elaboración propia.

Esperando que a lo largo de la carretera se encontrarán velocidades entre 30 y 80 Km/hr, se optó por asignar una longitud base de 50 m para el estudio en cada uno de los tres casos.

### 4.6.4 Tamaño Mínimo de la Muestra

El tamaño de la muestra dependerá del nivel de confiabilidad (K) que se busque en los resultados, de la desviación estándar (S) de las velocidades que ya se tuvieron recabadas en el lugar de estudio y del error permitido (e) en la determinación de la velocidad. Así, dicho tamaño de la muestra se puede determinar con la siguiente expresión:

$$n = \left( \frac{K * S}{e} \right)^2$$

Donde:

n: tamaño apropiado de la muestra

S: desviación estándar de las velocidades

e: error permitido en la estimación de la velocidad media en todo el tránsito

K: constante correspondiente al nivel de confiabilidad

En los casos, como el estudiado actualmente, no se hayan efectuado estudios anteriores, se sugiere una desviación estándar promedio de 8.0 Km/h, como valor empírico para velocidades de punto en cualquier tipo de vía y de tránsito. Igualmente, el error permitido puede fluctuar entre  $\pm 8$  km/h y  $\pm 1.5$  km/h o incluso menos. Usualmente se usa un valor de 2 km/h para el error permitido.

Para seleccionar el valor de la constante K de acuerdo al nivel de confianza requerido, se muestra la siguiente correlación:

**Tabla 4.6-2** Constante correspondiente al nivel de confiabilidad

Constante "K"	Nivel de Confiabilidad
1.00	68.3%
1.50	89.6%
1.64	90.0%
1.96	96.0%
2.00	95.5%
2.50	98.7%
2.58	99.0%
3.00	99.7%

**Fuente:** Ingeniería de Tránsito, 8a. edición. (Cal y Mayor R. & Cárdenas G., 2010)

Con los previos revisados podemos determinar el tamaño de la muestra a observar, tomando en cuenta que se quiere un nivel de confiabilidad del 95.5 % por lo tanto,  $K= 2.00$ . Por otro lado  $S= 8\text{km/h}$  y  $e= 2\text{km/h}$ ;

$$n = \left( \frac{K * S}{e} \right)^2 = \left( \frac{2.00 * 8.0}{2.0} \right)^2 = 64$$

El tamaño mínimo de la muestra resultó de 64 vehículos, para los estudios de este proyecto se recolectará un acumulado de 70 automóviles.

#### 4.6.5 Uso de los percentiles

La velocidad correspondiente al percentil 50,  $P_{50}$ , es utilizado como una medida de la calidad de flujo vehicular y es aproximadamente igual a la velocidad media. El percentil 15,  $P_{15}$ , se refiere al límite inferior de la velocidad, mientras que el percentil 98,  $P_{98}$ , se utiliza para establecer la velocidad de proyecto.

En la realidad y particularmente en el estudio de este proyecto el percentil que nos interesa estudiar es el percentil 85,  $P_{85}$ , y se refiere a la velocidad crítica a la cual se debe establecer el límite máximo de velocidad en conexión con los dispositivos del control del tránsito que la deben restringir.

#### 4.6.6 Amplitud, Intervalos de clase y ancho del intervalo.

Un análisis de información de velocidades puntuales requiere determinar e interpretar estos tres conceptos: amplitud, intervalos de clase y ancho del intervalo.

La amplitud es la gama de velocidades totales que se presentan durante toda la muestra, se determina realizando la diferencia entre la velocidad máxima y la velocidad mínima registradas. Así, la  $\text{amplitud} = \text{Vel}_{\text{máx}} - \text{Vel}_{\text{mín}}$ .

A los rangos entre los cuales se subdivide la amplitud se les denomina intervalos de clase, y son el número de subconjuntos en los cuales se categoriza toda la muestra de velocidades.

El ancho de intervalo no es más que el rango de velocidades de los intervalos de clase, siendo el mismo valor para cada uno de éstos. Se determina dividiendo la amplitud entre el número de intervalos de clase.

#### 4.6.7 Análisis de Información

##### Intersección 1. Libramiento Cuautla – C. “La Cartonera”

A continuación se presenta un resumen con los datos recabados en la zona de estudio adyacente a la intersección 1.

**Tabla 4.6-3** Obtención de las velocidades de operación en la intersección 1

Muestra	Tiempo [s]	Vel [m/s]	Vel [km/hr]	Muestra	Tiempo [s]	Vel [m/s]	Vel [km/hr]	Muestra	Tiempo [s]	Vel [m/s]	Vel [km/hr]
63	5.97	8.38	30.15	2	3.49	14.33	51.58	25	2.99	16.72	60.20
26	4.93	10.14	36.51	56	3.46	14.45	52.02	49	2.99	16.72	60.20
18	4.74	10.55	37.97	28	3.43	14.58	52.48	52	2.98	16.78	60.40
19	4.71	10.62	38.22	22	3.38	14.79	53.25	4	2.96	16.89	60.81
61	4.56	10.96	39.47	67	3.38	14.79	53.25	15	2.93	17.06	61.43
9	4.52	11.06	39.82	31	3.37	14.84	53.41	60	2.89	17.30	62.28
62	4.42	11.31	40.72	59	3.34	14.97	53.89	29	2.87	17.42	62.72
1	4.41	11.34	40.82	6	3.33	15.02	54.05	66	2.86	17.48	62.94
23	4.40	11.36	40.91	37	3.32	15.06	54.22	3	2.84	17.61	63.38
30	4.18	11.96	43.06	12	3.31	15.11	54.38	50	2.84	17.61	63.38
17	4.07	12.29	44.23	10	3.30	15.15	54.55	65	2.84	17.61	63.38
13	3.97	12.59	45.34	20	3.30	15.15	54.55	44	2.82	17.73	63.83
55	3.86	12.95	46.63	69	3.30	15.15	54.55	47	2.79	17.92	64.52
36	3.85	12.99	46.75	38	3.27	15.29	55.05	57	2.72	18.38	66.18
68	3.74	13.37	48.13	27	3.26	15.34	55.21	48	2.69	18.59	66.91
39	3.72	13.44	48.39	21	3.25	15.38	55.38	8	2.68	18.66	67.16
54	3.72	13.44	48.39	40	3.22	15.53	55.90	45	2.68	18.66	67.16
70	3.72	13.44	48.39	42	3.21	15.58	56.07	35	2.67	18.73	67.42
34	3.68	13.59	48.91	51	3.20	15.63	56.25	32	2.54	19.69	70.87
14	3.67	13.62	49.05	16	3.16	15.82	56.96	5	2.41	20.75	74.69
43	3.66	13.66	49.18	11	3.12	16.03	57.69	33	2.35	21.28	76.60
24	3.60	13.89	50.00	46	3.08	16.23	58.44	58	2.20	22.73	81.82
7	3.54	14.12	50.85	64	3.02	16.56	59.60				
53	3.52	14.20	51.14	41	3.00	16.67	60.00				

Fuente: Elaboración propia.

De los datos recabados en campo se determinó la siguiente información:

<b>Velocidad Máxima =</b>	<b>81.82 [km/h]</b>
<b>Velocidad Mínima =</b>	<b>30.15 [km/h]</b>
<b>Velocidad Media =</b>	<b>54.77 [km/h]</b>
<b>Percentil 85 =</b>	<b>63.67 [km/h]</b>
<b>Amplitud =</b>	<b>52 [km/h]</b>
<b>Intervalos de clase =</b>	<b>8</b>
<b>Ancho de intervalo =</b>	<b>6.50 [km/h]</b>

Como se comentó anteriormente la amplitud es la diferencia entre las velocidades máxima y mínima registradas, por lo tanto amplitud = 81.82 – 30.15 ≈ 52 km/h. Por comodidad se asignaron 8 intervalos de clase, lo que establece un ancho de intervalo de 6.50 km/h.

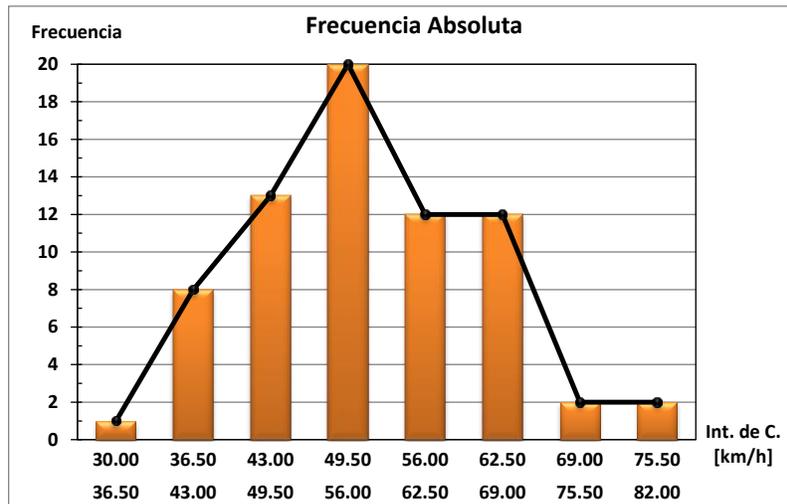
Una vez identificado el número de intervalos de clase y el rango que ocupa cada uno de ellos, podemos componer la siguiente tabla que agrupa: intervalos de clase, frecuencia observada absoluta [fi], frecuencia observada relativa [fi %], frecuencia acumulada absoluta [Fi] y frecuencia absoluta relativa [Fi %].

**Tabla 4.6-4** Intervalos de clases y frecuencias de las velocidades de la intersección 1

Intervalo de Clase [km/hr]		Frecuencia Observada		Frecuencia Acumulada	
		fi	fi [%]	Fi	Fi [%]
30.00	36.50	1	1.4%	1	1.4%
36.50	43.00	8	11.4%	9	12.9%
43.00	49.50	13	18.6%	22	31.4%
49.50	56.00	20	28.6%	42	60.0%
56.00	62.50	12	17.1%	54	77.1%
62.50	69.00	12	17.1%	66	94.3%
69.00	75.50	2	2.9%	68	97.1%
75.50	82.00	2	2.9%	70	100.0%
		70	100.0%		

*Fuente: Elaboración propia.*

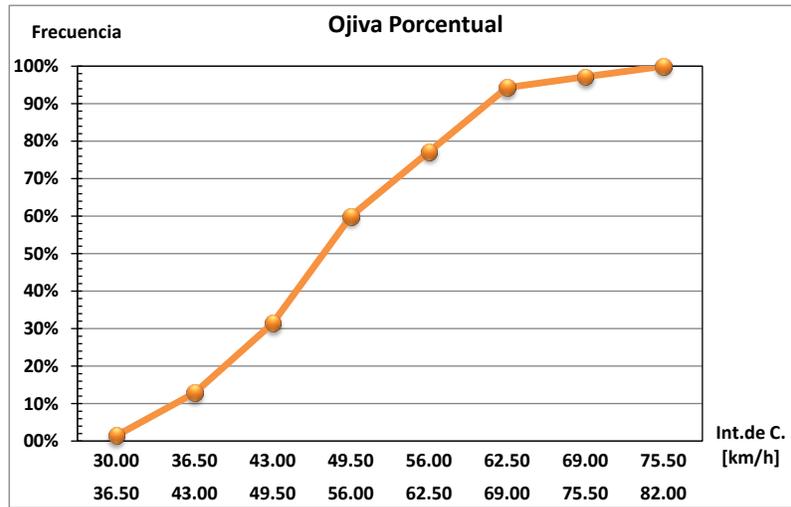
Con los resultados presentados en la tabla anterior, es posible construir el histograma de frecuencia absoluta, que no es más que la representación de los datos obtenidos, frecuencia en el eje vertical, y el rango de velocidad o marcas de clase en el eje de las x. En la misma gráfica se muestra también el polígono de frecuencias absolutas.



**Gráfica 4.6-1** Frecuencia absoluta de las velocidades de la intersección 1

*Fuente: Elaboración propia.*

La ojiva es el polígono de frecuencias acumuladas, es decir, que en ella se permite ver cuántas observaciones se encuentran por encima o debajo de ciertos valores.



**Gráfica 4.6-2** Polígono de frecuencias acumuladas de las velocidades de la intersección 1

**Fuente:** Elaboración propia.

De la información recabada se interpreta que:

- La velocidad promedio de los automóviles se presentó de 54.7 km/h.
- 20 de los 70 vehículos (29 %) avanzan entre 49.5 y 56 km/h.
- Prácticamente el 80 % de los vehículos circulan entre 30 y 63 km/h.
- Sólo el 5.8 % de los vehículos circulan a velocidades por encima de los 70 km/h.
- El percentil 85 nos indica que la velocidad máxima de operación es de 63.7 km/h. Sin embargo para términos prácticos de operación y de señalización, se debería implementar en este tramo una velocidad máxima de 60 km/h.

**Intersección 2. C. “La Cartonera” – C. a Huexca**

A continuación se muestran las velocidades en orden ascendente recabadas en las inmediaciones de la intersección 2.

**Tabla 4.6-5** Intervalos de clases y frecuencias de las velocidades de la intersección 2

Muestra	Tiempo [s]	Vel [m/s]	Vel [km/hr]	Muestra	Tiempo [s]	Vel [m/s]	Vel [km/hr]	Muestra	Tiempo [s]	Vel [m/s]	Vel [km/hr]
11	7.38	6.78	24.39	7	4.22	11.85	42.65	44	3.29	15.20	54.71
6	6.98	7.16	25.79	20	4.21	11.88	42.76	49	3.28	15.24	54.88
10	5.98	8.36	30.10	70	4.07	12.29	44.23	18	3.25	15.38	55.38
68	5.82	8.59	30.93	43	3.99	12.53	45.11	69	3.24	15.43	55.56
30	5.75	8.70	31.30	36	3.92	12.76	45.92	19	3.23	15.48	55.73
12	5.15	9.71	34.95	52	3.92	12.76	45.92	22	3.13	15.97	57.51
42	5.08	9.84	35.43	56	3.85	12.99	46.75	8	3.12	16.03	57.69
2	5.06	9.88	35.57	51	3.79	13.19	47.49	34	3.12	16.03	57.69
47	4.93	10.14	36.51	26	3.72	13.44	48.39	62	3.08	16.23	58.44
1	4.87	10.27	36.96	60	3.67	13.62	49.05	46	3.07	16.29	58.63
28	4.81	10.40	37.42	33	3.60	13.89	50.00	15	3.04	16.45	59.21
32	4.81	10.40	37.42	61	3.59	13.93	50.14	14	3.01	16.61	59.80
58	4.78	10.46	37.66	57	3.56	14.04	50.56	48	3.00	16.67	60.00
29	4.65	10.75	38.71	21	3.43	14.58	52.48	66	2.99	16.72	60.20
31	4.57	10.94	39.39	50	3.43	14.58	52.48	35	2.95	16.95	61.02
41	4.55	10.99	39.56	5	3.41	14.66	52.79	64	2.90	17.24	62.07
53	4.47	11.19	40.27	37	3.41	14.66	52.79	23	2.81	17.79	64.06
38	4.46	11.21	40.36	59	3.41	14.66	52.79	55	2.77	18.05	64.98
25	4.45	11.24	40.45	9	3.39	14.75	53.10	65	2.72	18.38	66.18
24	4.39	11.39	41.00	3	3.35	14.93	53.73	45	2.53	19.76	71.15
39	4.38	11.42	41.10	16	3.34	14.97	53.89	17	2.39	20.92	75.31
4	4.36	11.47	41.28	63	3.34	14.97	53.89	67	2.31	21.65	77.92
40	4.26	11.74	42.25	13	3.33	15.02	54.05				
54	4.24	11.79	42.45	27	3.30	15.15	54.55				

*Fuente: Elaboración propia.*

Con los datos anteriores es posible el análisis de velocidad en esta intersección, de la cual se extrae:

<b>Velocidad Máxima =</b>	<b>77.92 [km/hr]</b>
<b>Velocidad Mínima =</b>	<b>24.39 [km/hr]</b>
<b>Velocidad Media =</b>	<b>48.93 [km/hr]</b>
<b>Percentil 85 =</b>	<b>59.59 [km/hr]</b>
<b>Amplitud =</b>	<b>54 [km/hr]</b>
<b>Intervalos de clase =</b>	<b>9</b>
<b>Ancho de intervalo =</b>	<b>6.00 [km/hr]</b>

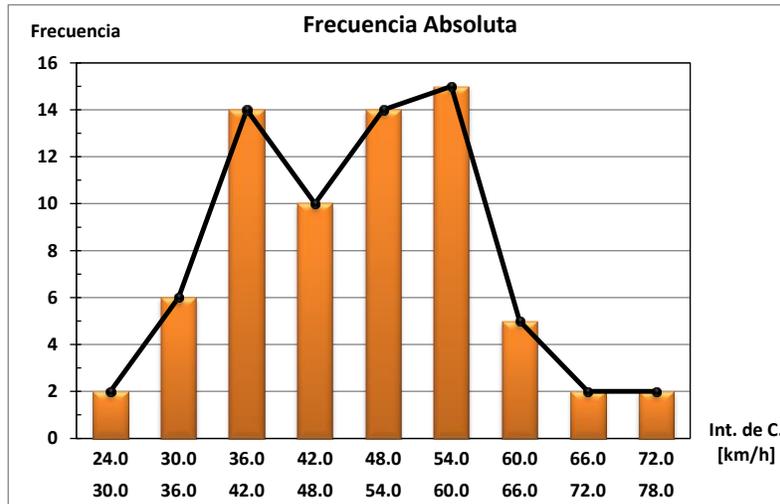
Al igual que en caso anterior, con la información mostrada es posible la construcción de la tabla de Resumen de frecuencias.

**Tabla 4.6-6** Intervalos de clases y frecuencias de las velocidades de la intersección 2

Intervalo de Clase [km/hr]		Frecuencia Relativa		Frecuencia Acumulada	
		fi	%	Fi	%
24.00	30.00	2	2.9%	2	2.9%
30.00	36.00	6	8.6%	8	11.4%
36.00	42.00	14	20.0%	22	31.4%
42.00	48.00	10	14.3%	32	45.7%
48.00	54.00	14	20.0%	46	65.7%
54.00	60.00	15	21.4%	61	87.1%
60.00	66.00	5	7.1%	66	94.3%
66.00	72.00	2	2.9%	68	97.1%
72.00	78.00	2	2.9%	70	100.0%
		70	100.0%		

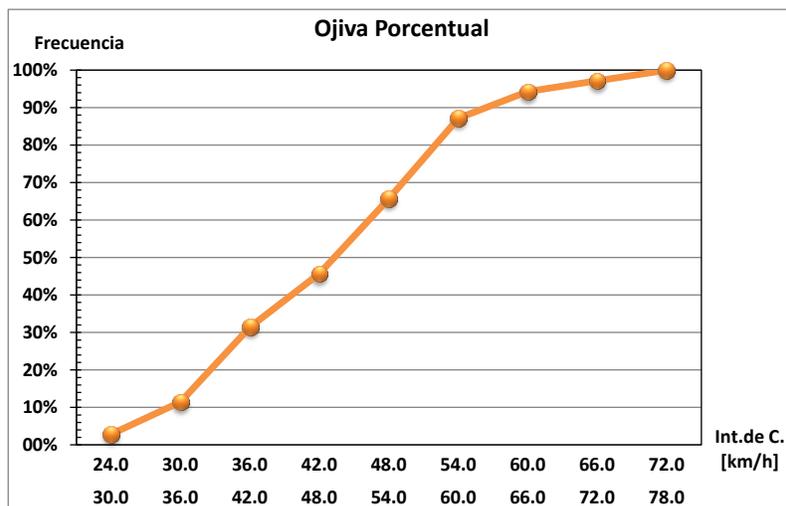
*Fuente: Elaboración propia.*

Con los valores representados en esta tabla resumen, es posible la construcción del Histograma de frecuencia absoluta junto con el Polígonos de frecuencias absolutas [fi], además de la Ojiva porcentual que es la representación gráfica de la frecuencia acumulada relativa [Fi (%)]. Éstas gráficas se presentan a continuación.



**Gráfica 4.6-3** Frecuencia absoluta de las velocidades de la intersección 2

*Fuente: Elaboración propia.*



Gráfica 4.6-4 Polígono de frecuencias acumuladas de las velocidades de la intersección 2

Fuente: Elaboración propia.

Con la información acumulada se interpreta que:

- La velocidad media de los automóviles es 48.93 km/h.
- 15 de los 70 vehículos (21.4 %) avanzan entre 54 y 60 km/h.
- Sólo 3 automóviles, el 4.3 % del total circula con una velocidad mayor a 70 km/h.
- El 87.1 % de los vehículos circulan entre 24 y 60 km/h. Lo que se relaciona directamente con el percentil 85 que se instala en 59.6 km/h. Para términos prácticos de operación y de señalización, se debería implementar en este tramo una velocidad máxima de 60 km/h.

**Intersección 3. C. “La Cartonera” – Libramiento Yecapixtla**

En la siguiente tabla se muestran las velocidades recabadas en orden ascendente.

Tabla 4.6-7 Intervalos de clases y frecuencias de las velocidades de la intersección 3

Muestra	Tiempo [s]	Vel [m/s]	Vel [km/hr]	Muestra	Tiempo [s]	Vel [m/s]	Vel [km/hr]	Muestra	Tiempo [s]	Vel [m/s]	Vel [km/hr]
33	5.07	9.86	35.50	23	3.33	15.02	54.05	63	2.90	17.24	62.07
6	4.23	11.82	42.55	15	3.29	15.20	54.71	24	2.88	17.36	62.50
8	3.88	12.89	46.39	42	3.22	15.53	55.90	38	2.84	17.61	63.38
25	3.84	13.02	46.88	3	3.19	15.67	56.43	26	2.78	17.99	64.75
20	3.77	13.26	47.75	48	3.18	15.72	56.60	21	2.72	18.38	66.18
16	3.74	13.37	48.13	56	3.17	15.77	56.78	2	2.59	19.31	69.50
54	3.74	13.37	48.13	64	3.14	15.92	57.32	18	2.59	19.31	69.50
22	3.69	13.55	48.78	32	3.13	15.97	57.51	39	2.59	19.31	69.50
43	3.69	13.55	48.78	13	3.11	16.08	57.88	51	2.57	19.46	70.04
69	3.66	13.66	49.18	5	3.10	16.13	58.06	1	2.53	19.76	71.15
28	3.62	13.81	49.72	40	3.08	16.23	58.44	27	2.51	19.92	71.71
17	3.59	13.93	50.14	45	3.07	16.29	58.63	67	2.51	19.92	71.71
34	3.57	14.01	50.42	61	3.05	16.39	59.02	36	2.42	20.66	74.38
60	3.54	14.12	50.85	4	3.02	16.56	59.60	58	2.42	20.66	74.38
70	3.51	14.25	51.28	19	3.02	16.56	59.60	9	2.39	20.92	75.31
49	3.49	14.33	51.58	66	3.00	16.67	60.00	37	2.39	20.92	75.31
35	3.48	14.37	51.72	41	2.99	16.72	60.20	31	2.36	21.19	76.27
50	3.47	14.41	51.87	29	2.98	16.78	60.40	10	2.32	21.55	77.59
46	3.46	14.45	52.02	47	2.97	16.84	60.61	11	2.23	22.42	80.72
7	3.44	14.53	52.33	53	2.96	16.89	60.81	59	2.20	22.73	81.82
52	3.43	14.58	52.48	62	2.94	17.01	61.22	30	1.91	26.18	94.24
65	3.42	14.62	52.63	44	2.91	17.18	61.86	14	1.67	29.94	107.78
68	3.40	14.71	52.94	55	2.91	17.18	61.86				
57	3.36	14.88	53.57	12	2.90	17.24	62.07				

Fuente: Elaboración propia.

De la muestra total de velocidades se recuperan aquellas que son las más determinantes:

Velocidad Máxima =	107.78 [km/hr]
Velocidad Mínima =	35.50 [km/hr]
Velocidad Media =	60.36 [km/hr]
Percentil 85 =	71.71 [km/hr]
Amplitud =	72 [km/hr]
Intervalos de clase =	9
Ancho de intervalo =	8.00 [km/hr]

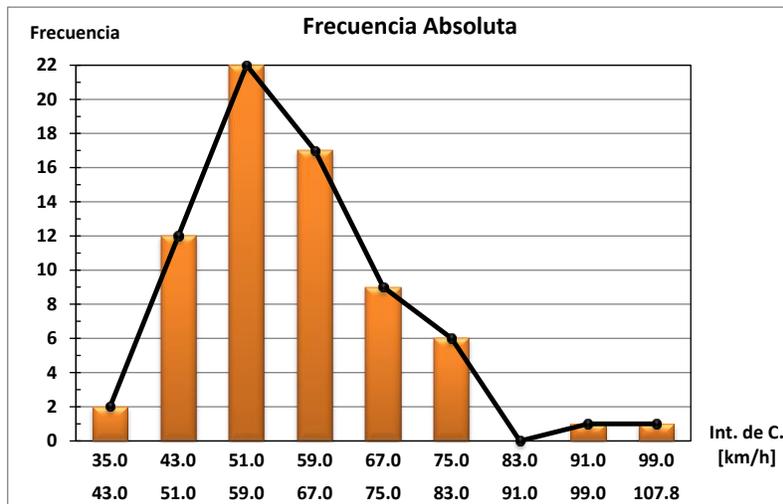
Igualmente con la muestra total de las velocidades registradas es posible crear la tabla resumen de frecuencias, la cual se muestra a continuación:

**Tabla 4.6-8** Intervalos de clases y frecuencias de las velocidades de la intersección 3

Intervalo de Clase [km/hr]		Frecuencia Relativa		Frecuencia Acumulada	
		fi	%	FI	%
35.00	43.00	2	2.9%	2	2.9%
43.00	51.00	12	17.1%	14	20.0%
51.00	59.00	22	31.4%	36	51.4%
59.00	67.00	17	24.3%	53	75.7%
67.00	75.00	9	12.9%	62	88.6%
75.00	83.00	6	8.6%	68	97.1%
83.00	91.00	0	0.0%	68	97.1%
91.00	99.00	1	1.4%	69	98.6%
99.00	107.80	1	1.4%	70	100.0%
		70	100.0%		

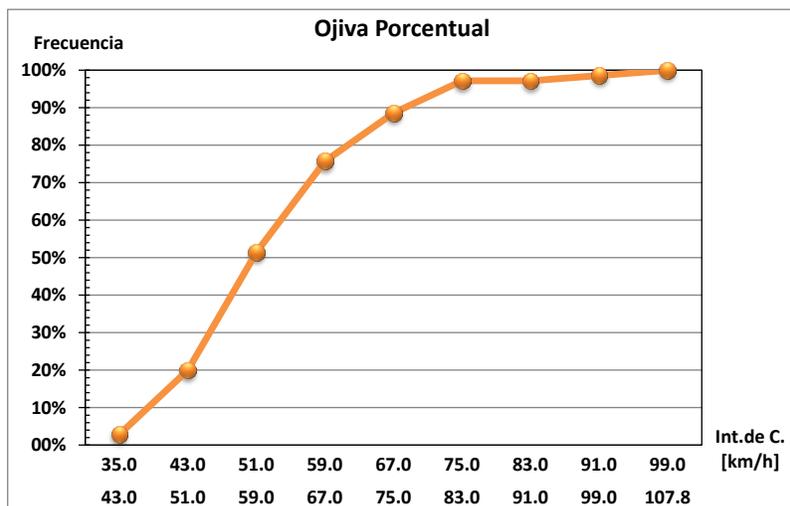
Fuente: Elaboración propia.

Con los datos presentados se construye el Histograma de frecuencia absoluta junto con el Polígono de frecuencias absolutas [fi], además de la Ojiva porcentual, éstas gráficas se presentan a continuación.



**Gráfica 4.6-5** Frecuencia absoluta de las velocidades de la intersección 3

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfica 4.6-6** Polígono de frecuencias acumuladas de las velocidades de la intersección 3

*Fuente: Elaboración propia.*

Con la información acumulada se interpreta que:

- La velocidad media de los automóviles es 60.36 km/h.
- Debido a que uno de los automóviles avanzó a una velocidad excesiva, 107.8 km/h, se registró una amplitud muy amplia 72.0 km/h.
- 22 de los 70 vehículos (31.4 %) avanzan entre 51 y 59 km/h.
- De los 70 automóviles, 8 registraron una velocidad mayor a 75 km/h, el 11.4 %.
- El 88.6 % de los vehículos circulan entre 35 y 75 km/h.
- El percentil 85 que mostró una velocidad de 71.7 km/h. Por lo tanto se debería implementar en este tramo una velocidad máxima de 70 km/h.

A continuación se muestran las características principales de velocidad en cada una de las intersecciones estudiadas.

**Tabla 4.6-9** Características principales de las velocidades en cada intersección

	Intersección 1	Intersección 2	Intersección 3
<b>Velocidad Máxima =</b>	81.82 [km/h]	77.92 [km/hr]	107.78 [km/hr]
<b>Velocidad Mínima =</b>	30.15 [km/h]	24.39 [km/hr]	35.50 [km/hr]
<b>Velocidad Media =</b>	54.77 [km/h]	48.93 [km/hr]	60.36 [km/hr]
<b>Percentil 85 =</b>	63.67 [km/h]	59.59 [km/hr]	71.71 [km/hr]
<b>Amplitud =</b>	52 [km/h]	54 [km/hr]	72 [km/hr]
<b>Intervalos de clase =</b>	8	9	9
<b>Ancho de intervalo =</b>	6.50 [km/h]	6.00 [km/hr]	8.00 [km/hr]
<b>Velocidad en señalamiento =</b>	60 [km/hr]	60 [km/hr]	70 [km/hr]

*Fuente: Elaboración propia.*

## 4.7 Nivel de Servicio Actual

### 4.7.1 Introducción

El concepto de nivel de servicio es, por definición, una medida cualitativa descriptora de las condiciones operativas de un flujo vial, y de su percepción por los conductores y/o pasajeros. Describe generalmente estas condiciones en relación con variables tales como velocidad, tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad y conveniencia o adecuación del flujo a los deseos del usuario, y la seguridad vial.

### 4.7.2 Objetivo del Estudio

Determinar el nivel de servicio al cual está operando La Cartonera – Yecapixtla bajo las condiciones actuales de del flujo de tránsito, año 2013. Así también estimaremos el nivel de servicio que tendrá la misma en el horizonte de proyecto si es que no tiene mejoras de modernización.

### 4.7.3 Metodología

Para realizar este estudio utilizaremos el Highway Capacity Software 2000 (HCS 2000) el cual emplea la *Metodología para el Análisis de Carreteras de Dos Carriles* del Highway Capacity Manual<sup>17</sup>, estudiada en capítulo 4.6.6 de este trabajo.

#### **Definir las variables de entrada**

Para hacer el análisis de nivel de servicio de la carretera es necesario primeramente alimentar el HCS 2000 con los datos de tránsito de cada segmento, los cuales son:

- Ancho de carril (m)
- Ancho de acotamientos (m)
- Longitud del segmento en estudio (Km)
- Tipo de terreno: *llano* u *ondulado*
- Volumen Horario de Proyecto en ambas direcciones (VHP)
- Volumen de tránsito direccional por carril (%)
- Factor de Hora de Máxima Demanda (FHMD)
- Cantidad de camiones y autobuses (%)
- Cantidad de vehículos de recreación (%)
- Porcentaje de zonas de no rebase (%)
- Puntos de acceso por kilómetro (P.A./km)
- Velocidad:
  - Velocidad estimada (km/h), o
  - Velocidad medida (km/h) y tasa de flujo observada (vehículos/h)

La longitud del segmento en estudio será de 1 km y corresponderá a las características de la zona elegida previamente para realizar el estudio *5.6 Velocidad Puntual* de esta tesis.

Una vez cargado el programa con estas variables, éste analiza los datos y entrega al usuario el nivel de servicio correspondiente a la carretera.

### 4.7.4 Determinación del Nivel de Servicio Actual de la Carretera “La Cartonera”

Derivado de los resultados obtenidos en los estudios *5.2 Volúmenes de Tránsito* y *5.3 Volúmenes de Tránsito Direccionales* de esta tesis, hemos observado que la composición de la carretera “La Cartonera” se rige por dos grandes segmentos con diferentes características de tránsito: el Tramo A Cuautla – Zona Industrial y el Tramo B

<sup>17</sup> (Transportation Research Board, 2000)

Zona Industrial – Yecapixtla. Para efectos de este estudio haremos el análisis de nivel de servicio para ambos segmentos en condiciones actuales (año 2013).

**Tramo A Cuautla – Zona Industrial**

La información de las variables de entrada para este tramo se obtienen de los estudios previos de ingeniería de tránsito, son las siguientes:

- Ancho de carril: **3.0 m**
- Ancho de acotamientos: **0.0 m**
- Longitud del segmento en estudio: **1 km**
- Tipo de terreno: **ondulado**
- VHP: **380 vehículos**
- Volumen de Tránsito direccional: **62 %**
- FHMD: **0.84**
- Cantidad de camiones y autobuses: **3 %**
- Cantidad de vehículos de recreación: **0 %**
- Porcentaje de zonas de no rebase: **80 %**
- Puntos de acceso por kilómetro: **1**
- Velocidad medida: **55 km/h**
- Tasa de flujo observada: **310 veh/h**

Definidas todas las variables de entrada, se alimenta el programa (HCS 2000) como se muestra en la siguiente imagen:

The screenshot shows the following data entered in the HCS 2000 software:

- General Information:** Analyst: Nivel de Servicio; Highway: La Cartonera - Yecapixtla(T.A); Agency/Co.: ; From/To: Cuautla / Z. Industrial; Date: 09/10/2013; Units: U. S. Metric; Jurisdiction: ; Analysis Time Period: ; Analysis Year: 2013; Project Description: Nivel de servicio en condiciones actuales (2013)
- Input Data:** Shoulder Width: 0.0 m; Lane Width: 3.0 m; Segment Length: 1.0 km; Two-Way Hourly Volume, V: 380 vph; Directional Split: 62 / 38; Peak-Hour Factor, PHF: 0.84; Trucks and Buses: 3%; Recreational Vehicles: 0%; Percent No-Passing Zones: 80%; Access Points: 1 / km; Terrain: Rolling (selected); Class I Highway (selected)
- Average Travel Speed:** Grade Adjustment Factor,  $f_G$ : 0.93; Heavy Vehicle Adjustment,  $f_{HV}$ : 0.974; Passenger-Car Equivalents for Trucks,  $E_T$ : 1.9; Two-Way Flow Rate,  $v_p$ : 500 pc/h; Passenger-Car Equivalents for RVs,  $E_R$ : 1.1; Highest Directional Flow Rate: 310 pc/h
- Free-Flow Speed:** Measured Speed,  $S_{FM}$ : 55 km/h; Observed Flow Rate,  $V_f$ : 310 veh/h; Base Free Flow Speed: ; Lane and Shoulder Width Adjustment,  $f_{LS}$ : ; Access Point Adjustment,  $f_A$ : ; Free-Flow Speed, FFS: 59.0 km/h; Adj for No-Passing Zones,  $f_{np}$ : 5.9 km/h; Average Travel Speed, ATS: 46.8 km/h

**Ilustración 4.7-1** Variables de entrada para el análisis de nivel de servicio del Tramo A de la c. “La Cartonera”

Fuente: Highway Capacity Software 2000

Una vez ingresadas todas las variables al HCS 2000 nos arroja el resultado del análisis como se muestra a continuación:

Level of Service Determination (if not LOS F):			
Level of Service, LOS	E	Volume to Capacity Ratio, v/c	0.16
Peak 15-minute Vehicle-Kilometers of Travel, VkmT1		113 veh-km	
Peak-Hour Vehicle-Kilometers of travel, VkmT60		380 veh-km	
Peak 15-Minute Total Travel Time, TT <sub>15</sub>		2.4 veh-hr	

**Ilustración 4.7-2** Resultado del nivel de servicio para el Tramo A de la c. “La Cartonera”

**Fuente:** Highway Capacity Software 2000

Como podemos observar el Tramo A de la carretera “La Cartonera” tiene un nivel de servicio E, por lo tanto las condiciones de operación a capacidad son inestables y difíciles de predecir.

### **Tramo B Zona Industrial - Yecapixtla**

A continuación haremos el análisis de nivel de servicio para el Tramo B Zona Industrial – Yecapixtla mediante el HCS 2000. Nuevamente la información de las variables de entrada se obtendrán de los estudios previos de ingeniería de tránsito, éstos se presentan a continuación:

- Ancho de carril: **3.0 m**
- Ancho de acotamientos: **0.0 m**
- Longitud del segmento en estudio: **1 km**
- Tipo de terreno: **ondulado**
- VHP: **516 vehículos**
- Volumen de Tránsito direccional: **57 %**
- FHMD: **0.75**
- Cantidad de camiones y autobuses: **3 %**
- Cantidad de vehículos de recreación: **0 %**
- Porcentaje de zonas de no rebase: **70 %**
- Puntos de acceso por kilómetro: **0**
- Velocidad medida: **60 km/h**
- Tasa de flujo observada: **390 veh/h**

Es importante resaltar que en este segmento de análisis, asociado al estudio de velocidad puntual, no existen puntos de acceso a la carretera, por lo tanto los no existen puntos de acceso por kilómetro.

Una vez más ingresamos los datos recabados al programa con el fin de continuar con el análisis. Esta situación se muestra a continuación:

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT ANALYSIS

**General Information**

Analyst: Nivel de Servicio Highway: La Cartonera - Yecapixtla(T.B)  
 Agency/Co.: From/To: Z. Industrial / Yecapixtla  
 Date: 09/10/2013 Units: U. S. Metric Jurisdiction:  
 Analysis Time Period: Analysis Year: 2013  
 Project Description: Nivel de servicio en condiciones actuales (2013)

**Input Data**

Shoulder Width: 0.0 m Two-Way Hourly Volume, V: 516 vph  
 Lane Width: 3.0 m Directional Split: 57 / 43  
 Segment Length: 1.0 km Peak-Hour Factor, PHF: 0.75  
 Class I Highway  Class II Highway Trucks and Buses: 3 %  
 Terrain:  Level  Rolling Recreational Vehicles: 0 %  
 Percent No-Passing Zones: 70 %  
 Access Points: 0 / km

**Average Travel Speed**

Grade Adjustment Factor,  $f_G$ : 0.93 Heavy Vehicle Adjustment,  $f_{HV}$ : 0.974  
 Passenger-Car Equivalents for Trucks,  $E_T$ : 1.9 Two-Way Flow Rate,  $v_p$ : 760 pc/h  
 Passenger-Car Equivalents for RVs,  $E_R$ : 1.1 Highest Directional Flow Rate: 433 pc/h

**Free-Flow Speed**

Measured  Estimated

Measured Speed,  $S_{FM}$ : 60 km/h Base Free Flow Speed: km/h  
 Observed Flow Rate,  $V_f$ : 390 veh/h Lane and Shoulder Width Adjustment,  $f_{LS}$ : km/h  
 Access Point Adjustment,  $f_A$ : km/h

Free-Flow Speed, FFS: 65.0 km/h  
 Adj for No-Passing Zones,  $f_{np}$ : 4.3 km/h  
 Average Travel Speed, ATS: 51.2 km/h

**Ilustración 4.7-3** Variables de entrada para el análisis de nivel de servicio del Tramo B de la c. “La Cartonera”

**Fuente:** Highway Capacity Software 2000

Es de esperarse que el Tramo B tenga condiciones más inestables debido a que maneja un VHP mayor que el Tramo A, 516 vehículos contra 380 vehículos respectivamente. En base a esto el mejor escenario para éste Tramo sería un nivel de servicio E, enseguida se muestran los resultados del análisis.

Level of Service Determination (if not LOS F):

Level of Service, LOS	E	Volume to Capacity Ratio, v/c	0.24
Peak 15-minute Vehicle-Kilometers of Travel, $V_{kmT15}$		172	veh-km
Peak-Hour Vehicle-Kilometers of travel, $V_{kmT60}$		516	veh-km
Peak 15-Minute Total Travel Time, $TT_{15}$		3.4	veh-hr

**Ilustración 4.7-4** Resultado del nivel de servicio para el Tramo B de la c. “La Cartonera”

**Fuente:** Highway Capacity Software 2000

Ambos análisis nos arrojaron un nivel de servicio E para ambos tramos de la carretera *La Cartonera – Yecapixtla*, esto se presenta porque la demanda que tiene esta carretera está superando en gran medida la oferta que la misma puede brindar para ofrecer un buen nivel de servicio.

#### 4.7.5 Estimación del Nivel de Servicio en el Horizonte de Proyecto, Año 2024

Como sabemos los flujos de tránsito aumentan año con año, la población aumenta y el parque vehicular se incrementa a consecuencia de ello y del crecimiento económico. Según el CEPEP<sup>18</sup> se espera un crecimiento económico del 2.54 % lo que generará a la postre mayor cantidad de viajes y por lo tanto volúmenes de flujo mayores.

Es por esta situación que la estimación del nivel de servicio en años venideros se vuelve importante, es una manera de planear y predecir lo que estará ocurriendo en la carretera. Con base en esto, será posible establecer decisiones de modernización de la Carretera.

En este apartado volveremos a hacer el mismo proceso que en el capítulo anterior *5.7.4 Determinación del Nivel de Servicio Actual de la Carretera "La Cartonera"*. Para efectos de practicidad omitiremos mostrar las imágenes de las variables de entrada en el HCS 2000, sin embargo, se presentarán los resultados emitidos por el programa.

Es importante señalar que se tomaran en cuenta las siguientes características respecto a las variables de entrada en el escenario al 2024:

1. Las condiciones físicas de la carretera permanecen contantes; serán las mismas que en el escenario del año 2013.
2. El VHP se obtendrá conforme a la metodología del capítulo *5.5.5 Proyecciones del Volumen de Tránsito*.
3. La velocidad medida se reducirá en consecuencia al aumento de vehículos que circulan por cada tramo.
4. La tasa de flujo observada mantendrá el porcentaje con respecto al VHP del año 2013, 81.6 %.

#### **Tramo A Cuautla – Zona Industrial**

Enseguida se presentan las variables de entrada en el Tramo A para el año 2024, en el horizonte de proyecto, tomando en cuenta las cuatro características descritas anteriormente.

- Ancho de carril: **3.0 m**
- Ancho de acotamientos: **0.0 m**
- Longitud del segmento en estudio: **1 km**
- Tipo de terreno: **ondulado**
- VHP: **501 vehículos**
- Volumen de Tránsito direccional: **62 %**
- FHMD: **0.84**
- Cantidad de camiones y autobuses: **3 %**
- Cantidad de vehículos de recreación: **0 %**
- Porcentaje de zonas de no rebase: **80 %**
- Puntos de acceso por kilómetro: **1**
- Velocidad medida: **53 km/h**
- Tasa de flujo observada: **408 veh/h**

Se ingresan las variables al programa y se realiza nuevamente el estudio correspondiente. Los resultados muestran que nuevamente el nivel de servicio es "E"; se muestra a continuación la imagen con el resultado obtenido del HCS 2000.

Level of Service Determination (if not LOS F):			
Level of Service, LOS	E	Volume to Capacity Ratio, v/c	0.21
Peak 15-minute Vehicle-Kilometers of Travel, VkmT1		298 veh-km	
Peak-Hour Vehicle-Kilometers of travel, VkmT60		1002 veh-km	
Peak 15-Minute Total Travel Time, TT <sub>15</sub>		6.6 veh-hr	

**Ilustración 4.7-5** Nivel de servicio estimado para el Tramo A en el año 2024

**Fuente:** Highway Capacity Software 2000

#### **Tramo B Zona Industrial - Yecapixtla**

Tomando en cuenta las cuatro características de adecuación para las variables de entrada, se presentan a continuación aquellas asociadas al Tramo B:

<sup>18</sup> Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos

- Ancho de carril: **3.0 m**
- Ancho de acotamientos: **0.0 m**
- Longitud del segmento en estudio: **0 km**
- Tipo de terreno: **ondulado**
- VHP: **680 vehículos**
- Volumen de Tránsito direccional: **57 %**
- FHMD: **0.75**
- Cantidad de camiones y autobuses: **3 %**
- Cantidad de vehículos de recreación: **0 %**
- Porcentaje de zonas de no rebase: **70 %**
- Puntos de acceso por kilómetro: **0**
- Velocidad medida: **55 km/h**
- Tasa de flujo observada: **513 veh/h**

Level of Service Determination (if not LOS F):			
Level of Service, LOS	E	Volume to Capacity Ratio, v/c	0.31
Peak 15-minute Vehicle-Kilometers of Travel, VkmT1		453 veh-km	
Peak-Hour Vehicle-Kilometers of travel, VkmT60		1360 veh-km	
Peak 15-Minute Total Travel Time, TT <sub>15</sub>		9.9 veh-hr	

**Ilustración 4.7-6** Nivel de servicio estimado para el Tramo B en el año 2024

**Fuente:** Highway Capacity Software 2000

Los resultados nos vuelven a arrojar un nivel de servicio E para el Tramo B de la Zona Industrial a Yecapixtla en el año de proyecto 2024.

#### 4.7.6 Integración de Resultados

Nos hemos percatado que la carretera *La Cartonera – Yecapixtla* tiene un nivel de servicio por debajo al esperado por los usuarios actualmente. Después de estimar el estado que tendrá la carretera en los próximos años hemos encontrado que seguirá teniendo un nivel de servicio E a lo largo de toda la carretera, sin duda, presentándose condiciones más severas en el Tramo B a medida que pasan los años y se incrementa el flujo de tránsito.

Se realizó nuevamente el mismo análisis que en el capítulo anterior, *5.7.5 Estimación del Nivel de Servicio en el Horizonte de Proyecto, Año 2024*, pero esta vez estimando el nivel de servicio de la carretera al año 2034. Esta proyección nos arrojó los mismos resultados; nivel de servicio E.



**Ilustración 4.7-7** Nivel de servicio para los años 2013 - 2034 en condiciones geométricas actuales.

**Fuente:** Elaboración propia

Es importante tener en cuenta que si bien el nivel de servicio es el mismo en el año 2013 que en el año 2034, las condiciones son radicalmente más severas en este último. Simplemente el VHP para el 2034 será de 643 vehículos contra 380 vehículos en el 2013 para el Tramo A, y de 874 vehículos (2034) contra 516 vehículos (2013) en el Tramo B, alrededor de 70 % más vehículos en ambos casos.

Esta situación hace que sea inminente una modernización en la carretera *La Cartonera – Yecapixtla*. Si esta no se hiciera, estaremos hablando que en unos años se convertirá en una carretera insegura, con bajas velocidades de operación y con un nivel de servicio muy por debajo del esperado por el usuario. Si a esta situación sumamos el hecho de que en la Zona Industrial se encuentran las instalaciones médicas del Instituto Mexicano del Seguro Social y que es aquí donde se tratan las urgencias médicas de esta faja del estado, nos encontraremos con una carretera en condiciones de operatividad deplorables y sin seguridad para el usuario.



# 5 PROPUESTAS DE SOLUCIÓN EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS



El objetivo de este capítulo es integrar las propuestas de solución más eficientes para la carretera La Cartonera – Yecapixtla; partiendo de base con todos los estudios realizados y las diferentes problemáticas que se presentan en la misma.

## 5.1 Propuesta de Ampliación de La Cartonera – Yecapixtla

### 5.1.1 Situación general actual

De acuerdo con la *Clasificación Técnica Oficial y Características de las Carreteras* de la S.C.T., en sus 9.7 Km de longitud las características geométricas de la carretera La Cartonera-Yecapixtla (6 m de ancho de corona sin acotamientos en toda su longitud) son aquellas de una **carretera Tipo D** en terreno lomerío. De acuerdo con esta clasificación el TDPA (en el horizonte de proyecto) de la carretera debería de ser entre 100 y 500 vehículos por día, y la velocidad de proyecto máxima para estas condiciones sería de 60 km/h.

En la actualidad estas características se ven completamente rebasadas; se maneja actualmente un TDPA de 3,167 y 4,300 vehículos por día para el Tramo A y el Tramo B respectivamente. Incluso en la HMD el Tramo B maneja un VHMD de 516 vehículos/hora; mayor que el TDPA máximo para una carretera tipo D, 500 veh/día. Esto nos refleja que la carretera en una hora, HMD, está manejando un volumen más grande que su capacidad ideal en un día completo.

Por otro lado, el análisis de velocidad puntual nos arrojó que una gran cantidad de vehículos circulan entre 60 y 70 km/h. Esta velocidad, aunada a los altos volúmenes de tránsito, a las características geométricas de la carretera y al mal estado de su infraestructura en general; hacen que La Cartonera – Yecapixtla sea una carretera totalmente rebasada en cuanto a sus condiciones físicas y extremadamente insegura para trasladarse.

Con base en todo lo mencionado anteriormente y sabiendo que la carretera se encuentra totalmente rebasada en cuanto su volumen vehicular; se plantea como medio de solución la ampliación de la misma. Se estima que en el año 2013 se inicie la construcción y empiece su operación a finales de 2014.

### 5.1.2 Selección del tipo de carretera con fines de proyecto

De acuerdo a las Normas de Proyecto Geométrico de la SCT, en su capítulo 2.01.01.005 “Recomendaciones Generales”; 005-A De la Clasificación y Características de las Carreteras. Para la selección del tipo de carretera con fines de proyecto, se observará lo siguiente:

- a) Con base en el TDPA para el horizonte de proyecto, el cual no será mayor de veinte (20) años, se adoptará uno de los tipos de carretera establecidos en el inciso 4.4.2 -*Clasificación Técnica Oficial* de esta tesis.
- b) En la aplicación de los distintos tipos mencionados en el inciso 4.4.2 -*Clasificación Técnica Oficial* de esta tesis, deberá tenerse en cuenta que a lo largo de la carretera en proyecto podrán existir tramos con volúmenes de tránsito muy diferentes. En tales casos, se deberá proyectar cada tramo de acuerdo al tipo de carretera que corresponda.
- c) Cuando el TDPA estimado para el horizonte de proyecto, sea similar o coincida con alguno de los límites establecidos para clasificar los diferentes tipos de carretera y se presente en consecuencia un caso de frontera. Se deberá seleccionar el tipo de carretera de rango inferior.
- d) En algunos casos de frontera y cuando las condiciones particulares lo ameriten para decidir el tipo de carretera, es recomendable efectuar evaluaciones operacionales y económicas que contemplen tanto los costos de construcción de la obra, como los correspondientes a la operación y conservación de la misma. Eventualmente se podrán considerar estrategias de construcción de tipo evolutivo, contemplando la posibilidad de pasar de un tipo de carretera a otro de rango superior.

### Horizonte de Proyecto

En la tabla 6.3-1 se observa el volumen horario de proyecto y el tránsito diario promedio anual estimados para los distintos escenarios futuros; a inicio de operaciones (2014), a 10 años de operaciones (2024) y a 20 años de operación (2034); máximo horizonte de proyecto que marcan las Normas de Proyecto Geométrico de la SCT.

**Tabla 5.1-1 VHP y TDPA para los distintos escenarios futuros.**

Tramo / Año	VHMD = VHP				TDPA			
	2013	2014	2024	2034	2013	2014	2024	2034
Tramo A (Int. 1)	380	393	501	643	3,167	3,272	4,173	5,363
Tramo B (Int. 3)	516	533	680	874	4,300	4,442	5,666	7,282

**Fuente:** Elaboración propia.

Se elegirá para la ampliación de la carretera *La Cartonera - Yecapixtla* el TDPA con horizonte de proyecto al año 2024, a 10 años de iniciada su operación.

### Velocidad de Proyecto

Llamada también velocidad de diseño. Todos aquellos elementos geométricos del alineamiento horizontal, vertical y transversal, tales como radios mínimos, pendientes máximas, distancias de visibilidad, anchos de carriles, acotamientos, dependen de la velocidad de proyecto.

Los estudios de velocidad puntual arrojaron que el 30.5 % de los vehículos tienen velocidades de operación mínimas de 60 km/h, aún con las condiciones actuales de una carretera tipo D en condiciones raquíticas.

Derivado de este estudio y de las nuevas condiciones que tendrá la carretera mediante su inminente modernización; se recomienda tener una velocidad de proyecto de cuando menos 80 km/h.

### Selección del tipo de carretera

Con base en el TDPA de horizonte de proyecto al año 2024, se seleccionará el tipo de carretera diferenciando los distintos tramos de la misma:

El Tramo A maneja un TDPA de horizonte de proyecto de 4,173 vehículos, por lo tanto es adecuada la elección de una carretera tipo A2: para un TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos.

Como podemos observar el Tramo B con un TDPA de horizonte de proyecto de 5,666 vehículos sobrepasa las condiciones que prevalecen en la carretera Tipo A2; alcanzando las características de una carretera tipo A4 para un TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos. Sin embargo, en este caso nos encontramos bajo las condiciones de una situación de frontera para la cual las Normas de Proyecto Geométrico recomiendan seleccionar el tipo de carretera de rango inferior. Por lo tanto para el Tramo B, se elige una carretera Tipo A2 con un plan futuro de ampliación hacia el año 2034.

De acuerdo con lo mencionado tanto el Tramo A, que va de Cuautla a la Zona Industrial, como el Tramo B, que va de la Zona Industrial a Yecapixtla, se propone que sean modernizados a una carretera tipo A2 con las siguientes características:

- Ancho de corona de 12 m en un solo cuerpo.
- Ancho de calzada de 7 m; dos carriles de circulación de 3.5 m cada uno.
- Ancho de acotamientos de 2.5 m.
- Velocidad de proyecto de 70 km/h, con:
  - Distancia de visibilidad de parada de 95 m
  - Distancia de visibilidad de rebase de 315 m
  - Grado máximo de curvatura 7.5
- Pendiente gobernadora del 4 %
- Pendiente máxima del 6 %

- Bombeo del 2 %

Es importante tener en cuenta que los primeros 300 metros del Tramo A no podrán sufrir la ampliación propuesta. Debido a las invasiones que se tienen sobre el derecho de vía en esta zona.

### 5.1.3 Estimación del Nivel de Servicio de “La Cartonera” de Acuerdo al Tipo de Carretera Seleccionado

Como ya hemos estudiado anteriormente, el nivel de servicio de una carretera depende de sus características geométricas, de su velocidad de operación, del volumen de tránsito que presenta, entre otros. Es por esto que definido el tipo de carretera, Tipo A2, al cual se ampliará “La Cartonera” existen dos escenarios distintos en cuanto a su nivel de servicio en años venideros;

- Escenario uno: Carretera tipo A2 y velocidad de proyecto 80 km/h, para los años 2014, 2024 y 2034.
- Escenario dos: Carretera tipo A2 y velocidad de proyecto 90 km/h, para los años 2014, 2024 y 2034.

Es importante mencionar que la estimación del nivel de servicio se realizará conforme a lo presentado en el estudio: 5.7 *Nivel de Servicio*, de este trabajo. Tomando en cuenta el Tramo A Cuautla – Zona Industrial y el Tramo B Zona Industrial – Yecapixtla.

#### **Escenario uno: carretera tipo A2 y velocidad de proyecto 80 km/h**

Enseguida presentaremos las variables de entrada para ambos tramos de la carretera, diferenciando entre ellos los diferentes años de horizonte para la carretera.

Es importante mencionar tres condiciones importantes:

- Para el análisis del nivel de servicio, meteremos al HCS ancho de carril de 3.60 m y ancho de acotamiento de 2.40 m, en lugar de 3.5 m y 2.5 m respectivamente. Esto debido a las condiciones base que maneja el Highway Capacity Manual; 12 pies (3.60 m) para ancho de carril.
- Al ser una propuesta no se tiene velocidad de operación, por lo tanto se establece la velocidad estimada de flujo libre como 80 km/h elegida para este escenario.
- Al ser una carretera con acotamientos de 2.4 m por cada lado, en condiciones de operatividad prácticamente se realizan rebases en todo lo largo de la carretera, por lo tanto, el porcentaje de las zonas de no rebase tiende a cero.

Variables de entrada al HCS 2000 / Año	TRAMO A			TRAMO B		
	2014	2024	2034	2014	2024	2034
➤ Ancho de carril:	3.6 m					
➤ Ancho de acotamientos:	2.4 m					
➤ Longitud del segmento en estudio:	1 km					
➤ Tipo de terreno:	ondulado	ondulado	ondulado	ondulado	ondulado	ondulado
➤ VHP:	393	501	643	533	680	874
➤ Volumen de Tránsito direccional:	62%	62%	62%	57%	57%	57%
➤ FHMD:	0.84	0.84	0.84	0.75	0.75	0.75
➤ Cantidad de camiones y autobuses:	3%	3%	3%	3%	3%	3%
➤ Cantidad de vehículos de recreación:	0%	0%	0%	0%	0%	0%
➤ Porcentaje de zonas de no rebase:	0%	0%	0%	0%	0%	0%
➤ Puntos de acceso por kilómetro:	1	1	1	0	0	0
➤ Velocidad estimada (V. flujo libre):	80 km/h					

#### **Nivel de Servicio para el Tramo A en el año 2014 y Velocidad de Proyecto 80 km/h**

Una vez definidas las variables de entrada procedemos a integrarlas al programa, registrándose de la siguiente manera:

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT ANALYSIS

General Information

Analyst: Nivel de Servicio Highway: La Cartonera - Yecapixtla(T.A)  
 Agency/Co.: From/To: Cuautla / Z. Industrial  
 Date: 09/10/2013 Units: U. S. Metric Jurisdiction:  
 Analysis Time Period: Analysis Year: 2014  
 Project Description: Nivel de servicio en condiciones actuales (2014)

Input Data

Shoulder Width: 2.4 m Two-Way Hourly Volume, V: 393 vph  
 Lane Width: 3.6 m Directional Split: 62 / 38  
 Segment Length: 2.0 km Peak-Hour Factor, PHF: 0.84  
 Class I Highway  Class II Highway Trucks and Buses: 3 %  
 Terrain:  Level  Rolling Recreational Vehicles: 0 %  
 Percent No-Passing Zones: 0 %  
 Access Points: 1 / km

Free-Flow Speed

Measured  Estimated

Measured Speed,  $S_{FM}$ : km/h Base Free Flow Speed: 80.0 km/h  
 Observed Flow Rate,  $V_f$ : veh/h Lane and Shoulder Width Adjustment,  $f_{LS}$ : 0.0 km/h  
 Access Point Adjustment,  $f_{\Delta}$ : 0.7 km/h

Free-Flow Speed, FFS: 79.3 km/h  
 Adj for No-Passing Zones,  $f_{np}$ : 0.0 km/h  
 Average Travel Speed, ATS: 72.9 km/h

**Ilustración 5.1-1** Variables de entrada para el escenario uno del Tramo A, VP 80km/h, año 2014

**Fuente:** Highway Capacity Software 2000

El resultado del análisis es el siguiente:

Level of Service Determination (if not LOS F):

Level of Service, LOS	C	Volume to Capacity Ratio, v/c	0.16
Peak 15-minute Vehicle-Kilometers of Travel, $V_{kmT15}$			234 veh-km
Peak-Hour Vehicle-Kilometers of travel, $V_{kmT60}$			786 veh-km
Peak 15-Minute Total Travel Time, $TT_{15}$			3.2 veh-hr

**Ilustración 5.1-2** Resultado del Nivel de servicio para el escenario uno del Tramo A, VP 80km/h, año 2014

**Fuente:** Highway Capacity Software 2000

Como podemos observar el aumento de las características geométricas de la carretera y de la velocidad de operación mejoran radicalmente el nivel de servicio. Con estas características, años 2014, carretera tipo A2 y velocidad de proyecto 80 km/, hemos alcanzado un nivel de servicio aceptable para la modernización de carreteras, nivel de servicio C, para el Tramo A Cuautla – Zona Industrial.

**Resultados del nivel de servicio para el escenario uno**

Así como en la estimación del nivel de servicio para el caso anterior, procedimos a hacer los análisis para cada uno de los diferentes años y en ambos tramos del proyecto en el escenario uno.

Los resultados son los siguientes:

**Tabla 5.1-2 Nivel de servicio para el Escenario 1: carretera tipo A2 y V.P. 80 km/h**

TRAMO / ESCENARIO 1	Carretera tipo A2 a 80km/h		
	2014	2024	2034
Tramo A. Cuautla - Zona Industrial	C	C	D
Tramo B. Zona Industrial - Yecapixtla	C	D	D

*Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del HCS 2000*

**Escenario dos: carretera tipo A2 y velocidad de proyecto 90 km/h**

Las variables de entrada de acuerdo a los diferentes años de horizonte, para ambos tramos de la carretera son exactamente las mismas que para el escenario 1, excepto por la velocidad de operación; en este caso 90 km/h. Se tomarán en cuenta las mismas tres condiciones particulares descritas anteriormente: 1) anchos de carril y acotamientos, 2) velocidad de operación y 3) zonas de rebase.

**Resultados del nivel de servicio para el escenario uno**

Se presenta a continuación el resumen de resultados arrojados por el HCS 2000 para ambos tramos en el escenario dos y para los años de proyecto descritos anteriormente:

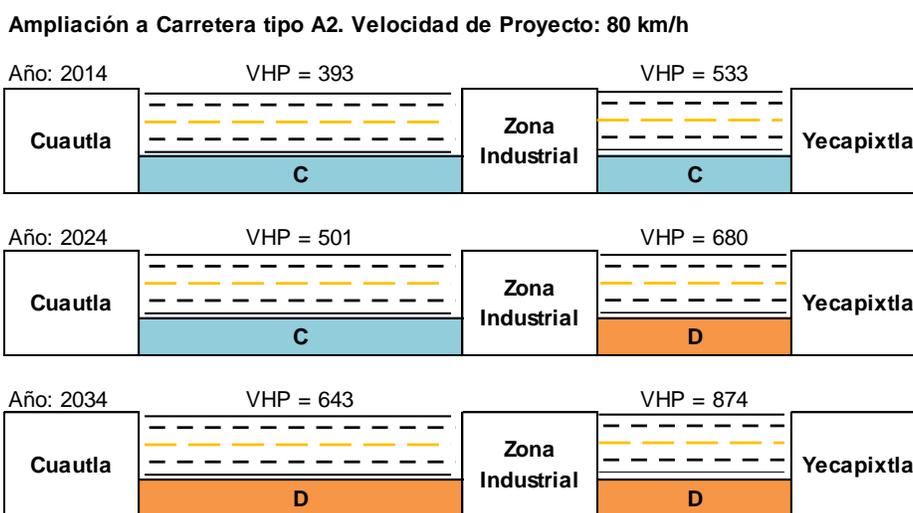
**Tabla 5.1-3 Nivel de servicio para el Escenario 2: carretera tipo A2 y V.P. 90 km/h**

TRAMO / ESCENARIO 2	Carretera tipo A2 a 90km/h		
	2014	2024	2034
Tramo A. Cuautla - Zona Industrial	B	B	C
Tramo B. Zona Industrial - Yecapixtla	B	C	C

*Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del HCS 2000*

**Presentación de resultados**

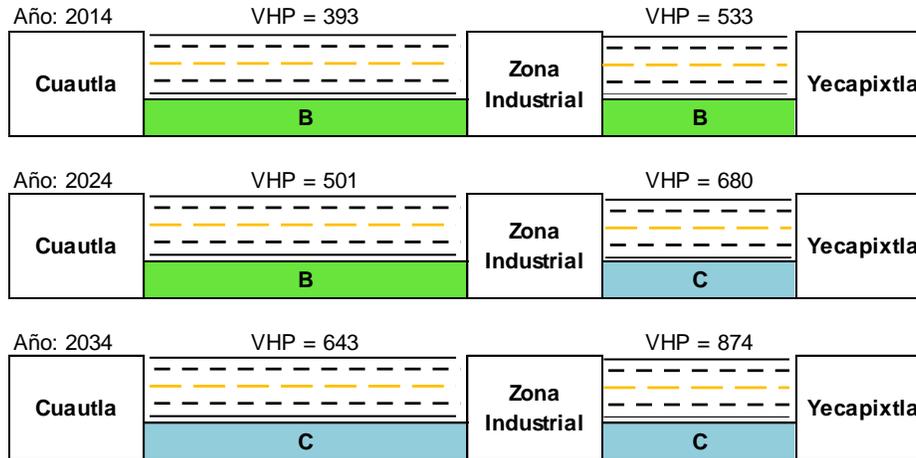
Enseguida se presentarán esquemáticamente los resultados obtenidos en la estimación del nivel de servicio para los dos escenarios, velocidad de proyecto 80 km/h y 90 km/h, en los años 2014, 2024 y 2034.



**Ilustración 5.1-3 Estimación del nivel de servicio de “La Cartonera”: Carretera tipo A2 y VP 80 km/h**

*Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del HCS 2000*

**Ampliación a Carretera tipo A2. Velocidad de Proyecto: 90 km/h**



**Ilustración 5.1-4** Estimación del nivel de servicio de “La Cartonera”: Carretera tipo A2 y VP 90 km/h

**Fuente:** Elaboración propia con base en los resultados del HCS 2000

Como era de esperarse el nivel de servicio es mejor cuando la velocidad de proyecto se aumenta a 90 km/h. Podemos observar que en estas circunstancias la carretera “La Cartonera” comienza con un nivel de servicio B al inicio de su modernización (2014) y se mantiene en un nivel de servicio C para el año 2034 en ambos tramos.

**5.1.4 Elección de la Velocidad de Proyecto con base en el Nivel de Servicio**

Para elegir con mayor certeza la velocidad de proyecto en base al nivel de servicio, es necesario conocer en qué año cada uno de los tramos de la carretera disminuye su nivel de servicio. Esto se logra, conocidas las características geométricas de la carretera y la velocidad de proyecto propuesta, incrementando el volumen horario de proyecto en el HCS 2000 hasta encontrar la variación de un nivel de servicio a otro.

Conocido el VHP para el cual, cada tramo de la carretera disminuye su nivel de servicio, se estima el año al cual el tramo de la carretera alcanzará dicho VHP. Hecho esto sabremos en que año la carretera empeorará su nivel de servicio, para determinar este año utilizaremos la siguiente expresión:

$$VHP_n = VHP_{2013}(1 + i)^{n-2013}$$

$$(1 + i)^{n-2013} = \frac{VHP_n}{VHP_{2013}}$$

$$\ln[(1 + i)^{n-2013}] = \ln\left[\frac{VHP_n}{VHP_{2013}}\right]$$

$$n = \frac{\ln[VHP_n] - \ln[VHP_{2013}]}{\ln[1 + i]} + 2013$$

**Donde:**

$VHP_{2013}$ : Volumen Horario de Proyecto en el año 2013

$VHP_n$ : Volumen Horario de Proyecto en el cual se presenta la variación del nivel de servicio

$i$ : Tasa de crecimiento anual promedio del PIB (2.54 %) <sup>19</sup>

$n$ : Año en el cual se presenta la variación del nivel de servicio

<sup>19</sup> Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP)

**Tramo A: carretera tipo A2 y velocidad de proyecto 80 km/h**

Bajo estas circunstancias (escenario uno) el Tramo A Cuautla – Zona Industrial, cambió su nivel de servicio entre el año 2024 y 2034, periodo en el que este segmento de la carretera pasó de un nivel de servicio C a un nivel de servicio D. Por lo tanto el  $VHP_n$  asociado a éste cambio estará entre 501 y 643 vehículos.

Así como lo hecho en el capítulo 5.7.5 *Estimación del Nivel de Servicio en el Horizonte de Proyecto, Año 2024*, de este trabajo, para este análisis procederemos a alimentar el HCS 2000 con las mismas variables previamente definidas haciendo cambiar el VHP como ya se mencionó.

Después de iterar tantas veces como fuera necesario el VHP e ingresarlo al HCS 2000, encontramos aquel para el cual el nivel de servicio cambio de C a D. Los resultados se muestran a continuación:

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT ANALYSIS

---

**General Information**

Analyst	Nivel de Servicio	Highway	La Cartonera - Yecapixtla
Agency/Co.	Aid MH	From/To	Cuautla / Z. Industrial
Date	09/10/2013	Units: U. S. Metric	Jurisdiction
Analysis Time Period		Analysis Year	-
Project Description	Determinar el VHP que modificará el N. de S. de C a D		

---

**Input Data**

Shoulder Width	2.4 m	Two-Way Hourly Volume, V	568 vph
Lane Width	3.6 m	Directional Split	62 / 38
Segment Length	1.0 km	Peak-Hour Factor, PHF	0.84
<input checked="" type="radio"/> Class I Highway	<input type="radio"/> Class II Highway	Trucks and Buses	3 %
Terrain: <input type="radio"/> Level	<input checked="" type="radio"/> Rolling	Recreational Vehicles	0 %
		Percent No-Passing Zones	0 %
		Access Points	1 / km

---

**Level of Service Determination (if not LOS F):**

Level of Service, LOS	D	Volume to Capacity Ratio, v/c	0.23
Peak 15-minute Vehicle-Kilometers of Travel, VkmT1			169 veh-km
Peak-Hour Vehicle-Kilometers of travel, VkmT60			568 veh-km
Peak 15-Minute Total Travel Time, TT <sub>15</sub>			2.4 veh-hr

**Ilustración 5.1-5** VHP que modifica el Nivel de Servicio en el Tramo A de “La Cartonera”. VP 80km/h.

**Fuente:** Highway Capacity Software 2000

Como se muestra en la ilustración el valor del VHP que modificó las condiciones del nivel de servicio en el Tramo A de “La Cartonera” es de 568 vehículos.

A continuación buscaremos el año asociado al VHP 568 vehículos que modificó el nivel de servicio. Para tal caso utilizaremos la expresión desarrollada anteriormente:

$$n = \frac{\ln[VHP_n] - \ln[VHP_{2013}]}{\ln[1 + i]} + 2013$$

$$n = \frac{\ln[568] - \ln[380]}{\ln[1 + 0.0254]} + 2013$$

$$\therefore n = 2029.02$$

Por lo tanto el 2029 es el año en el cual se alcanza el nivel de servicio D en el Tramo A de la carretera “La Cartonera”, modernizado a una carretera tipo A2 y velocidad de proyecto de 80 km/h. Es decir, 15 años después de su modernización.

### Integración de resultados

El proceso anterior se repitió para los demás casos de variación del nivel de servicio, aplicado a los dos escenarios: velocidad de proyecto 80 km/h y 90 km/h, y en ambos tramos de “La Cartonera”. El resumen de los resultados es el siguiente:

**Tabla 5.1-4 Año y VHP asociado al cambio de nivel de servicio de “La Cartonera”**

Velocidad de Proyecto 80 km/h							
TRAMO A				TRAMO B			
Año	VHP	TDPA	N. de S.	Año	VHP	TDPA	N. de S.
2014	393	3,275	C	2014	533	4,442	C
2029	568	4,733	D	2015	543	4,525	D
2061	1,268	10,567	E	2045	1,170	9,750	E

Velocidad de Proyecto 90 km/h							
TRAMO A				TRAMO B			
Año	VHP	TDPA	N. de S.	Año	VHP	TDPA	N. de S.
2014	393	3,275	B	2014	533	4,442	B
2029	568	4,733	C	2015	543	4,525	C
2051	1,004	8,367	D	2034	883	7,358	D
2068	1,538	12,817	E	2051	1,353	11,275	E

**Fuente:** Elaboración propia con base en los resultados del HCS 2000

La tabla 6.1-4 nos permite identificar claramente el comportamiento que está teniendo la carretera *La Cartonera* – *Yecapixtla* respecto a su nivel de servicio, a lo largo de su vida.

Bajo estas condiciones es sensato elegir una velocidad de proyecto de 80 km/h para el Tramo A Cuautla Zona Industrial; así este tramo tendrá un nivel de servicio “C” hasta el año 2029 y a partir de ahí manejaría un nivel de servicio D hasta el año 2060. Por otro lado, elegir la misma velocidad de proyecto para el Tramo B Zona Industrial - Yecapixtla es demasiado arriesgado, a pesar de la modernización este tramo sólo tendría durante un año (2014 – 2015) un nivel de servicio aceptable “C” y comenzaría a operar con un nivel de servicio “D” que no sería el óptimo. Por estas razones las velocidades de proyecto serían:

- Tramo A → 80 km/h
- Tramo B → 90 km/h

Si por condiciones de inversión o falta de recursos para modernizar el Tramo B a una carretera tipo 2 con velocidad de proyecto 90 km/h, sería posible establecer una velocidad de proyecto mínima de 80 km/h, sin que ésta permita condiciones de solución óptima.

## **5.2 Propuesta de Solución para la Intersección 1. La Cartonera – Yecapixtla y Libramiento de Cuautla**

### **5.2.1 Problemática Actual**

Actualmente ingresar del Libramiento de Cuautla, que es una vía rápida, a “La Cartonera” y viceversa mediante las condiciones geométricas que presenta la intersección, resulta en maniobras difíciles y muy inseguras para los conductores y para los peatones. Como se comentó en el capítulo 3.4 *Descripción de los puntos en conflicto* este cruce es una intersección brusca y pequeña, la cual tiene una zona de transición de escasos 5 metros entre las dos vías.

Derivado de esta situación, los camiones que tienen radios de giro muy grandes y necesitan hacer maniobras complicadas para girar e incorporarse a una vialidad, ocupan ambos carriles de “La Cartonera” cuando quieren entrar o salir de la misma. En el caso del libramiento de Cuautla prácticamente tienen que desviar y/o detener el flujo del carril derecho cuando interactúan en la intersección.

Estas situaciones muy peligrosas para los usuarios requieren de soluciones viables que limiten en la medida de lo posible estas problemáticas.

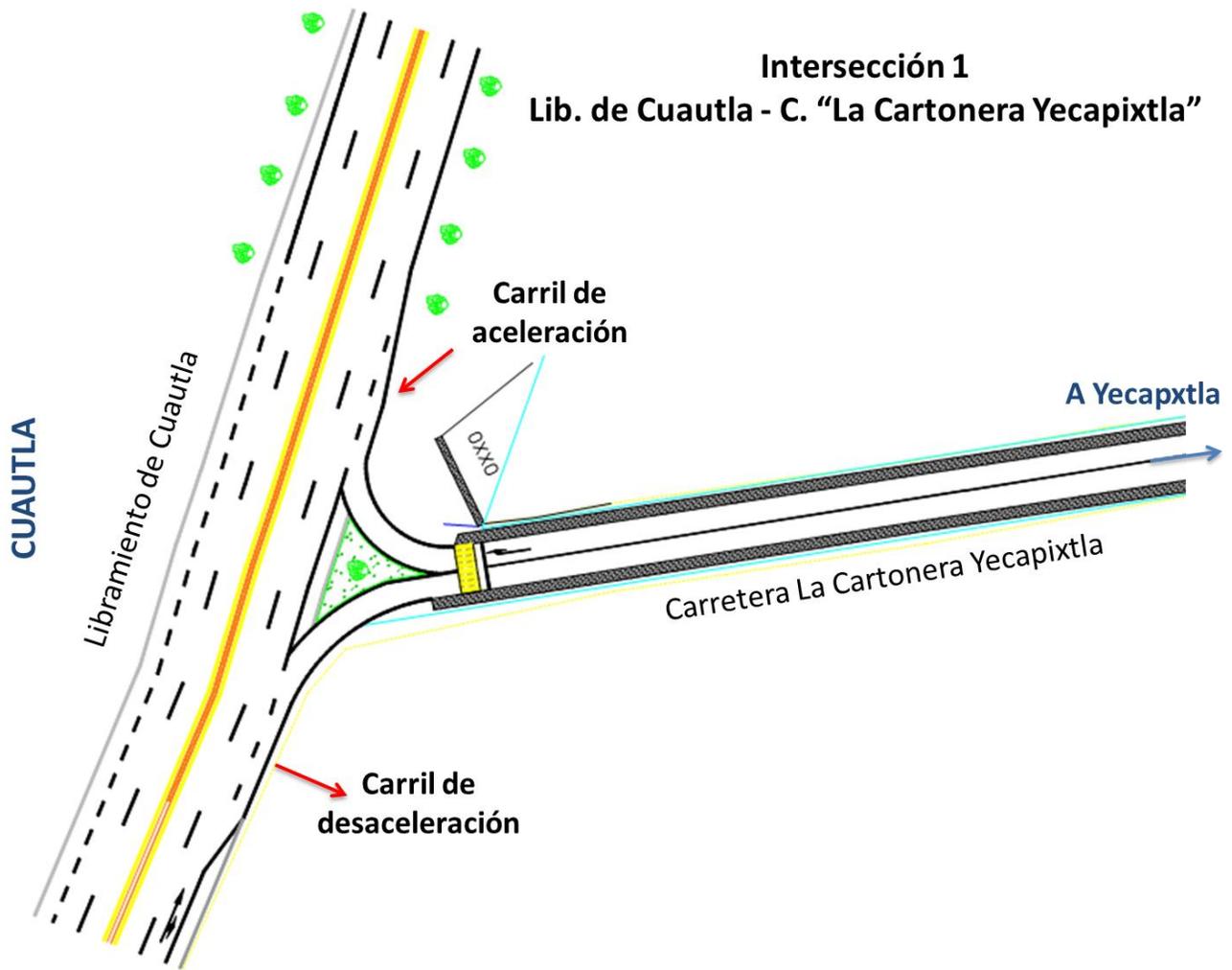
### **5.2.2 Solución Mediante Carriles de Aceleración y Desaceleración**

En este trabajo se propone la solución mediante carriles de aceleración y desaceleración para el seguro acceso y salida del Lib. de Cuautla y “La Cartonera”. En la medida de lo posible se deberán comprar o expropiar los derechos de vía de las construcciones que se encuentran exactamente en la esquina de la intersección.

Para el carril de desaceleración y acceso a “La Cartonera” se aprovechará el acotamiento del Libramiento de Cuautla y el espacio ocupado por el patio frontal de un taller mecánico que se ubica justo en la entrada de “La Cartonera”. Este patio frontal es parte del derecho de vía del Lib. de Cuautla.

Para el carril de aceleración e ingreso al Lib. de Cuautla, se deberá ocupar nuevamente su acotamiento e invadir parte del estacionamiento de la tienda OXXO ubicada exactamente en la intersección de ambas carreteras. Esta situación se torna bastante delicada por los derechos de propiedad de la tienda, sin embargo, es posible llegar a un acuerdo con los afectados y absolutamente necesario para darle una solución vial a la intersección.

El diseño geométrico de los carriles de aceleración y desaceleración están fuera de los límites de este trabajo. Deberán diseñarse y apegarse conforme a lo establecido en el “Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras” de la S.C.T.



*Ilustración 5.2-1 Propuesta de solución mediante carriles de aceleración y desaceleración en la intersección 1 de La Cartonera – Yecapixtla*

*Fuente: Elaboración propia.*

## 5.3 Propuesta de Solución para la Intersección 3. La Cartonera – Yecapixtla y Libramiento Cuautla – Yecapixtla

### 5.3.1 Problemática Actual

Esta es una intersección tipo cruz conformada por el Lib. Cuautla – Yecapixtla y La Cartonera – Yecapixtla; ambos caminos con dos carriles de circulación, de ida y de vuelta, lo que representa una gran cantidad de movimientos; doce (12) en total.

Definida su configuración, esta intersección tiene tres grandes problemas que la mantienen como una intersección altamente insegura para los usuarios.

1. Ambas carreteras se cruzan perpendicularmente sin ningún tipo de zona de transición o preparativos mínimos que permitan girar e ingresar a la carretera aledaña, por lo tanto estos giros son demasiado lentos y prácticamente en ángulos rectos. Esto ocasiona que la maniobra de entrada y salida sea demasiado lenta y que el flujo en el carril se detenga cuando el auto de adelante quiere cambiar de dirección.
2. El volumen vehicular sólo de los autos que ingresan y salen de “La Cartonera” es el más grande de toda la carretera y el más concurrido de la intersección. El Volumen Horario de Máxima Demanda que obtuvimos para toda la intersección fue de 793 vehículos, el 63 % de este volumen corresponde únicamente a los movimientos de entrada y salida de “La Cartonera” (500 vehículos); para la misma hora de máxima demanda, de 07:30 a 08:30.

Bajo estos resultados esperamos que el TDPA en el horizonte de proyecto (año 2024) sea de 8,708 vehículos/día para toda la intersección y de 5,666 vehículos/día sólo para los movimientos de “La Cartonera”. Un excesivo flujo de vehículos para una intersección con características tan pobres como la estudiada.

3. Acompañando el incremento del volumen de tránsito, también los camiones y tracto-camiones aumentan su participación en el flujo vehicular. Cuando alguno de estos vehículos necesita incorporarse a “La Cartonera” o bien salir de la misma, la intersección tiende a paralizarse completamente; debido a las características geométricas actuales el camión necesita ocupar los cuatro carriles de circulación, dos de cada carretera, para realizar su maniobra de viaje. Situación altamente peligrosa para los usuarios de ambas vías.

#### **Factor Horario de Máxima Demanda (FHMD)**

Además de saber que en la hora pico hay muchos automóviles que entran y salen de “La Cartonera” es importante saber cómo se están comportando dentro de la HMD. El indicador que me permite interpretar el comportamiento de los flujos en esta hora tan excitada es justamente el Factor Horario de Máxima Demanda.

Los resultados obtenidos en el estudio 5.3 *Volúmenes de Tránsito Direccionales* haciendo mención a este indicador nos muestran lo siguiente:

Aforo direccional	VHMD (07:30 - 08:30 hrs)	Q máx	FHMD
Intersección 1	374	111	0.842
Intersección 2	335	92	0.910
Intersección 3	793	240	0.826
Estación E	500	166	0.753

El FHMD de la Intersección 3 (0.826) es el más pequeño de las tres intersecciones, e incluso el FHMD obtenido sólo para los movimientos de la carretera “La Cartonera” (Estación E) es más radical que el de su misma intersección (0.753). Lo que nos representa es que inclusive dentro de la hora de máxima demanda los periodos de flujo del volumen vehicular son más intensos que el propio VHMD. Esto nos conlleva a tener una intersección con congestionamientos muy agudos en periodos de tiempo “cortos” dentro de la misma hora pico.

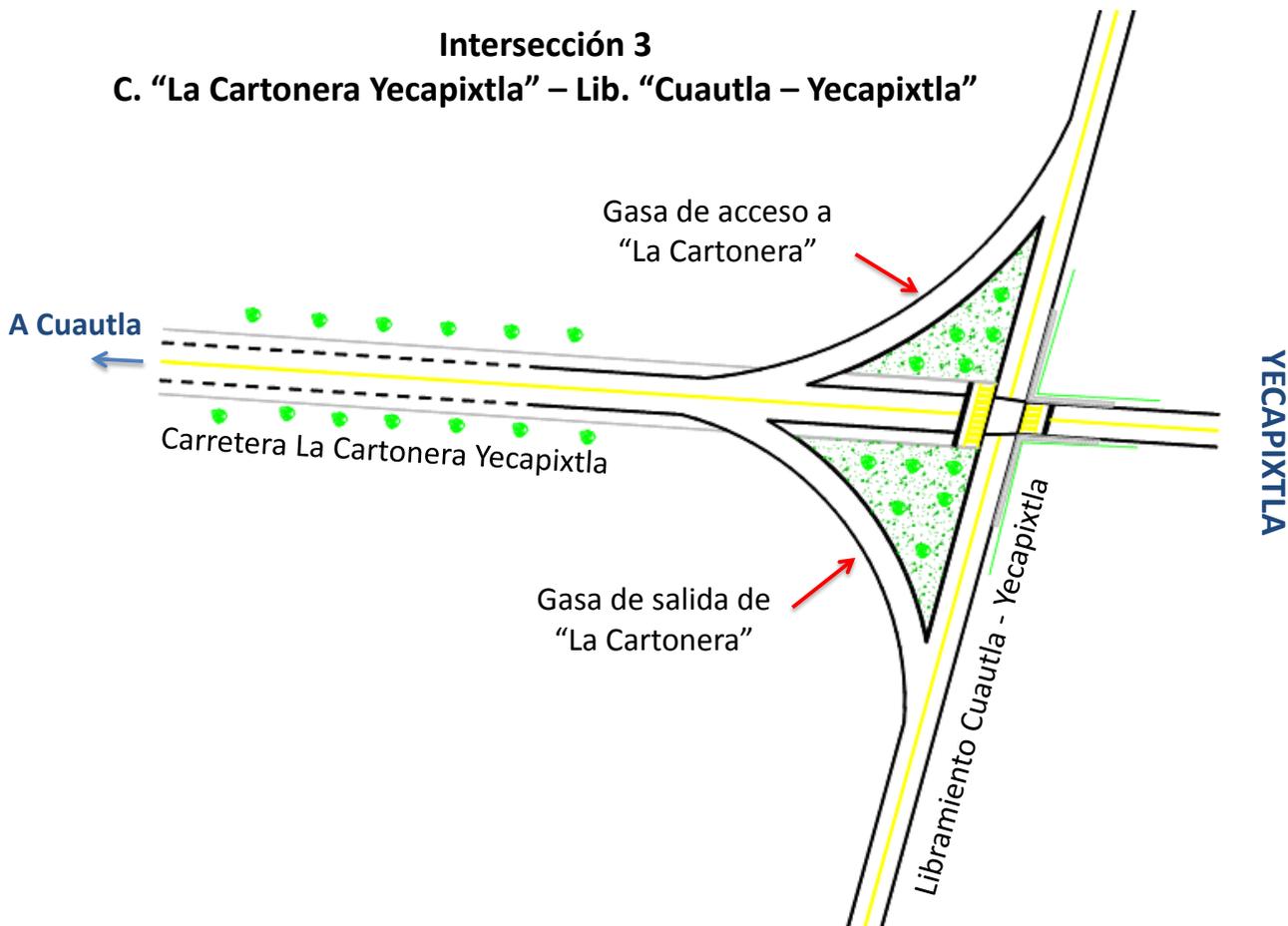
Sin duda toda la problemática que refleja esta intersección deberá ser atendida mediante una solución eficaz, eficiente y viable dentro de las posibilidades del proyecto.

### 5.3.2 Solución Mediante Gasas de Entrada y Salida para La Cartonera – Yecapixtla

La solución que se propone para abatir todas las problemáticas presentadas anteriormente es construir gasas de entrada y salida para la carretera La Cartonera – Yecapixtla, que permitan tener un flujo continuo a los vehículos, que disminuyan las demoras en el tiempo de ingreso y salida, que reduzcan la cantidad de movimientos en el seno de la intersección y que se creen las condiciones necesarias para hacer de esta una intersección segura para los usuarios.

Esta propuesta es viable en términos de espacio, en ambos lados de la carretera se encuentran potreros y tierras sin un uso aparente actualmente. Se deberá negociar con los dueños y afectados de las mismas el derecho de vía para la carretera, o incluso, proceder a la expropiación de las tierras mediante los términos legales que se emplean en este tipo de situaciones.

El diseño geométrico de las gasas de entrada y salida se encuentra fuera de los límites de este trabajo. Deberán diseñarse y apegarse conforme a lo establecido en el “Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras” de la S.C.T.



**Ilustración 5.3-1** Propuesta de solución mediante gasas de entrada y salida para la intersección 3 de La Cartonera – Yecapixtla

**Fuente:** Elaboración propia.

## 5.4 Propuesta de Solución para el Acceso a la Zona Industrial

La zona Industrial se ubica entre los kilómetros 7+130 y 7+400; 270 metros de una sola recta. Viajando de Cuautla a Yecapixtla el Parque Industrial y el IMSS se encuentran del lado izquierdo del conductor. Es uno de estos dos lugares en donde los autos que circulan por la carretera “La Cartonera” tienen su destino, debido a estas instalaciones se generan una gran cantidad de viajes.

### 5.4.1 Problemática Actual y Futura

Al ser esta zona un importante generador de viajes, los automóviles tienen la necesidad de entrar y salir continuamente a la carretera. Actualmente sabemos que en este tramo se presenta la mayor cantidad de vehículos de toda “La Cartonera”; 516 vehículos en la HMD y un TDPA de 4,300 vehículos. Para el horizonte de proyecto (2024) este volumen se incrementará a 680 y 5,666 vehículos respectivamente.

Del capítulo 5.3.9 *Características de los Movimientos Dentro del Sistema en la HMD*, de esta tesis, sabemos que en promedio el 54.5 % de los automóviles que ingresan a la carretera por el municipio de Yecapixtla tienen su destino en la Zona Industrial. Se presume que también un alto porcentaje de los vehículos que viajan de Cuautla a Yecapixtla tengan su destino en la misma zona.

Sin duda, este alto porcentaje de vehículos que entran y salen de la Zona Industrial interrumpe el libre flujo de los vehículos que se siguen por la carretera, además, genera grandes demoras de viaje; en algunos casos los automóviles se tienen que detener por completo para permitir las maniobras de entrada y salida.

Conjuntamente a lo mencionado anteriormente surge el problema de la ubicación del transporte público. Enterados de la alta generación de viajes decidieron instalar su base de transporte justo en las inmediaciones de la Zona Industrial. Para tal caso ocupan los acotamientos que se tienen en la zona y los terrenos aledaños a la misma.

El alto volumen de tránsito de la carretera, aunado a la gran cantidad de autos que interactúan en la Zona Industrial y la invasión de la carretera por parte del transporte público; generan que la transición por esta zona sea lenta, insegura y peligrosa; tanto para los conductores como para los peatones y el usuario en general. Por todo esto es necesario proponer una solución alterna a la propia ampliación de la carretera.

### 5.4.2 Solución Mediante Ampliación a Tres Carriles

Se propone como solución ampliar a tres carriles 200 metros de la Zona Industrial, con el objeto de tener un carril central únicamente para alojamiento. Este carril tendrá como función alojar los automóviles que circulen de Cuautla a Yecapixtla y deseen ingresar al Parque Industrial o al IMSS.

Con esta configuración los autos que avancen desde Cuautla y quieran girar a su izquierda para ingresar a esta zona deberán primeramente alojarse en el carril central, así se permitirá:

- El libre flujo de los automóviles que circulen en el carril derecho (de Cuautla a Yecapixtla)
- El libre flujo de los vehículos que transitan de Yecapixtla hacia Cuautla, carril izquierdo.
- Las maniobras de entrada y salida de los vehículos que interactúan en la Z.I.

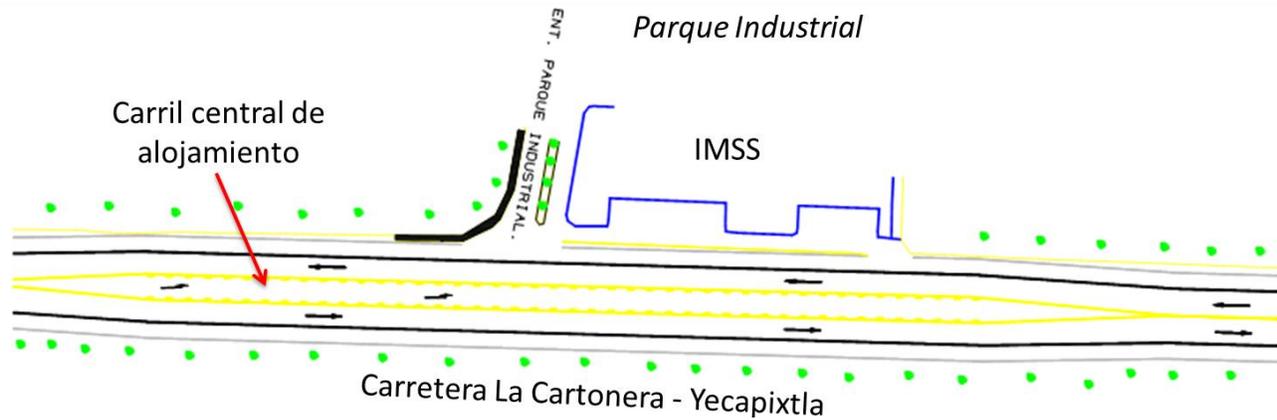
Mientras estos autos aguardarán seguros en el carril central, permiten el libre flujo vehicular, y esperan el momento indicado para realizar sus operaciones de ingreso de manera fehaciente.

Este carril central será de 3.5 metros de ancho, deberá tener sus respectivas zonas de transición; ampliación y disminución del ancho de calzada total de la carretera, y su señalamiento vertical así como marcas en el pavimento que indiquen su uso.

Frente a la Zona Industrial existen terrenos vastos utilizados como potreros, éstos podrán ser negociados o en su caso expropiados para conseguirse destinados a la ampliación propuesta.

El diseño geométrico deberá aludir a lo estipulado en el “Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras” de la S.C.T.

### Acceso a la Zona Industrial e IMSS



**Ilustración 5.4-1** Propuesta de solución mediante ampliación a tres carriles en la zona del Parque Industrial y el IMSS.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 5.4.3 Reubicación del Transporte Público

El transporte público deberá ser reubicado en las inmediaciones de la Zona Industrial, deberá contar con las instalaciones necesarias para el ascenso y descenso de los usuarios, y con los espacios de estacionamiento y espera de las unidades del transporte público.

Se deberá buscar en todo momento que estas instalaciones se ubiquen del lado de la Z.I. con el objetivo de que los usuarios eviten, en la medida de lo posible, cruzar la carretera “La Cartonera”. De no cumplirse con esta necesidad la zona y la solución propuesta resultará demasiado peligrosa para los usuarios.



## 6 CONCLUSIONES



Los estudios de Ingeniería de Tránsito son necesarios para la planeación y modernización de las carreteras e intersecciones del país; gracias a ellos es posible determinar las condiciones de operación actuales del tránsito, y en su caso, las características geométricas ideales que deberá tener la infraestructura vial para su correcta operación.

Cuando se requiere hacer nuevas vías de comunicación o modernizar las existentes para establecer una mejor interacción entre dos puntos, no sólo se trata de construir por construir, tenemos que proyectar una carretera de acuerdo a los volúmenes de tránsito y tipo de vehículos que circulan por ella, a las velocidades de operación, a sus características geométricas, a sus puntos en conflicto y a su nivel de servicio, entre otros. Todas estas condiciones son parte fundamental de los estudios de Ingeniería de Tránsito.

Con base en todas estas características y sus respectivas proyecciones a futuro es posible determinar qué tan viable, o no, es la modernización de una carretera. En algunos casos, la ampliación de un camino resulta no ser la mejor decisión en cuanto a los flujos de tránsito que circulan por él, o bien, de acuerdo al nivel de servicio esperado para éste. En estas situaciones se contempla la necesidad de construir una nueva carretera; algunas veces paralela a la ya existente y en otras ocasiones con una selección de ruta y trazo geométrico totalmente diferente al de la vialidad actual.

Es común inferir cuando hablamos de la modernización de alguna carretera, que todo el largo de la misma estará condicionado a beneficiarse de las nuevas condiciones geométricas, sin embargo, es necesario tener en cuenta que a lo largo de la carretera pueden existir tramos que probablemente ya han sido rebasados en cuanto a su capacidad, y otros, que aún tienen un buen nivel de servicio. Cuando estas situaciones se presentan, los estudios de Ingeniería de Tránsito nos dan la pauta para determinar que tramos de la carretera son los críticos y propensos a sufrir una modernización. En algunos casos cada tramo crítico puede necesitar un arreglo diferente, pero en cambio, toda la carretera habrá solventado sus problemas de operación sin haber tenido la necesidad de modernizarse en su totalidad, y por lo tanto, requerirá menos inversiones de capital.

Mediante el desarrollo de este trabajo se presentaron al lector las herramientas y las metodologías necesarias que se deben implementar para desarrollar los estudios de ingeniería de tránsito, con base en éstos podemos determinar las características del tránsito que se presentan en cualquier carretera, y si es necesario, planificar para dar una solución real y eficiente al problema suscitado.

Como hemos visto a lo largo de la tesis, es importante conocer el volumen de vehículos que se presentan en la carretera y su respectiva velocidad de operación, sin embargo, es crucial establecer una relación entre las características del volumen de tránsito en conjunto con las características físicas de la carretera, para tal caso fue fundamental la inclusión del estudio de nivel de servicio. La elaboración de éste estudio nos arrojó una calificación de acuerdo a las características de operación del tránsito sobre la carretera, identificando el *nivel de servicio* que la vía brinda a los usuarios.

Es por esto que incluir los estudios de nivel de servicio para la planeación de los proyectos carreteros es de suma importancia, éstos representan una evaluación más tangible cuando se requiere identificar las características geométricas de las carreteras, que cuando sólo se hace en base al Tránsito Diario Promedio Anual. Actualmente no todos los estudios de ingeniería de tránsito para carreteras requieren de la elaboración de estos estudios en particular. Para tal caso es importante que la SCT pugne y actualice sus añejas metodologías para la elaboración de éste estudio, y, en la medida de lo posible implemente en las licitaciones públicas de carreteras la elaboración de los estudios de nivel de servicio dentro de los estudios de ingeniería de tránsito.

Derivado de los estudios de Ingeniería de Tránsito realizados para este trabajo, logramos determinar que la demanda de vehículos que se presenta, sobre la carretera La Cartonera – Yecapixtla, es mayor a lo que ésta puede ofertar bajo sus características geométricas actuales para brindar un buen nivel de servicio. Es por esto que se presentan horas de máxima demanda que saturan la carretera, surgen problemas de operación, inseguridad y en general condiciones de servicio muy por debajo de las esperadas por los usuarios.

Antes de presentar los resultados obtenidos es importante mencionar las limitaciones que tiene este trabajo de tesis. Cuando se moderniza un camino, de acuerdo a su ubicación y condiciones, es posible que los usuarios cambien sus trayectos de viaje y definan una nueva ruta que incluya el uso de la vía modernizada, a éste fenómeno se le conoce como Atracción de Viajes. Es importante para el ingeniero de tránsito tomar en cuenta dentro de sus análisis la cantidad de viajes que serán atraídos cuando la carretera haya sido modernizada, sin embargo, los alcances que tiene este trabajo no incluyen dentro de sus estudios la atracción de viajes que generarán las nuevas condiciones geométricas de la carretera La Cartonera – Yecapixtla.

Bajo estas circunstancias y la elaboración de los estudios de tránsito se determinó la viabilidad y la necesidad de modernizar la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*. De acuerdo a la planeación realizada, se definieron las características geométricas a las cuales deberá de modernizarse la carretera para brindar a los usuarios la comodidad, seguridad y condiciones de servicio ideales para transportarse entre los municipios de Cuautla y Yecapixtla principalmente.

En consecuencia de los resultados obtenidos se propusieron las siguientes condiciones para modernizar la carretera *La Cartonera - Yecapixtla*:

1. Ampliar la carretera en su totalidad a 12.0 m. de ancho de corona; con carriles de 3.5 m. y acotamientos de 2.5 m.
2. La velocidad de proyecto será de 80 km/h para el Tramo A Cuautla – Zona Industrial, y de 90 km/h para el Tramo B Zona Industrial – Yecapixtla.
3. Diseñar carriles de aceleración y desaceleración para el acceso a *La Cartonera – Yecapixtla* en la intersección 1; Lib. Cuautla y “*La Cartonera*”.
4. Diseñar gasas de salida e incorporación a “*La Cartonera*” en la intersección 3; “*La Cartonera*” y Lib. Cuautla – Yecapixtla.
5. Ampliación a tres carriles, con carril central únicamente de alojamiento a los vehículos que circulan de Cuautla a Yecapixtla, para permitirles el acceso seguro al parque industrial y el IMSS.



# Bibliografía

- Bañón Blázquez, L., & Beviá García, J. (2000). Volumen I: elementos y proyecto. En *Manual de carreteras*. Alicante.
- Cal y Mayor R., R., & Cárdenas G., J. (2010). *Ingeniería de Tránsito*. México: Alfaomega.
- CEPEP. (s.f.). *Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP)*. Recuperado el martes 13 de agosto de 2013, de <http://www.cepep.gob.mx/>
- Dirección General de Servicios Técnicos, SCT. (1984). *Normas de Servicios Técnicos: Proyecto Geométrico*. México.
- Dirección General de Servicios Técnicos, SCT. (2011). Conceptos que conforman un proyecto ejecutivo de carreteras. México.
- Dirección General de Servicios Técnicos, SCT. (2013). *Datos Viales 2013*. México.
- Garber, N., & A. Loel, L. (2004). *Ingeniería de Tránsito y de Carreteras*. México: Thomson.
- Gobierno de Morelos. (2007). Programa estatal de desarrollo urbano 2007 - 2012. En *Diagnóstico del nivel de integración funcional del territorio* (págs. 261 - 281). Morelos.
- INEGI. (2013). *Censo de población y vivienda 2010*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2013, de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>
- INEGI. (2013). *México en Cifras. Información nacional, por entidad federativa y municipios*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2013, de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx>
- S.C.T. (s.f.). *Compranet*. Recuperado el 10 de 11 de 2013, de Licitación Pública Nacional No. 00009001-136-10 <http://web.compranet.gob.mx:8000/pls/cnet2k2/C2DetaLic.detalle?Numerolc=000090011362010&TipCon=4>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2011). *NOM-034-SCT2-2011 "Señalamiento Horizontal y Vertical de Carreteras y Vialidades Urbanas"*. México.
- Secretaría de Tránsito y Transporte. (s.f.). 5 Estudios de Tránsito para Tránsito Vehicular. En Cal y Mayor y Asociados, *Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte* (págs. de 5-5 a 5-18). Bogotá.
- Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C.: National Research Council.