



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**MEDICIÓN DE AFOROS EN CARRETERAS EN MÉXICO.  
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS ENTRE AFORO  
AUTOMÁTICO Y AFORO MANUAL.**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES**

PRESENTA:

**ING. KARLA NATALIA VILLEGAS VILLA**

DIRECTOR DE TESINA: ING. ESTEBAN DE JESÚS FIGUEROA PALACIOS

MÉXICO, D.F.

AGOSTO 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

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.



## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>4</b>
<b>3. Generalidades</b>	<b>4</b>
<b>4. Identificación del Problema y Recopilación de la Información</b>	<b>8</b>
<b>4.1. Recopilación de la Información</b>	<b>10</b>
4.1.1. Información Primaria	11
4.1.2. Información secundaria	11
<b>5. Estudios Origen – Destino</b>	<b>12</b>
<b>5.1. Estaciones de Encuesta y Aforo</b>	<b>13</b>
<b>5.2. Aforos de Tránsito</b>	<b>20</b>
5.2.1. Aforo Automático	22
5.2.2. Aforo Manual	24
<b>6. Análisis de la información.</b>	<b>28</b>
6.1. Descripción de las diferencias.	43
<b>7. Alternativas de solución.</b>	<b>44</b>
7.1. Procedimientos de ajuste de los aforos	52
<b>8. Caso de estudio</b>	<b>57</b>
8.1.1. Comparación	80
8.1.2. Alternativas	81
<b>9. Conclusiones</b>	<b>82</b>
<b>10. Recomendaciones</b>	<b>83</b>
<b>11. Bibliografía y Referencias</b>	<b>84</b>



## 1. Introducción

Este trabajo tiene como objetivo analizar los resultados que se obtienen al realizar un estudio de origen – destino en carreteras, en específico las diferencias entre los aforos manual y aforo automático que son los que comúnmente se utilizan en estos estudios. En principio, se tendrá una breve descripción de los conceptos básicos que se manejan en los estudios de origen – destino, desde la definición de transporte, y su planeación, los estudios origen – destino, las matrices origen – destino, las estaciones de encuesta, los aforos automático y manual, entre otros.

Se detallarán las características, así como las ventajas y desventajas que cada tipo de aforo tiene, se describirán y compararán los resultados que se obtienen con cada uno de estos aforos, se analizará la confiabilidad y la variación entre ellos y se buscará una posible alternativa para generar información más precisa para que pueda ser utilizada en un estudio de demanda de carreteras.

Una vez identificadas las variaciones y la magnitud de las diferencias entre los dos tipos de estudios, se describirán algunos procedimientos de ajuste de aforos que permiten homogeneizar los resultados obtenidos por separado de los aforos manual y automático, o bien, decidir cuál de los dos aforos de acuerdo al tipo de información que proporcionan y de acuerdo al tipo de proyecto en estudio, se puede utilizar con mayor nivel de confianza.

Se tendrá como caso de análisis los estudios de demanda del proyecto La Venta – Topilejo – Chalco – San Martín Texmelucan y Libramiento sur de Puebla en el cuál se presentaron diferencias significativas entre los aforos manual y automático, por lo que para homogeneizar los datos obtenidos, se tuvo que emplear un procedimiento de ajuste.



## 2. Antecedentes

En un estudio de transporte, se necesita contar con información suficiente, disponible y consistente para lograr un proceso de planeación del transporte confiable.

En México, la planeación de infraestructura debe estar relacionada con la planeación del transporte, al ser el sector carretero el principal medio de desplazamiento, un estudio de demanda es fundamental para poder diseñar las características geométricas, técnicas, operacionales y funcionales de las carreteras.

Para planear el crecimiento de una red carretera, es necesario conocer la demanda de transporte en la región servida por esta red. La obtención de información sobre la demanda de transporte en la red de carreteras de México es de gran importancia, pues es la base para hacer una buena planeación del crecimiento de esta red.

Para estimar la demanda de una carretera, los especialistas utilizan generalmente los llamados modelos de demanda, los cuales son alimentados por información obtenida directamente de campo. El levantamiento de información en México y en otros países que realicen un estudio, debe ser supervisado por entidades externas para asegurarse que la calidad del estudio es la mínima requerida para cualquier estudio.

## 3. Generalidades

Para poder entender la finalidad y la importancia que tienen los aforos en un estudio de demanda, se deben definir en principio conceptos básicos como el transporte, y su planeación, de la cual derivan los estudios de demanda y, en particular, los estudios origen destino, mismos que utilizan como recurso fundamental los aforos de tránsito para obtener una estimación lo más acertada a la realidad.

El transporte se encarga de movilizar personas o mercancías de un lugar a otro para que se puedan realizar al conjunto de actividades que participan en el proceso económico, así como permitir el acceso de las personas a las mercancías y a las necesidades sociales como son: el empleo, la educación, los servicios de salud, el entretenimiento, el traslado de carga, etc. mediante instalaciones fijas y móviles. El transporte propicia el rápido movimiento de personas y mercancías y hace posibles innumerables procesos económicos, sociales, políticos, comerciales y recreativos.

Los componentes de los sistemas de transporte se constituyen por la oferta y la demanda que se mencionan a continuación:

La función de oferta representa la cantidad de bienes o servicios que un productor desea ofrecer a un precio determinado.<sup>1</sup>

Oferta en el transporte:

- ✓ Infraestructura o instalaciones fijas: carreteras, vías férreas, puertos.
- ✓ Puntos de transferencia: zonas de estacionamiento, entronques.
- ✓ Elementos de apoyo: señales, signos, vinculación, protección, localización.
- ✓ Modo de transporte. Auto, camión de carga, ferrocarril, barco, avión.

Una función de demanda para un producto o servicio en particular, representa el deseo de los consumidores o usuarios, para comprar el producto o servicio a precios alternos<sup>2</sup>. La demanda de transporte es la relación entre las actividades socioeconómicas y las necesidades de transporte, ayuda a predecir la cantidad de usuarios que utilizarán cada modo de transporte.

Demanda en transporte:

- ✓ Segmentación por necesidades o ingreso. A mayor ingreso existe una mayor demanda de viajes.
- ✓ Tiempo. Existen variaciones a lo largo del día, semana o del año.
- ✓ Espacio. Diferentes orígenes y destinos.
- ✓ Características de viaje. Variaciones por tamaño del grupo de viajeros.
- ✓ Vehículos: Aviones, trenes, automóviles, autobuses, barcos, camiones.
- ✓ Operativos/usuarios: Conductores, pilotos, de carga, pasajeros.

Los componentes de los sistemas de transporte interfieren en la actividad del transporte simultáneamente, con el objetivo de aumentar la eficiencia de estos sistemas.



Figura 1. Actividad del Transporte.

<sup>1</sup> Estudio de la Demanda de Transporte. IMT

<sup>2</sup> Estudio de la Demanda de Transporte. IMT



Al ser una actividad económica, el transporte es un elemento necesario para el crecimiento económico, más no es suficiente. Se dice que la eficiencia de un sistema de transporte es un índice del desarrollo económico del país.

El transporte se relaciona con todos los sectores de la economía de una nación, debido a su importancia, complejidad, tamaño y extensión.

El transporte determina la ubicación y condiciones de las ciudades y regiones por la interacción con el uso de la tierra. La velocidad, el costo, y la capacidad disponible de transporte tienen un impacto económico significativo en un área o región. Es común que los países con mejores y/o avanzadas redes de transporte y servicios sean líderes en la industria y el comercio (EUA, Japón, Alemania...).

La eficiencia de un sistema de transporte es un índice del desarrollo económico de un país. Esto significa que el contar con un sistema de transporte adecuado y eficiente ayuda al crecimiento económico y regional de cualquier país, permite la estandarización y la integración al mundo globalizado. Un buen diseño de las vías terrestres es clave para mantener un sistema de transporte eficaz.

El transporte puede ser clasificado de varias maneras de forma simultánea, dependiendo de la finalidad con la que se utiliza. Para fines del presente trabajo, se definirán las siguientes clasificaciones:

Clasificación por el contenido a transportar:

- Transporte de carga. El Transporte de carga es considerado como parte de la cadena de distribución encargada del traslado de productos o bienes por un precio o flete, desde el lugar de producción, hasta el lugar de consumo pasando eventualmente por lugares de embarque, almacenaje y desembarque. En el transporte de carga lo importante es producir, distribuir y vender productos, no es transporte en sí.
- Transporte de personas. Se refiere al servicio de transporte proporcionado por un operador y que está disponible para todas aquellas personas que tienen el deseo de viajar y por el cual pagan una tarifa.

Clasificación por su alcance:

Dependiendo del tiempo, la distancia y la frecuencia de los viajes, se pueden clasificar en urbanos, interurbanos, regionales e internacionales.

Un proyecto de transporte, debe ser realizado por profesionales que cuenten con la experiencia y los conocimientos orientados a dar solución a los diferentes problemas que se presenten en esa área. La rama de estudio dedicada este tipo de problemas es la ingeniería de transporte.





La ingeniería de transporte es una de las especialidades de la ingeniería civil, se define como la aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, proyecto, operación y administración de cualquier modo de transporte.

Es una actividad multidisciplinaria orientada a las personas, que implica conocimientos de economía, ambientales, estadísticos, legales, psicológicos y la identificación y resolución de problemas; con los cuales se desarrollan y/o mejoran instalaciones para la circulación de bienes y personas.

Algunas áreas de la Ingeniería del Transporte son:

1. Ingeniería de Tránsito.
2. Ingeniería de Vías Terrestres.
3. Ingeniería de Puertos.
4. Ingeniería de Aeropuertos.
5. Ingeniería de Ferrocarriles

En particular, la ingeniería de tránsito, que es tema de interés del presente trabajo, abarca los conocimientos en:

- Planeación del Transporte
- Operaciones de Tráfico (signos, señales ...)
- Diseño Geométrico de Carreteras
- Ingeniería de Pavimentos
- Ingeniería Ferroviaria
- Diseño y Planeación de Aeropuertos



#### **4. Identificación del Problema y Recopilación de la Información**

Aunque sea claro que el objetivo general de la planeación del transporte es satisfacer las necesidades sociales de movilidad, en concreto se requiere explicar la movilidad de quién; con qué propósito; con qué medios; a qué costos; y quién los cubre.

El proceso de planeación del transporte depende fuertemente de los datos y de la información que lo alimenta, por lo que la diversidad de fuentes de información, formatos usados, niveles de agregación, métodos de colecta y su frecuencia de obtención, deben ser tratados con la mayor exactitud posible para identificar la información que puede ser utilizada y desechar la que no cumpla con las características de una información válida y consistente.

Ante la escasez de datos, los planificadores usan estimaciones estadísticas y valores de referencia para ayudarse a describir el sistema de transporte, dependiendo de la precisión de dichas estimaciones para obtener resultados confiables.

Igualmente, cuando los datos no existen y no es posible estimarlos, el proceso de planeación del transporte reduce sus alcances, limitando sus aportaciones.

Para obtener resultados satisfactorios, la planeación del transporte se apoya de diferentes herramientas tales como la recolección de datos mediante trabajos de campo, la informática para tener una correcta organización de información, la estadística que ayuda a la caracterización de la información, la economía que ayuda a entender el comportamiento del entorno, y la ingeniería para poder caracterizar la oferta.

Las actividades que se llevan a cabo en la planeación del transporte se pueden enumerar de la siguiente manera:

1. Identificación de problemas, recolección y análisis de datos.
2. Previsiones de las futuras demandas de tráfico y estimación de impactos ambientales y sociales.
3. Evaluación de alternativas y selección de aquellas que cumplen los requisitos y las limitaciones del problema en el menor costo.

El proceso de planeación de transporte se puede dividir en 4 pasos o modelos.

- Modelos de producción/atracción (Generación de viajes). Identifica la decisión del usuario de viajar por algún fin determinado.
- Modelo de distribución. Se refiere a la selección del destino del viaje.
- Modelo de selección modal. Identifica la ruta seleccionada por el usuario para realizar el viaje.
- Modelo de equilibrio (Asignación de viajes). Ayuda a determinar las rutas óptimas de viajes a los diferentes destinos.

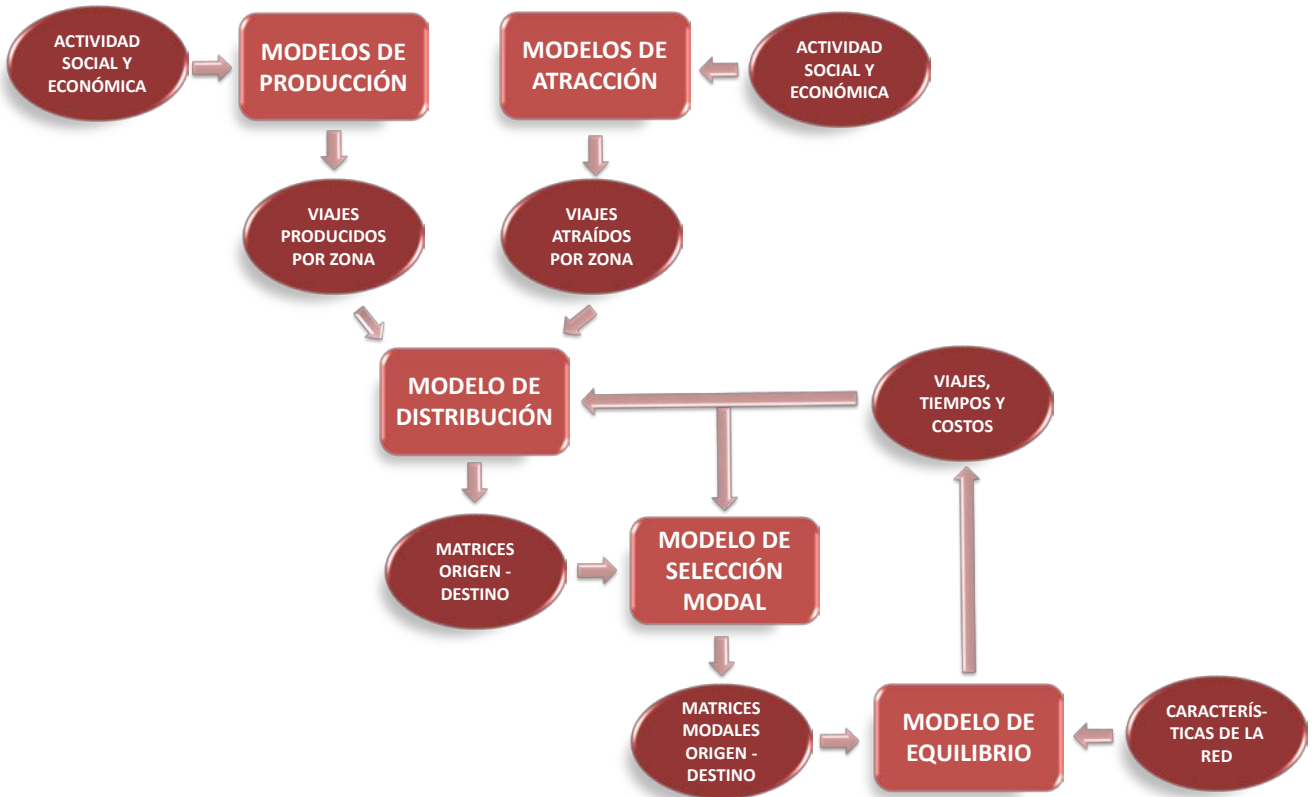


Figura 2. Proceso de Planeación de Transporte.

- Modelos de producción/atracción (Generación de viajes).

Este modelo trata de identificar el comportamiento de los usuarios del sistema de transporte respecto a su decisión de realizar un viaje de una zona a otra determinada. Lo anterior da lugar al uso de dos modelos de generación de viajes: de producción y de atracción.

Modelos de Producción y de Atracción. Son modelos de regresión que ayudan a obtener el número de viajes producidos o atraídos por cada zona de la región de estudio y para diversos estratos.

- Modelo de distribución.

Este modelo determina los viajes entre cada par de zonas de la región para los diversos estratos. Es decir, identifica los elementos que motivan a los usuarios del sistema de transporte a ir de la zona de producción del viaje a la zona de atracción del viaje, dentro del área de estudio.



- Modelo de selección modal.

Es un modelo que determina los viajes entre cada par de zonas de la región para los diversos estratos del área de estudio y para cada modo de transporte. Se debe tomar en cuenta que cada modo de transporte evoluciona en el tiempo, lo cual modifica la preferencia de los usuarios.

- Modelo de equilibrio (Asignación de viajes).

Este modelo determina la ruta óptima de cada par de viajes, es decir, la forma en la que los usuarios utilizarán los sistemas de transporte a través de la red.

En general, la planeación del transporte pretende resolver los ya conocidos problemas, como la falta de vías de comunicación, la congestión, la contaminación ambiental, el ruido, etc., los cuales se agravan por las condiciones de bajos ingresos de la población; el acelerado crecimiento urbano; las enormes demandas de transporte público; y por la aguda escasez de recursos, incluyendo capitales, datos adecuados para la planeación y personal capacitado.

Los problemas de transporte actuales en todo el mundo, no se limitan al modo carretero y al tránsito de automóviles; el crecimiento económico mundial ha generado niveles de demanda que han excedido las capacidades de la mayoría de los modos de transporte.<sup>3</sup>

#### **4.1. Recopilación de la Información**

Ya se ha mencionado que el transporte consiste en mover personas u objetos de un lugar a otro. El proceso de planeación de transporte, mediante los cuatro pasos o modelos antes mencionados, se auxilia de elementos de análisis para cuantificar estos movimientos. Dentro del modelo de generación de viajes, se realizan estudios de origen – destino los cuales se alimentan principalmente de información recolectada en matrices llamadas de origen – destino. En el caso de las carreteras, cuando se hace la estimación de matrices origen – destino, nos encontramos con el problema de que la información es escasa y muchas veces poco confiable, lo cual depende de las características mismas de operación de este modo de transporte.

Por este problema que se tiene con la información, se debe hacer un uso eficiente de la mayor cantidad de información disponible. Se clasificará la información en Primaria y Secundaria, teniendo como base su utilidad para efectos de estimación. La primaria es la información que mide directamente movimientos en carreteras; esta información proviene de los aforos de tránsito y de los estudios origen - destino.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Diagnóstico de la Información disponible y necesaria para fines de Planeación del Sistema de Transporte. IMT

<sup>4</sup> Estimación de Demanda de Tránsito en Carreteras Combinando Estudios Origen-Destino con Aforos. IMT



#### **4.1.1. Información Primaria**

Esta información se puede dividir, en relación a los resultados que proporciona de una matriz origen – destino, en directa e indirecta.

En el primer caso, están los datos que resultan de un estudio origen-destino; a esta información se le llamará directa porque, constituye en sí misma una muestra de las matrices origen-destino.

En el segundo caso, están los datos de aforos en carreteras, a esta información se le llamará indirecta porque el volumen de tránsito en un punto determinado de una carretera, es la suma de ciertos patrones de movimientos entre pares de puntos generadores de transporte, que es precisamente lo que trata de modelar una matriz origen-destino.

La información de los aforos de tránsito aunque no proporciona directamente información con respecto a las matrices origen-destino, es generalmente más confiable y abundante que los estudios origen - destino.

#### **4.1.2. Información secundaria**

En este tipo de información, se tienen principalmente datos de variables socioeconómicas de ciudades o regiones, que aunque no miden directamente el movimiento en carreteras, pueden tener una relación causal con los movimientos de transporte que se genera entre dos puntos determinados. Ejemplos de este tipo de variables podrían ser población, producto interno bruto, índice de motorización e indicadores de producción industrial o de actividades comerciales o turísticas.

La relación entre las actividades socioeconómicas y las necesidades de transporte, se estiman utilizando un modelo de demanda, el cual tiene el objetivo de predecir la cantidad de usuarios, por tipo, características y fin que emplea determinado medio de transporte, dado un conjunto de circunstancias.

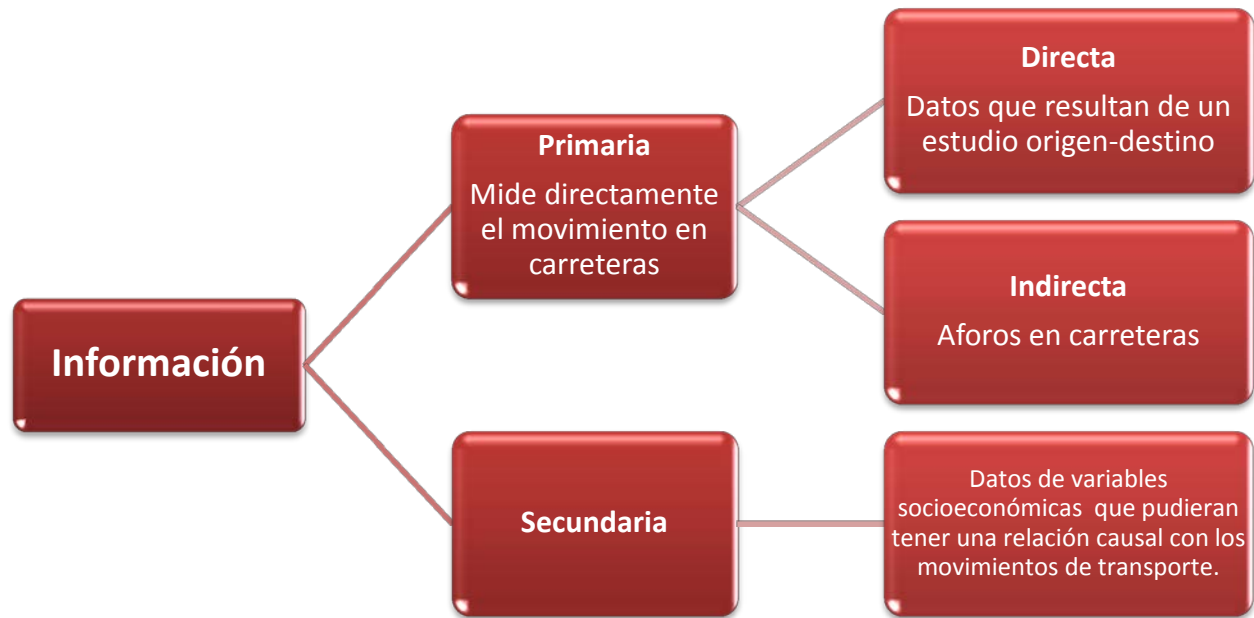


Figura 3. Información Disponible.

## 5. Estudios Origen – Destino

Para un estudio de transporte en carreteras, el objetivo primordial es estimar la demanda que tendrá un proyecto nuevo o existente en determinado tiempo.

Los estudios Origen – Destino permiten obtener información que permita determinar la movilidad de un proyecto de interés y calibrar los modelos de oferta y de demanda de los sistemas de transporte, beneficiando así el proceso de planeación de transporte. Estos estudios consisten en detener a los vehículos que pasan por un punto de una carretera, para obtener información sobre los viajes que realizan.

La demanda de transporte se define como la relación entre las actividades socioeconómicas y las necesidades de transporte, ayuda a predecir la cantidad de usuarios que utilizarán cada modo de transporte. Regularmente un estudio de demanda en carreteras incluye mínimo un estudio de origen – destino, de los que se obtienen resultados directamente de campo mediante estaciones de encuesta y aforos. Estos resultados se reflejarán en una matriz origen – destino, la cual ayudará a obtener una estimación aproximada de la demanda.

### 5.1. Estaciones de Encuesta y Aforo

A los puntos donde se realizan los estudios origen – destino se les llama estaciones origen – destino.<sup>5</sup>

En una estación origen – destino se busca analizar las características de viaje de las carreteras seleccionadas, obteniendo información acerca del origen y destino de los viajes, el motivo y la frecuencia de los mismos, el nivel de ingresos del conductor y el tipo de carga transportada, entre otros, mediante encuestas realizadas directamente al conductor.

Las encuestas realizadas al usuario en un estudio origen – destino, se dividen en encuestas de origen – destino (OD) y en encuestas de preferencia declarada (PD).

#### Encuesta origen – destino (OD)

Las encuestas Origen-Destino (OD) identifican los principales viajes que pasan por la región de estudio, permitiendo caracterizar el flujo de los viajes sobre las vías existentes, además, permiten determinar los viajes de corto y largo itinerario.

Los formatos de encuesta origen – destino deben recopilar información básica de la estación de análisis, la carretera sobre la que está ubicada, la latitud y longitud, el sentido de la vialidad, así como las condiciones climáticas de la zona y los percances que se puedan llegar a presentar al momento de realizar la encuesta.

Se debe llevar un control de la fecha, el día de la semana y el período en que se realiza.

La encuesta debe contener el detalle de la información que se desea analizar en el estudio:



Figura 4. Información básica de una encuesta OD.

<sup>5</sup> Estimación de Demanda de Transito en Carreteras Combinando Estudios Origen-Destino con Aforos. IMT



A continuación se presenta un ejemplo de formato de encuesta origen – destino.

ENCUESTA DE ORIGEN Y DESTINO PARA AUTOS Y AUTOBUSES																					
Carretera: _____			Encuestador: _____			Fecha: _____			Ubicación: _____			Supervisor: _____			Día: _____						
Estación: _____			Condic. Climáticas: _____			Período: _____			Sentido: _____												
TIPO DE VEHICULO			ORIGEN			DESTINO			MOTIVO DE VIAJE					FRECUENCIA (Colocar numéricos)				NIVEL DE INGRESO (FAMILIAR)		TOMA USTED LA DECISIÓN DE PAGAR LA CUOTA	
A	B2	B3							T	P	E	C	O						(1) Hasta - \$ 5,000 (2) \$ 5,001 - \$ 10,000 (3) \$ 10,001 - \$ 20,000 (4) \$ 20,001 - \$ 40,000 (5) más de \$ 40,001	SI	NO
A	B2	B3							T	P	E	C	O						(1) Hasta - \$ 5,000 (2) \$ 5,001 - \$ 10,000 (3) \$ 10,001 - \$ 20,000 (4) \$ 20,001 - \$ 40,000 (5) más de \$ 40,001	SI	NO
A	B2	B3							T	P	E	C	O						(1) Hasta - \$ 5,000 (2) \$ 5,001 - \$ 10,000 (3) \$ 10,001 - \$ 20,000 (4) \$ 20,001 - \$ 40,000 (5) más de \$ 40,001	SI	NO
A	B2	B3							T	P	E	C	O						(1) Hasta - \$ 5,000 (2) \$ 5,001 - \$ 10,000 (3) \$ 10,001 - \$ 20,000 (4) \$ 20,001 - \$ 40,000 (5) más de \$ 40,001	SI	NO
A	B2	B3							T	P	E	C	O						(1) Hasta - \$ 5,000 (2) \$ 5,001 - \$ 10,000 (3) \$ 10,001 - \$ 20,000 (4) \$ 20,001 - \$ 40,000 (5) más de \$ 40,001	SI	NO

**TIPO DE VEHICULO**  
**A:** AUTOMOVIL  
**B2:** AUTOBUS DE 2 EJES  
**B3:** AUTOBUS DE 3 EJES

**MOTIVO DE VIAJE**  
**T:** TRABAJO      **C:** COMPRAS  
**P:** PASEO        **O:** OTROS  
**E:** ESTUDIOS

**FRECUENCIA**  
**D:** DIARIA      **A:** ANUAL  
**S:** SEMANAL  
**M:** MENSUAL

**Figura 5. Diseño de formatos de Encuesta origen – destino.**





Figura 6. Ejemplo de Encuesta origen – destino.

### Encuesta preferencia declarada (PD)

Las encuestas de Preferencia Declarada (PD) miden las expectativas de uso de los nuevos proyectos, con base en la comparación de situaciones alternas que tienen beneficios en términos de ahorro de tiempo, pero representan un costo diferencial para los usuarios. A partir de ellas, se determina la segmentación de la demanda y el valor del tiempo de cada uno de los segmentos. Es usual que la selección de una nueva vía alterna respecto de redes existentes, dependa principalmente de tres conjuntos de características:

- Atributos del viaje (motivo, frecuencias, origen y destino)
- Atributos del usuario (niveles de ingreso)
- Atributos del sistema de transporte (costo y tiempo de viaje)



Figura 7. Aplicación de encuestas al usuario.



### **Realización de encuestas**

La toma de encuestas en carretera se realiza en puntos donde los vehículos tengan que disminuir la velocidad para poder después guiarlos hacia una estación de encuestas instalada sobre o a un lado de la carretera donde se quiere obtener la muestra.

Para la instalación de las estaciones de encuesta, se deben hacer visitas previas a los sitios donde se instalarán las mismas y se deberá ofrecer una capacitación previa al personal de campo que participará en los estudios. El diseño de las estaciones de encuesta deberá considerar los aspectos operacionales y de seguridad, tal y como indica el Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Carreteras que publica la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Una estación de encuesta en carreteras debe estar colocada de manera tal que el conductor la visualice desde una distancia prudente, auxiliándose de señalamiento informativo y preventivo para evitar accidentes, debe contar con dispositivos de protección del camino como conos y trafitambos, y debe haber personal que controle y dirija el tránsito (bandereros), debe contar con señalamiento e iluminación adecuados para los turnos diurno y nocturno, utilizando dispositivos de línea fabricados para este fin.

Los campamentos, equipos y accesorios deben estar instalados a un lado del camino, conformando el equipo de apoyo y de servicios de la estación. El personal debe estar uniformado correctamente y estará verificando que no se generen colas en la vialidad.

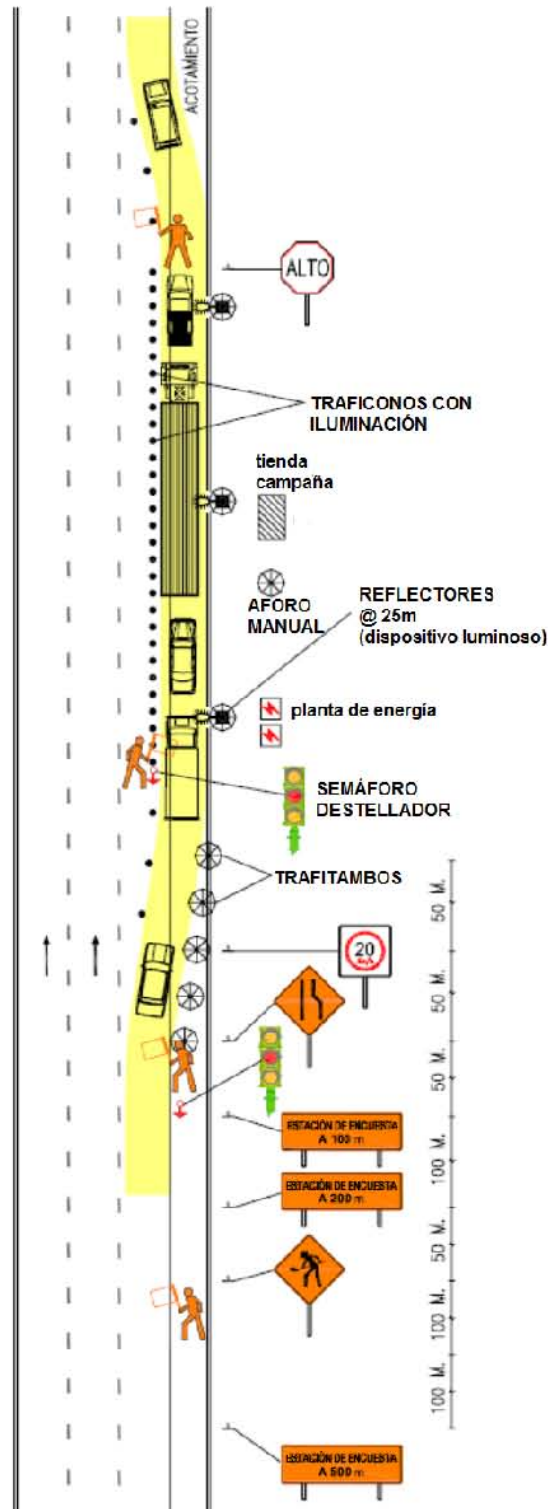


Figura 8. Diseño de una estación de encuesta



Figura 9. Señalamiento informativo



Figura 10. Señalamiento preventivo



Figura 11. Dispositivos de protección e iluminación



Figura 12. Banderero dirigiendo el tránsito



Figura 13. Campamento instalado a un lado del camino



Figura 14. Planta de energía



Para un proyecto definido, se deben tener muy claras la cantidad y la localización de estaciones que van a ser instaladas, así como el tamaño de la muestra que se desea a obtener. Cada estación debe ubicar de igual manera, los medios de conteo de tránsito que serán utilizados. Todo esto se logra mediante un diseño de datos, con la ayuda de software especializado y con una correcta supervisión de los trabajos de campo.

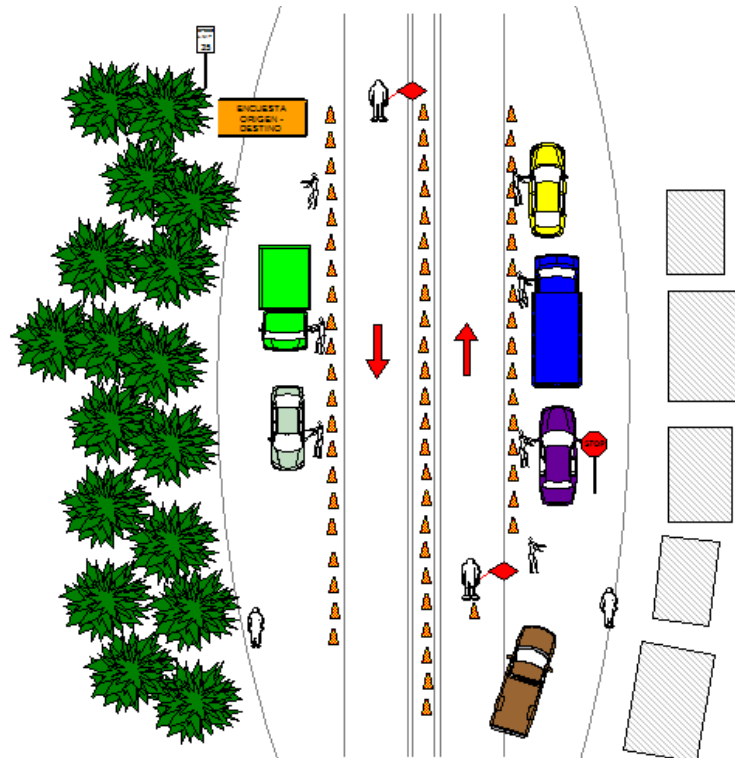


Figura 15. Croquis de Estación de encuesta origen – destino



Figura 16. Ejemplo de una Estación de encuesta origen – destino



Los estudios generalmente se hacen durante cuatro días, de jueves a domingo, las 24 horas. Los datos obtenidos de los estudios origen – destino se reflejan en las llamadas matrices origen – destino, que expresan la demanda de transporte de una región servida por la Red en estudio. Cada elemento de estas matrices contiene la cantidad de transporte llevado a cabo entre dos pares de puntos o zonas de la región en un intervalo de tiempo o su equivalente en promedio diario.

## **5.2. Aforos de Tránsito**

La realización del aforo consiste en el conteo clasificado de los vehículos que pasan por un punto fijo, establecido previamente, sobre una carretera. La composición vehicular consiste en indicar los porcentajes de vehículos que pertenecen a determinadas categorías. Estas categorías dividen a los vehículos en automóviles, autobuses y camiones de carga, en esta última categoría, también es usual hacer otras divisiones de acuerdo al número de ejes y configuración tractor-remolque o remolques de los vehículos. Existen dos tipos diferentes de aforos, en el primer tipo, se realiza la medición durante todos los días del año, por lo que se les llama aforos permanentes. Estos aforos permanentes, se realizan en las llamadas estaciones maestras, las cuales coinciden la mayoría de las veces, en nuestro país, con las casetas de cobro del organismo Caminos y Puentes Federales de Ingreso y Servicios Conexos (CAPUFE). En el segundo tipo de aforo, se realiza la medición durante solamente algunos días del año, en nuestro país esto es generalmente una semana, por lo que se les llama aforos de base semanal. Los resultados de los aforos, son usados principalmente para conocer el tránsito diario promedio anual que pasa por un punto dado de una carretera. En el caso de los aforos permanentes esto puede conocerse exactamente, sin embargo, en el caso de los aforos de base semanal, sólo puede hacerse una estimación a partir de los datos recabados.

La estimación mencionada en el párrafo anterior, presenta principalmente dos problemas, los cuales pueden hacer que esta estimación no sea muy confiable. El primer problema se debe a que la estimación es realizada mediante una muestra muy pequeña, una semana en relación a todo el año, por lo que los diferentes valores que puede tomar el estimador presentarán grandes variaciones entre sí. El segundo problema es debido a que por las grandes variaciones que presenta el tránsito durante las diferentes épocas del año, la estimación de un promedio anual realizada a partir de los datos de una semana determinada, tenderá a ser bastante diferente a este promedio anual.

El primer problema podría ser atacado observando el tránsito durante un mayor número de días, el segundo, haciendo estas observaciones en diferentes épocas del año. Sin embargo, estas medidas tendrían que ser tomadas sólo cuando se requiera un grado de precisión elevado. Así, por ejemplo, muy probablemente no podrían ser recomendadas



para los aforos que de forma general y sistemática se realizan año con año pero sí cuando se trate de estudios específicos.

Existen diversas formas de obtener los conteos de volúmenes de tránsito, para lo cual se ha generalizado el uso de aparatos de medición de diversa índole. Estas formas incluyen:<sup>6</sup>

- Aforos manuales a cargo de personas, los cuales son particularmente útiles para conocer los volúmenes por carriles individuales y su composición vehicular.
- Aforos por combinación de métodos manuales y automáticos, tales como el uso de contadores mecánicos accionados manualmente por observadores.
- Aforos obtenidos mediante dispositivos mecánicos, los cuales automáticamente contabilizan y registran los ejes de los vehículos.
- Aforos con utilización de cámaras de video.
- Aforos direccionales que consisten en registrar el total o una cierta cantidad de movimientos posibles que se presentan en una intersección, distribuidor vial o cruce determinado.

El período de conteo no debe comprender condiciones en las que se presenten eventos especiales, a menos que se desee estudiar específicamente esa situación. Algunos de los períodos más usados son los siguientes:<sup>7</sup>

- Conteos de fin de semana: Cubre el período comprendido entre las 6:00 p.m. del día viernes y las 6:00 a.m. del día lunes.
- Conteo de 24 horas: Comprenden cualquier período de 24 horas, pudiendo exceptuar la mañana del lunes y la tarde del viernes, ya que en estos últimos casos existe una gran variación en el comportamiento del tránsito.
- Conteos de 7 días: Comprenden conteos de 24 horas durante 7 días consecutivos del año, siempre y cuando las condiciones del tránsito se consideren normales.
- Conteos de 3 días: Comprenden conteos de 24 horas durante tres días consecutivos, preferiblemente martes, miércoles y jueves, de una semana cualquiera.
- Conteos de 16 horas: Se realizan normalmente en el período 6:00 a.m. – 10:00 p.m.
- Conteos de 12 horas: Se realizan normalmente en el período 7:00 a.m. – 7:00 p.m.
- Conteos en períodos pico: Comprenden los períodos de mayor demanda del tránsito.

---

<sup>6</sup> Manual de modelación 2006. Modelación de demanda para carreteras de cuota. Steer Davies Gleave, Transconsult, Dirección General de Desarrollo Carretero, SCT.

<sup>7</sup> Manual de modelación 2006. Modelación de demanda para carreteras de cuota. Steer Davies Gleave, Transconsult, Dirección General de Desarrollo Carretero, SCT.



- Conteos en períodos largos: Utilizan contadores mecánicos (electrónicos) de tipo permanente.

Los aforos de tránsito son más sencillos de realizar; regularmente se cuenta con un buen número de ellos y se obtiene una mejor estimación de las Matrices Origen-Destino al combinar las dos fuentes de información mencionadas.

No es recomendable que los aforos de tránsito se lleven a cabo en días festivos ni en días anteriores o posteriores a estos; tampoco cuando existen condiciones atmosféricas adversas que pudieran afectar el flujo.

Definición de volumen de tránsito: Número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado.

Tránsito promedio diario (TPD): 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 entre el número de días del periodo, que será de 365 si es anual, 30 si es mensual, y 7 si es semanal.

Los volúmenes de tránsito nunca deben considerarse como estáticos y por lo tanto, los volúmenes de tránsito sólo son precisos para el momento del conteo.

### **5.2.1. Aforo Automático**

Los contadores automáticos se utilizan para obtener conteos vehiculares en lugares situados a mitad de cuadra o en tramos continuos a campo abierto. En México, los más utilizados son los contadores neumáticos, conformados de una manguera flexible conectada a una caja metálica donde se registran los datos. Generalmente se utilizan dos juegos de mangueras en ambos sentidos, colocados en forma transversal sobre la vía y debidamente ancladas a las mismas.

Estas mangueras transmiten los impulsos de aire ocasionados por la presión al paso del vehículo, por cada dos impulsos de aire se registra un vehículo.

Además del conteo automático, se deben corregir los resultados obtenidos de acuerdo con el porcentaje de vehículos de tres y más ejes. Para obtener los porcentajes de vehículos de tres y más ejes, es preciso realizar una clasificación manual mediante observación, durante un período relativamente corto.

Es recomendable visitar el sitio donde fue colocado el aforo automático para confirmar su correcto funcionamiento y descargar el aforo.





**Figura 17. Contadores automáticos, dos juegos de mangueras en ambos sentidos, colocadas en forma transversal y ancladas a la carpeta asfáltica.**



**Figura 18. Mangueras debidamente conectadas en la Caja Metálica**

En un estudio origen – destino los aforadores automáticos deben ser colocados cerca de la estación para que puedan ser vigilados con frecuencia y a una distancia adecuada para que funcionen correctamente, es decir, que los vehículos pasen por ellos con la velocidad requerida para obtener mejores resultados. Es importante que guarden el mismo punto de control de la estación origen – destino es decir, que guarden una distancia prudente tal que los mismos vehículos que pasen por la estación, pasen por las mangueras.

Los contadores automáticos deben ser considerados en la mayoría de los aforos en los que se requieren más de 12 horas de datos continuos en el mismo lugar.

El aforo automático presenta diversas ventajas y desventajas, las más representativas se mencionan a continuación:

Ventajas:

- ✓ Bajo costo
- ✓ Extenso tiempo de cobertura

Desventajas:

- ✓ No pueden registrar movimientos de vuelta
- ✓ Están sujetos a vandalismo
- ✓ No hay forma de saber si la unidad estuvo inoperativa entre las lecturas
- ✓ Presenta posibles errores para contar vehículos con precisión, cuando se tienen vehículos de tres o más ejes.

### 5.2.2. Aforo Manual

Los aforos manuales consisten en registrar la cantidad de vehículos, por tipo, que cruzan una línea imaginaria en diferentes puntos carreteros y urbanos, con la finalidad de determinar 100% de los volúmenes de vehículos, así como su composición vehicular.

En su forma más simple, el aforo manual requiere a una persona con lápiz, anotando los movimientos por dirección y por tipo de vehículo en una hoja de campo. La clasificación de los vehículos puede ser tan simple como la distinción entre el automóvil y el camión, o tan detallada por su número de ejes y/o peso. En este tipo de aforo se deben realizar cortes cada quince minutos.

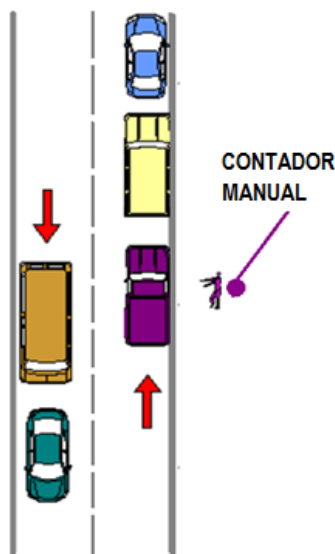


Figura 19. Contador manual a un lado del camino



Este tipo de conteo utiliza aforadores de campo para obtener datos de volumen que no pueden ser recolectados por aforos automáticos. Para el tránsito ligero, las observaciones son registradas por contadores manuales y anotadas en hojas preparadas para datos de campo que deben incluir información como:

- Nombre de la carretera en estudio.
- Ubicación y nombre de la estación.
- Sentido del aforo.
- Fecha y período de tiempo en que se levanta el aforo.
- Clasificación vehicular.

AFOROS DE TRÁNSITO												
Carretera: _____						Aforador: _____						
Ubicación: _____						Fecha: _____						
Estación: _____						Período: _____						
Sentido: _____						Hoja: _____ de _____						
HORA	A	B2	B3	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9 ó más	TOTAL
:00												
:15												
:30												
:45												
:00												
<b>Subtotal:</b>												
HORA	A	B2	B3	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9 ó más	TOTAL
:00												
:15												
:30												
:45												
:00												
<b>Subtotal:</b>												
HORA	A	B2	B3	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9 ó más	TOTAL
:00												
:15												
:30												
:45												
:00												
<b>Subtotal:</b>												
HORA	A	B2	B3	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9 ó más	TOTAL
:00												
:15												
:30												
:45												
:00												
<b>Subtotal:</b>												
<div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> <div>A AUTOMOVIL</div> <div>C2 CAMION DE 2 EJES</div> <div>C6 CAMION DE 6 EJES 6 MÁS</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> <div>B2 AUTOBUS DE 2 EJES</div> <div>C3 CAMION DE 3 EJES</div> <div>C7 CAMION DE 7 EJES</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> <div>B3 AUTOBUS DE 3 EJES</div> <div>C4 CAMION DE 4 EJES</div> <div>C8 CAMION DE 8 EJES</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> <div></div> <div>C5 CAMION DE 5 EJES</div> <div>C9 CAMION DE 9 EJES O MÁS</div> </div>												

**Figura 20. Formato de Campo. Aforo Manual**



**Figura 21. Aforador de campo utilizando contador manual**

Al igual que los aforos automáticos, los aforadores manuales presentan ventajas y desventajas, entre las más comunes se tienen las siguientes:

**Ventajas:**

- ✓ Ayudan a establecer el porcentaje de vehículos de más de dos ejes, con el objeto de corregir los datos globales obtenidos con los aforos automáticos.

**Desventajas:**

- ✓ Durante períodos de tránsito alto, es necesario más de una persona para efectuar los aforos.
- ✓ La exactitud y la confiabilidad de los aforos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida por cada persona.

Como se mencionó en el punto 5.2, existen otras tecnologías para desarrollar este tipo de aforos, por ejemplo el uso de lazos de inducción, contadores ópticos, láser, etc., que son más confiables en sus resultados, duran más y resisten mejor a los cambios de tiempo. Estas tecnologías son más utilizadas en sitios permanentes, ya que requieren una mayor inversión en su compra e instalación, descargando la información en forma regular a una base central mediante conexión telefónica celular o radio.

En la siguiente tabla comparativa se muestran los atributos que satisfacen algunos tipos de aforo.



Atributos	Aforo Manual	Aforo Automático con separación de ejes	Aforo Automático sin separación de ejes	Radar	Cámara de televisión
Conteo número de ejes	✓	✓	X	✓	✓
Identificación tipo vehículo	✓	✓	✓	✓	✓
Velocidad promedio	X	X	X	✓	✓
Conteo y velocidad por carril	X	X	X	✓	✓
Facilidad de instalación	✓	✓	✓	✓	✓
Interfiere con el tránsito vehicular	✓	✓	✓	X Se puede colocar en un poste o un marco	X Se puede colocar en un poste o un marco
Presupuesto	\$\$\$	\$\$	\$	\$\$\$	\$\$\$
Tiempo	3 días	7 días o permanente	7 días o permanente	7 días o permanente	7 días o permanente
Personal requerido durante los trabajos	Hasta una persona por carril	X	X	Una persona	Una persona
Exactitud	Depende de la congestión de la vía	Depende de la congestión de la vía	Depende de la congestión de la vía	Se puede realizar en cualquier momento	Se puede realizar en cualquier momento

**Tabla 1. Tabla comparativa entre aforo manual, aforo automático y otras tecnologías.**

Los estudios de origen – destino representan información clave para un estudio de demanda de carreteras, este último ayuda en la elaboración de los estudios Beneficio – Costo para definir la factibilidad financiera de la inversión en un futuro proyecto; asimismo, ayudan a determinar el tipo de pavimento, los números de carriles del proyecto, la tarifa a utilizar y el ingreso esperado.



Los volúmenes de tránsito obtenidos de los estudios origen – destino son útiles para determinar el número de carriles, el tipo de carpeta que se construirá, el espesor de la carpeta, el número de casetas, y hasta la posible fecha de ampliación del proyecto. Las encuestas de origen – destino se utilizan principalmente para determinar el uso potencial del proyecto y las encuestas de preferencia declarada para determinar la disposición al pago del usuario en el proyecto.

## 6. Análisis de la información.

### Características de volumen.<sup>8</sup>

Los volúmenes de tránsito cambian, tanto en el espacio como en el tiempo. Estas variaciones son determinantes críticos de cómo se utilizan las infraestructuras de un camino, y controlan muchos de los requerimientos de planeación y diseño para servir adecuadamente la demanda de tráfico.

Debido a que el volumen de tránsito no está distribuido equitativamente, a lo largo del día, las infraestructuras a menudo se diseñan para las máximas demandas que ocurren en periodos tan cortos como 15 minutos o una hora. Durante otros periodos de tiempo, los caminos son a menudo sub utilizados. Similarmente, el tráfico no se distribuye equitativamente sobre los carriles disponibles o direcciones de una infraestructura dada. La demanda de tránsito varía por mes del año, por día de la semana, por hora del día y por intervalos de sub-hora, dentro de una hora. Las variaciones por época o mensuales en la demanda de tránsito se reflejan según la actividad social y económica del área en estudio. La variación diaria de volúmenes por día de la semana también está relacionada con el tipo de camino. Los volúmenes de fin de semana son generalmente menores que los volúmenes de entre semana. El volumen horario máximo, en las tardes, es generalmente más intenso que el máximo de la mañana.

### Resultados de aforos.

Los resultados de los aforos manual y automático se pueden presentar por:

- Estación
- Sentido
- Fecha
- Período de tiempo (hora, cada 15 minutos para aforo manual)
- Día de la semana (entre semana, fin de semana)

---

<sup>8</sup> Estudio de Volúmenes. Departamento de Estudios de ingeniería de Tránsito. Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L.

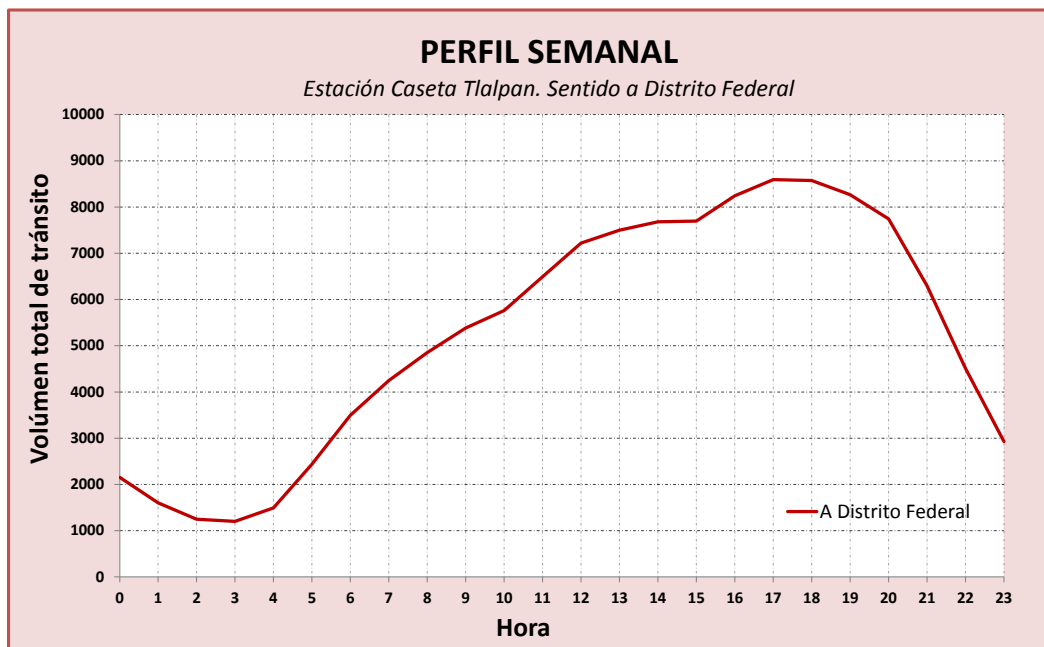


Para un mismo punto, el comportamiento de los aforos en una carretera puede presentar diferencias dependiendo del sentido, los días de la semana, y el período de tiempo, así podemos obtener gráficas de los aforos por variación por día de la semana, variación horaria, etc.

Un caso particular de la red carretera de México es la autopista México Cuernavaca, a continuación se presentan algunos de los resultados de los aforos automáticos en la Caseta Tlalpan con dirección a Cuernavaca y al Distrito Federal, realizados una semana completa de miércoles a martes las 24 horas del día.

### **Perfil Semanal (Variación semanal).**

**Gráfica 1. Perfil semanal caseta Tlalpan con dirección al Distrito Federal.**

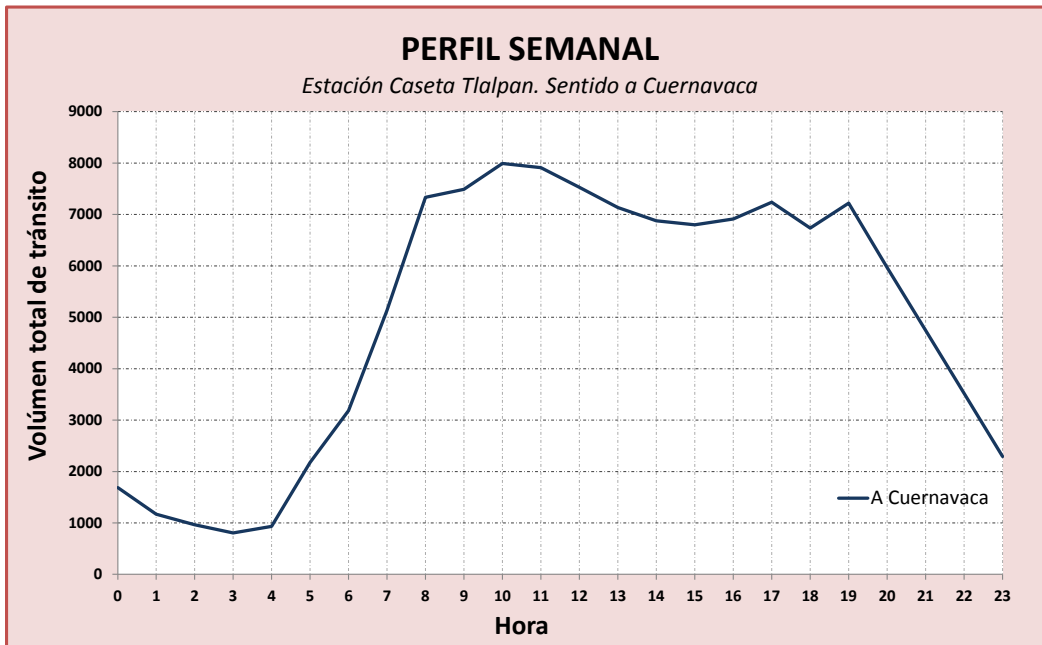


En la carretera en estudio se observa un pico en el volumen total de vehículos entre las 17 y las 18 horas con dirección al Distrito Federal.

El flujo de vehículos va en aumento a lo largo del día y se registra un menor volumen conforme se acerca la noche y en la madrugada.



Gráfica 2. Perfil semanal caseta Tlalpan con dirección a Cuernavaca.

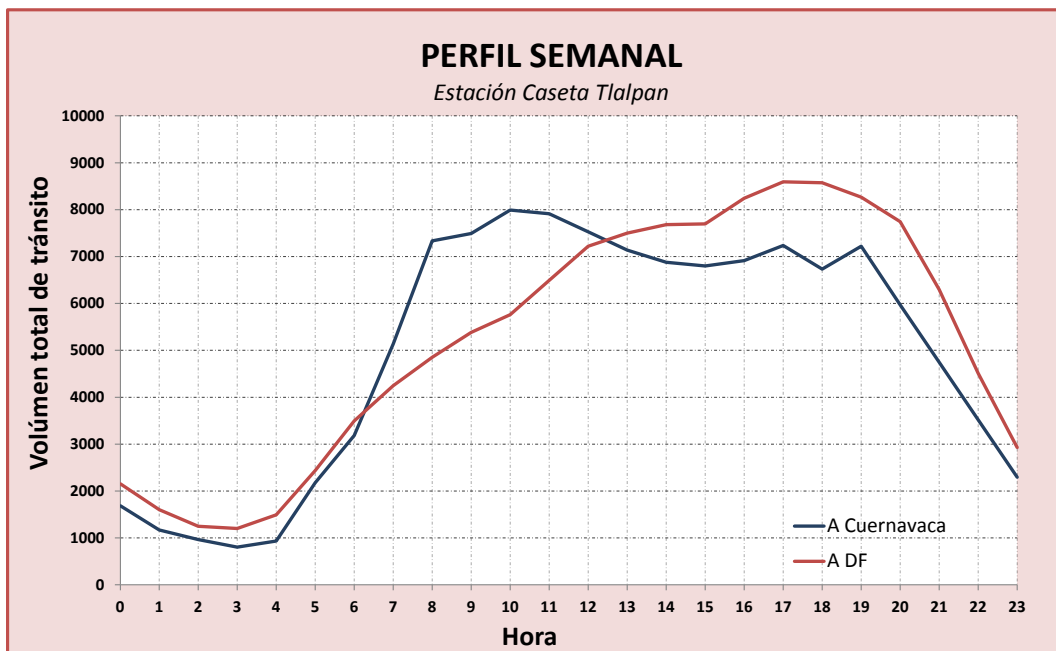


En la carretera en estudio se observan cuatro picos en el volumen total de vehículos a las 8, 10, 17 y 19 a las horas con dirección a Cuernavaca.

El mayor volumen de vehículos se registra a las 10 horas.

El flujo de vehículos va en aumento entre las 4 y las 8 horas y se registra un menor volumen desde las 19 horas hasta la madrugada.

Gráfica 3. Perfil semanal caseta Tlalpan en ambos sentidos.





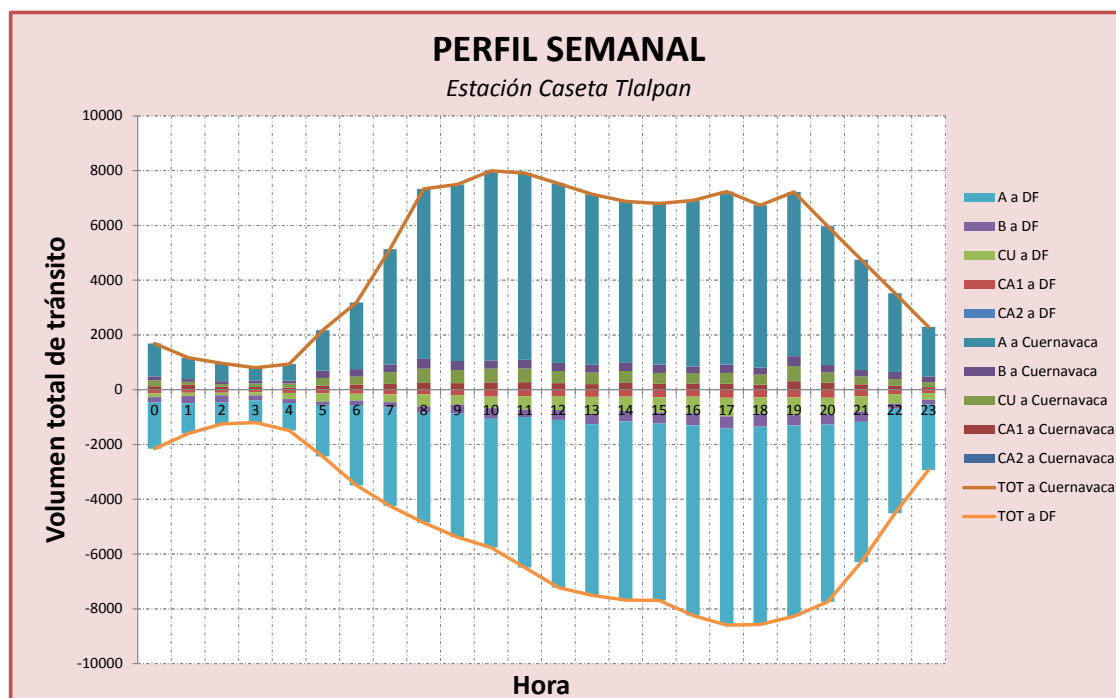


En una carretera se puede observar el flujo de vehículos en una misma estación, en el mismo período de tiempo y para ambos sentidos de circulación, tal como se muestra en la gráfica anterior.

En una misma gráfica podemos observar el comportamiento del tránsito en un mismo punto para ambos sentidos, tal como se describió en las gráficas anteriores.

En la misma estación, para el mismo período de tiempo, podemos observar el comportamiento del tránsito de la composición vehicular que circula en ambos sentidos:

Gráfica 4. Perfil semanal caseta Tlalpan, por tipo de vehículo.

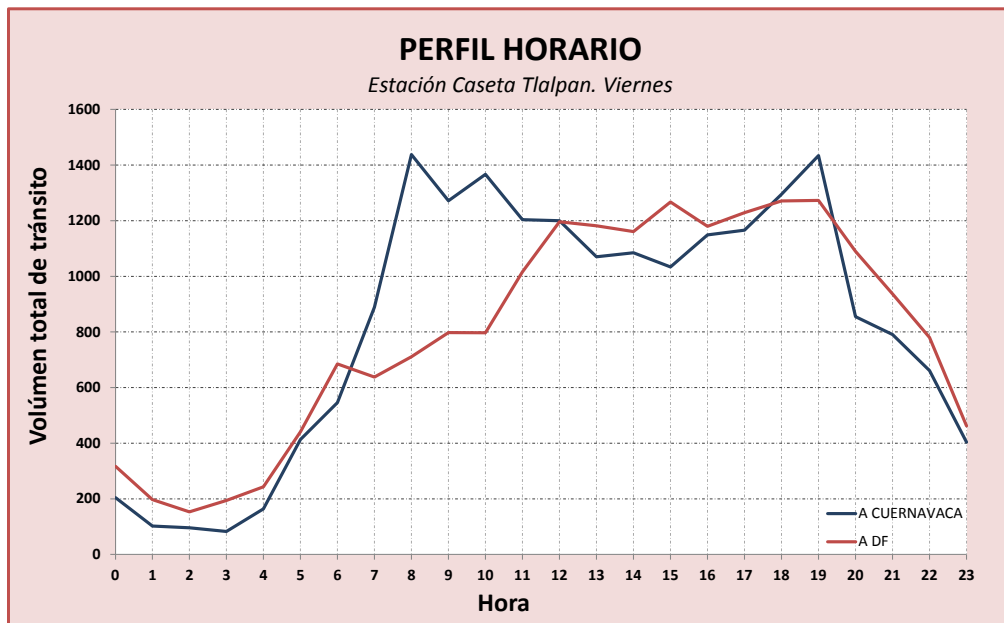


Se observa que el principal flujo es de automóviles, los cuales determinan el comportamiento de la carretera mencionado en las gráficas anteriores.

Los camiones unitarios ocupan el segundo lugar de presencia en magnitud en la carretera, estos están presentes principalmente a partir de las 7 horas y hasta las 20 horas.

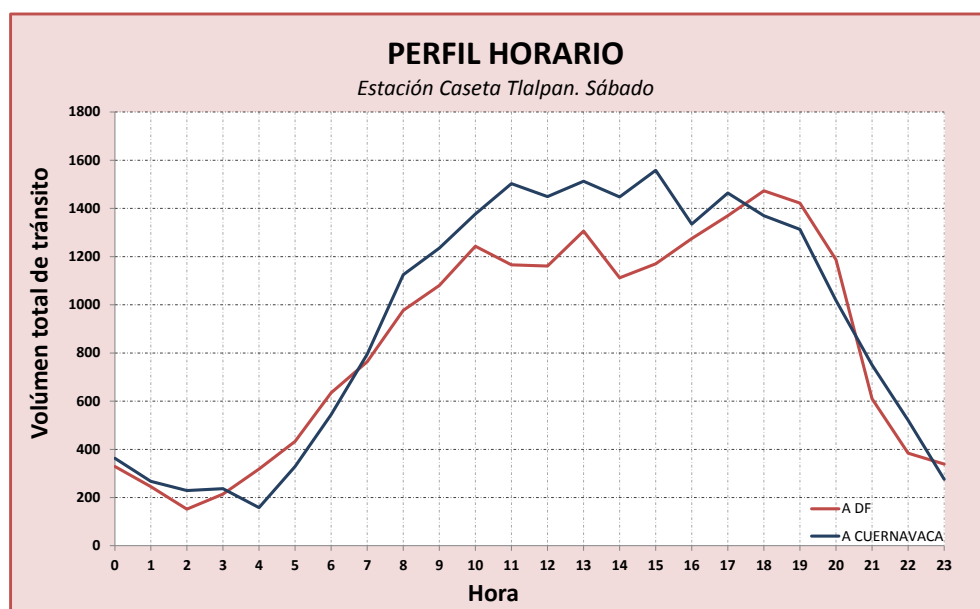
### Perfil Horario (Variación horaria).

Gráfica 5. Perfil horario caseta Tlalpan en ambos sentidos del día viernes.



Se observa el comportamiento de la carretera México – Cuernavaca los días viernes para ambos sentidos. El flujo de vehículos es mayor dirección a Cuernavaca, presentando varios picos principalmente a las 8 y a las 19 horas. Respecto al flujo con dirección al Distrito Federal se observa que este aumenta a lo largo del día a partir de las 6 horas y empieza a disminuir a partir de las 19 horas.

Gráfica 6. Perfil horario caseta Tlalpan en ambos sentidos del día sábado.





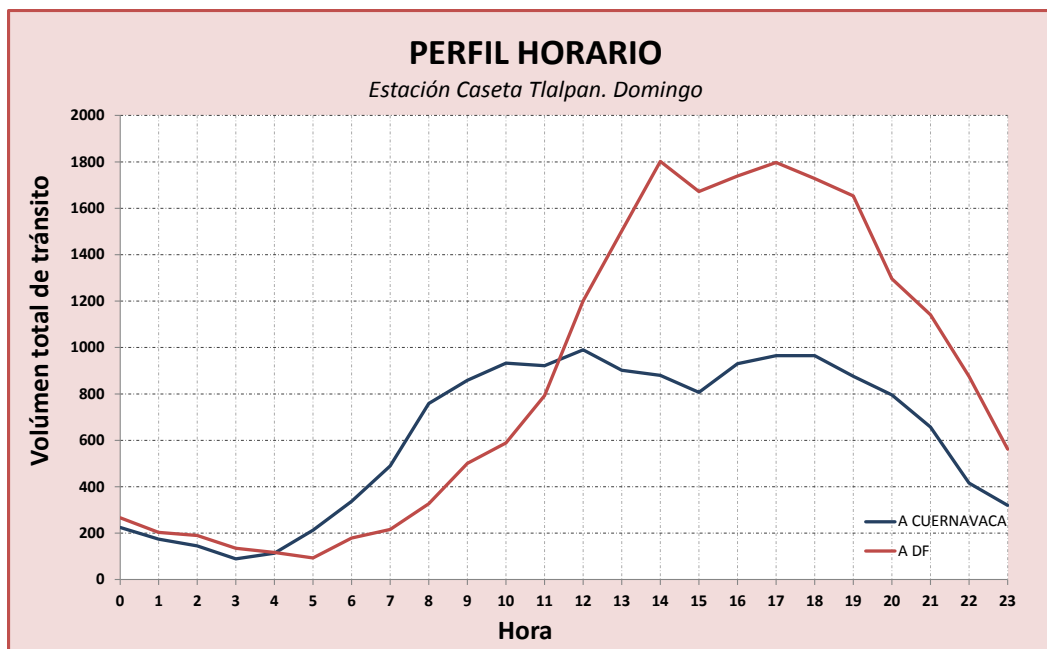
El flujo de vehículos del día sábado para ambos sentidos es muy parecido a lo largo del día.

El tránsito empieza a aumentar a partir de las 7 horas y se mantiene constante de las 10 a las 18 horas en el sentido a Cuernavaca.

Con dirección al Distrito Federal el volumen presenta un pico a las 18 horas.

Para ambos sentidos el flujo vehicular disminuye a partir de las 18 horas aproximadamente.

**Gráfica 7. Perfil horario caseta Tlalpan en ambos sentidos del día domingo.**



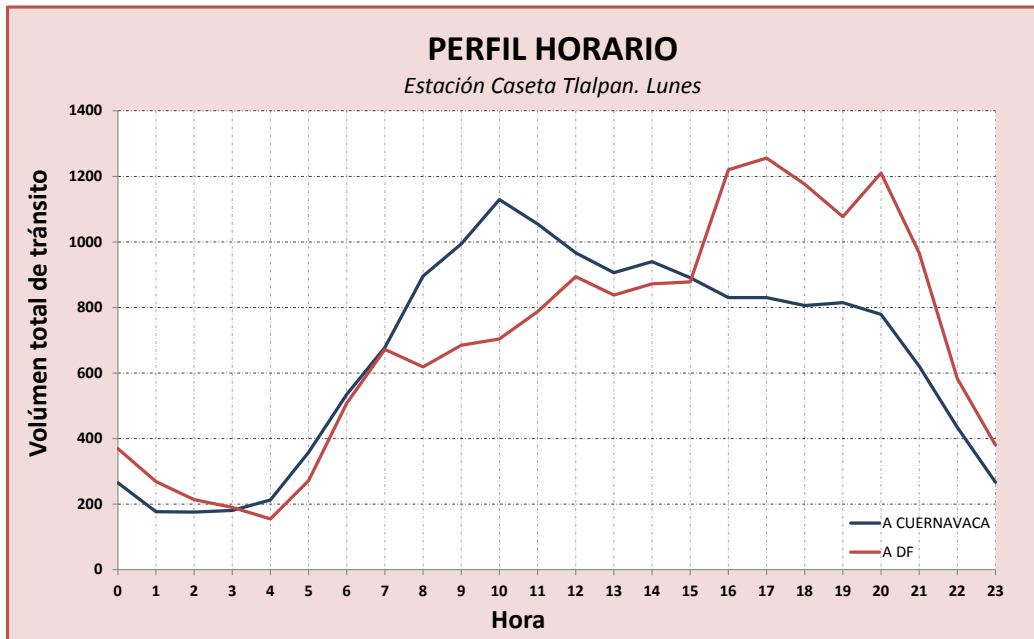
El comportamiento del tránsito el día domingo dirección a Cuernavaca es considerablemente menor al tránsito con dirección al Distrito Federal.

El flujo vehicular hacia Cuernavaca aumenta a partir de las 4 horas y se mantiene constante de las 8 a las 18 horas aproximadamente.

El flujo vehicular hacia el Distrito Federal aumenta gradualmente desde las 7 horas y presenta dos picos a las 14 y 17 horas.



Gráfica 8. Perfil horario caseta Tlalpan en ambos sentidos del día lunes.



Observamos el flujo de tránsito el día lunes. Con dirección a Cuernavaca presenta un pico a las 10 horas, donde comienza a disminuir.

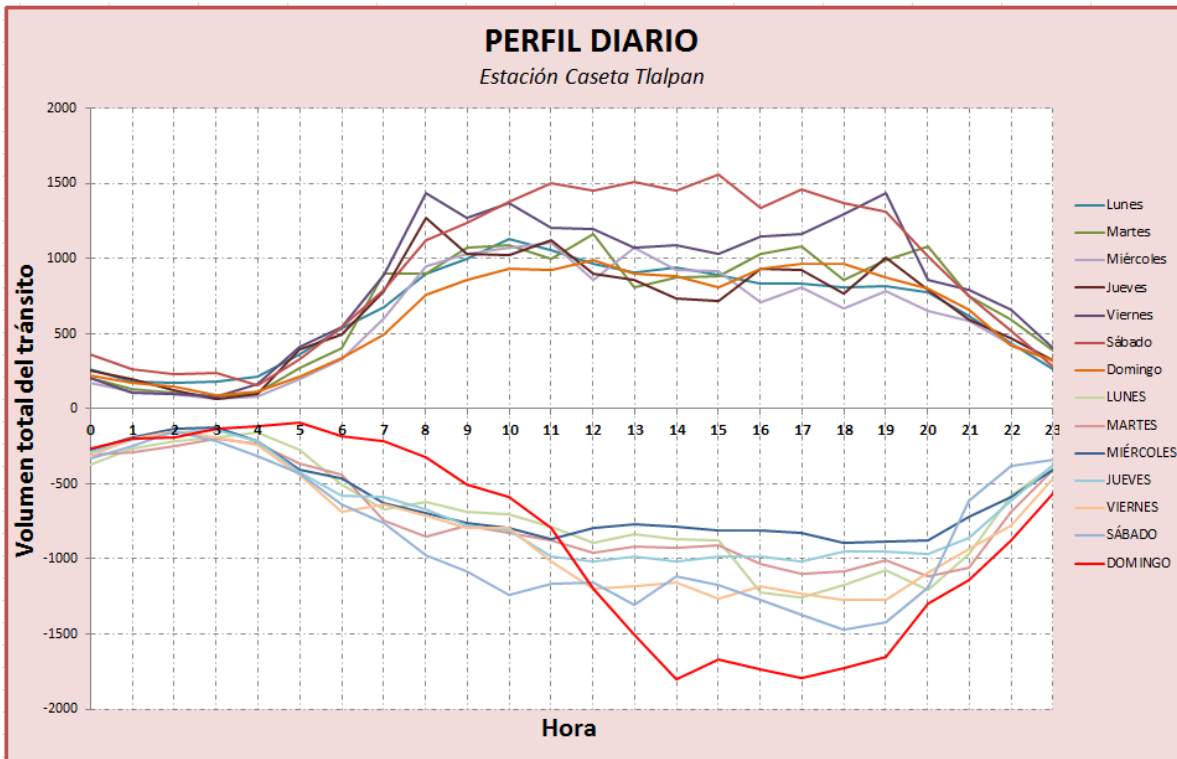
En el sentido al Distrito Federal el flujo vehicular es considerable entre las 16 y las 20 horas.

En ambos sentidos el flujo es menor durante la noche y hasta las 4 horas.

### ***Perfil Diario (Variación diaria).***

Otra manera de analizar el comportamiento del flujo vehicular es realizando un perfil diario, a continuación se muestran las gráficas de los siete días de la semana incluyendo los descritos anteriormente (viernes, sábado, domingo y lunes) para cada sentido de circulación.

Gráfica 9. Perfil diario caseta Tlalpan.



Con dirección a Cuernavaca observamos que el volumen de tránsito es mayor respecto de los demás días los sábados, desde las 10 hasta las 18 horas aproximadamente.

El flujo es muy similar todos los días en la noche desde las 21 horas y en la madrugada hasta las 4 horas.

Con dirección al Distrito Federal observamos que el volumen de tránsito es mayor respecto de los demás días los domingos, a partir de las 14 horas y hasta las 19 horas aproximadamente.

El análisis del flujo vehicular depende en gran medida de los resultados que se quieran obtener, una vez analizados los perfiles de los volúmenes de tránsito para cada carretera, se clasificarán para determinar los diferentes comportamientos de tránsito que serán incorporados a los estratos que le correspondan.

Se definirá un estrato como la configuración de las horas razonables parecidas a los volúmenes de tránsito, y son particulares para cada tipo de carretera o autopista en estudio. Mencionaremos los casos más comunes:



### CASO A

El comportamiento del flujo vehicular es homogéneo los siete días de las semanas, teniendo así un solo estrato.



Figura 22. Estrato caso A.

### CASO B

El comportamiento del flujo vehicular es similar entre semana (de lunes a viernes) y difiere del fin de semana (sábado y domingo), teniendo dos estratos.



Figura 23. Estrato caso B.



### CASO C

El flujo vehicular es parecido entre semana (de lunes a viernes) y difiere de los días sábados y domingos, teniendo un total de 3 estratos.

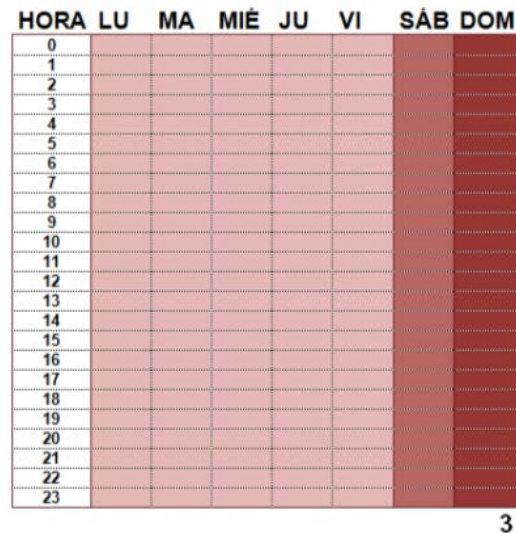


Figura 24. Estrato caso C.

### CASO D

El comportamiento del flujo vehicular es parecido toda la semana (de lunes a domingo) presentando variaciones dependiendo de la hora del día. Por ejemplo, se pueden señalar dos horas pico, una en la mañana y otra en la tarde, y estas pertenecerán al mismo estrato, identificando horas valle entre las horas pico. Así, se tendrán 3 diferentes estratos.



Figura 25. Estrato caso D.





### CASO E

Otro ejemplo se presenta cuando el tránsito varía los fines de semana (sábados y domingos) y entre semana se tienen variaciones horarias a lo largo del día obteniendo cinco estratos.

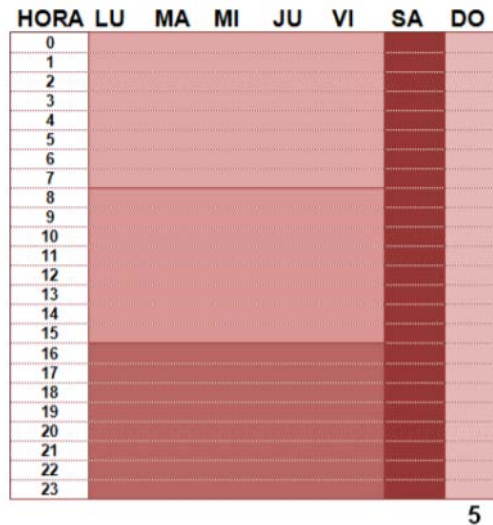


Figura 26. Estrato caso E.

### CASO F

Los estratos pueden arreglarse de la manera que más convenga al analista de tránsito, así tenemos un último ejemplo de cómo dividir los períodos de toda la semana y todas las horas dependiendo del comportamiento de la carretera o autopista en estudio.

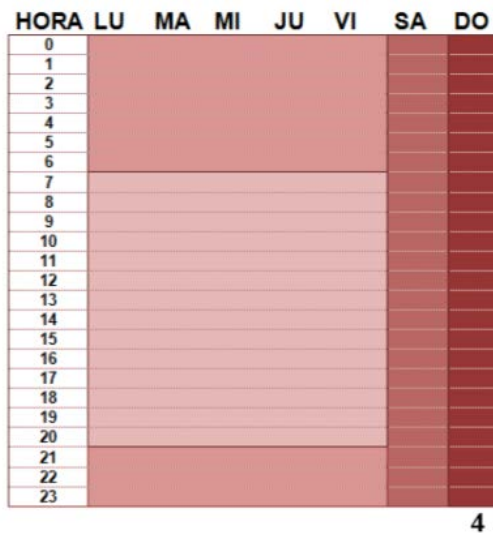


Figura 27. Estrato caso F.





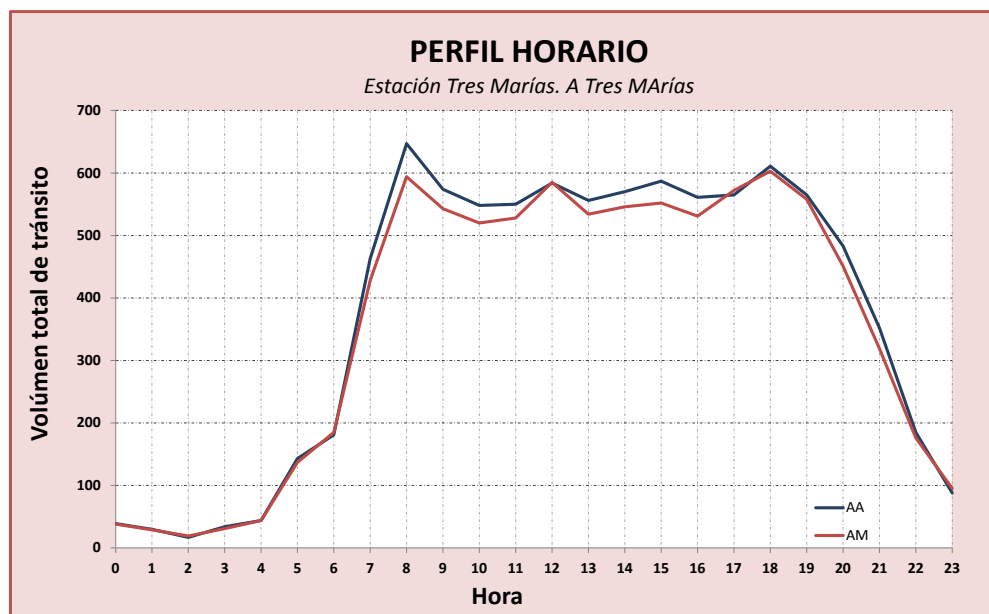
### Comparación del aforo manual vs aforo automático.

Cuando se cuenta con información de aforo manual y aforo automático se pueden comparar estos resultados para cada estación, por sentido vehicular por día de la semana y por cada hora o período de tiempo.

Para fines comparativos entre el aforo manual y automático en un mismo punto y el mismo sentido, se obtienen las gráficas correspondientes.

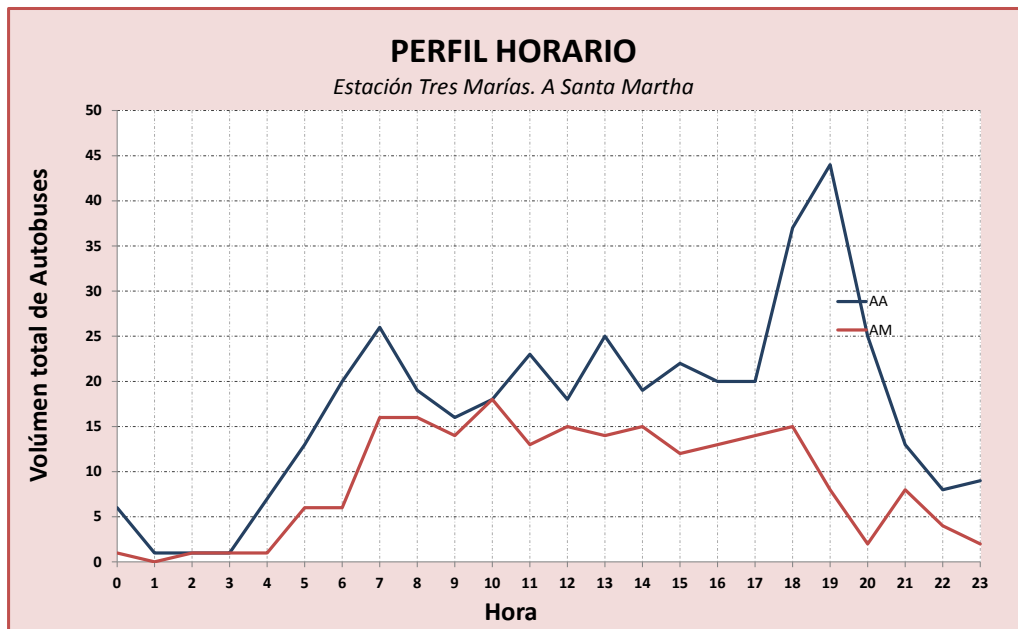
Para ilustrar la comparación de los resultados entre el aforo manual y automático utilizaremos algunos de los datos obtenidos en la estación Tres Marías de la carretera Tres Marías – Santa Martha, dichos resultados son sólo algunos ejemplos de los diferentes casos que pueden presentarse al comparar los dos tipos de aforos.

**Gráfica 10. Comparación aforo manual y aforo automático del volumen total de tránsito en la estación Tres Marías, dirección Tres Marías.**



En esta gráfica podemos observar que para una misma estación, en el mismo sentido, para los días en que se realizó aforo manual y aforo automático simultáneamente, el flujo vehicular es similar entre ambos aforos, esta es la condición ideal que deberían presentar los resultados en un estudio, ya que sugiere que los datos han sido levantados correctamente con los dos métodos de conteo.

Gráfica 11. Comparación aforo manual y aforo automático de Autobuses en la estación Tres Marías, dirección Santa Martha.



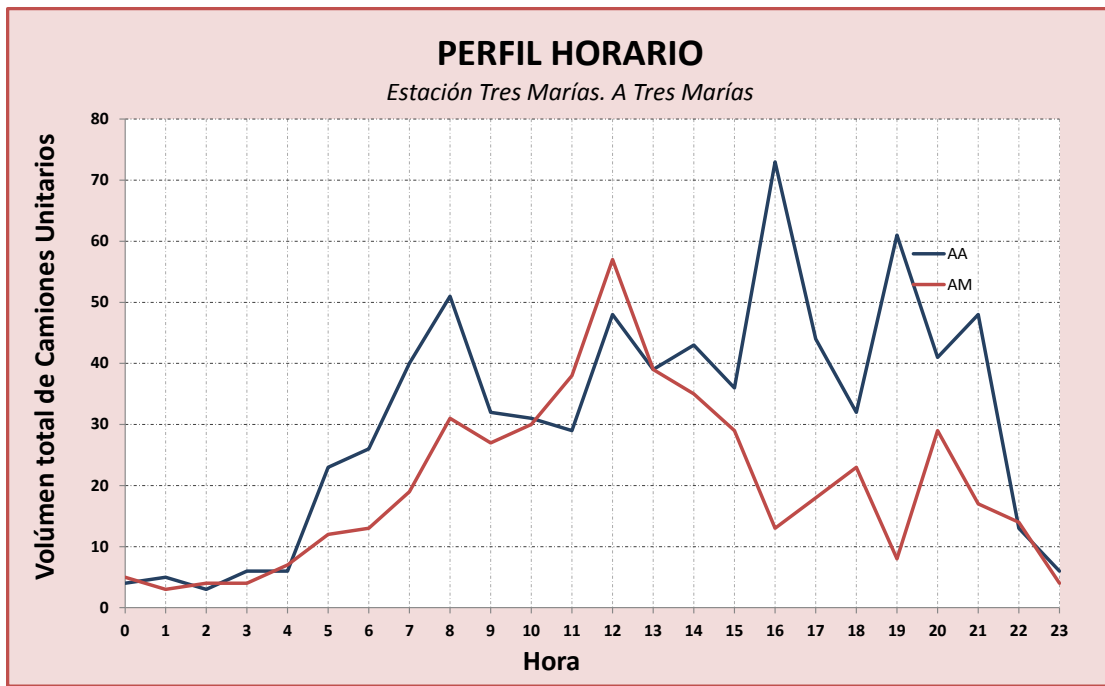
En la misma estación con dirección a Santa Martha, observamos comportamientos similares de tránsito de Autobuses, pero distintos en magnitud, lo cual puede indicar omisión o duplicidad de datos en alguno de los aforos en esta estación.

El flujo de Camiones Unitarios (CU) en la estación Tres Marías presenta diferencias significativas tanto en el volumen total registrado como en el comportamiento del tránsito para el mismo sentido en las mismas horas. Estas diferencias pueden ser debidas a errores presentados en campo o errores de captura.

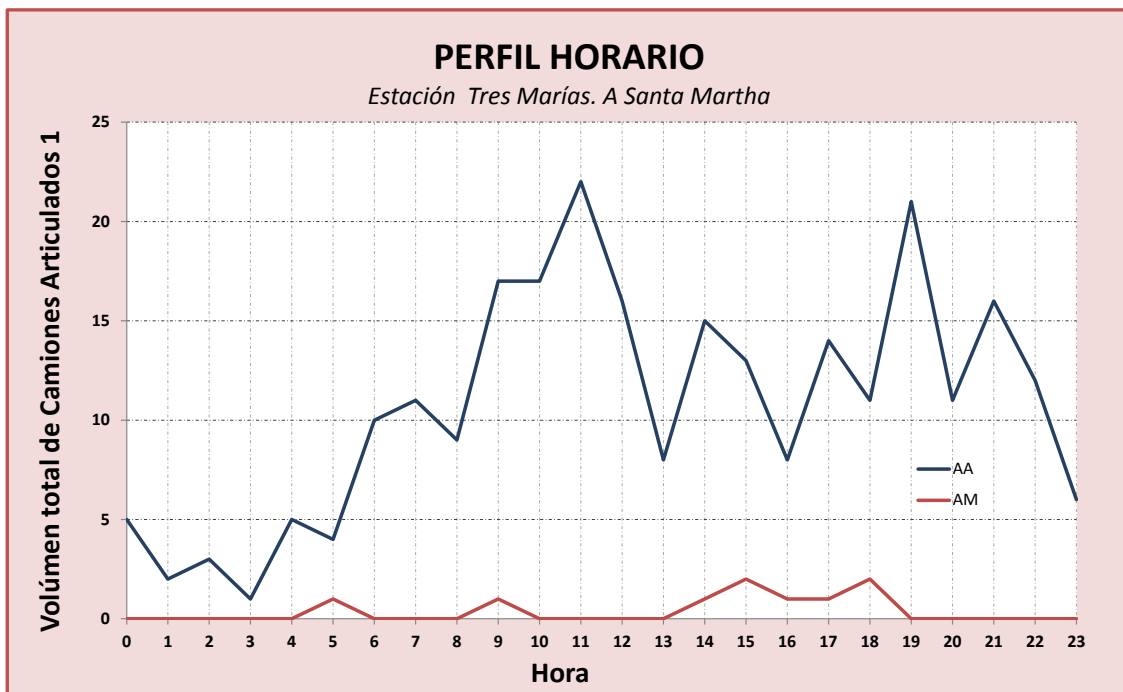
En un caso más extremo se muestra la gráfica del volumen de Camiones Articulado 1 (CA1) en la misma estación pero con sentido a Santa Martha.



Gráfica 12. Comparación aforo manual y aforo automático de Camiones Unitarios en la estación Tres Marías, dirección Tres Marías.



Gráfica 13. Comparación aforo manual y aforo automático de Camiones Articulados 1 en la estación Tres Marías, dirección Santa Martha.





Otra forma de comparar el aforo automático contra el aforo manual es por medio de la variación, con la que se obtendrán las diferencias entre el aforo manual y aforo automático, dividido entre la media.

$$\text{Variación} = \frac{V_{AA} - V_{AM}}{\bar{V}_{AA,AM}}$$

Dónde:

$V_{AA}$  = Volumen del aforo automático

$V_{AM}$  = Volumen del aforo manual

$\bar{V}_{AA,AM}$  = Promedio del aforo automático y aforo manual

Con base en la experiencia, el analista definirá un límite aceptable de la variación. Para el presente trabajo si  $|V| \leq 5\%$ , es un valor aceptable. Lo que significa que presentan errores, pero no en gran magnitud.

Para simplificar el análisis se propondrán intervalos de variación identificados con colores tipo semáforo, como se indica a continuación.

Tipo de Error	Valor mínimo	Valor máximo	Color
Error mínimo	-2.5%	2.5%	Verde
Error aceptable	-5.0%	5.0%	Amarillo
Error no aceptable	-1000%	1000%	Rojo

Tabla 2. Clasificación de los rangos de variación.

Como primer análisis, se calculará la variación del volumen total de cada estación. Para fines ilustrativos, calcularemos la variación de la Estación 13A Carretera cuota México – Puebla, en ambos sentidos, para los tres días coincidentes en los que se registraron los dos tipos de aforos; en donde se observa que la variación del volumen total entre el aforo manual y el aforo automático es mínima y por lo tanto es un error aceptable.

ESTACIÓN	Aforo Automático	Aforo Manual	Diferencia AA-AM	Promedio AA, AM	Variación
13A CARRETERA CUOTA MÉXICO-PUEBLA	45603	45538	65	45571	0.14%
A ATLIXCO	21992	21964	28	21978	0.13%
A PUEBLA	23611	23574	37	23593	0.16%

Tabla 3. Cálculo de variación del volumen total de la estación 13A



Un segundo análisis permitirá precisar si el error obtenido para el volumen total es aplicable para la distribución vehicular de la estación. Este análisis puede ser tan detallado como se requiera.

Continuando con el ejemplo anterior, se calculará la variación de los volúmenes por día y por tipo de vehículo de la estación 13A.

ESTACION SENTIDO DÍA	AUTOS				AUTOBUSES				CAMIONES UNITARIOS				CAMIONES ARTICULADOS 1				CAMIONES ARTICULADOS 2								
	V <sub>AA</sub>	V <sub>AM</sub>	V <sub>AA-V<sub>AM</sub></sub>	V <sub>AA/AM</sub>	Var.	V <sub>AA</sub>	V <sub>AM</sub>	V <sub>AA-V<sub>AM</sub></sub>	V <sub>AA/AM</sub>	Var.	V <sub>AA</sub>	V <sub>AM</sub>	V <sub>AA-V<sub>AM</sub></sub>	V <sub>AA/AM</sub>	Var.	V <sub>AA</sub>	V <sub>AM</sub>	V <sub>AA-V<sub>AM</sub></sub>	V <sub>AA/AM</sub>	Var.					
<b>13A CARRETERA CUOTA MÉXICO-PUEBLA</b>																									
A ATLIXCO	15765	19704	-3939	17735	<b>-22.21%</b>	4917	973	3944	2945	<b>133.92%</b>	926	915	11	921	<b>1.20%</b>	212	204	8	208	<b>3.85%</b>	172	168	4	170	<b>2.35%</b>
09-sep-10	4314	5391	-1077	4853	<b>-22.19%</b>	1394	312	1082	853	<b>126.85%</b>	329	316	13	323	<b>4.03%</b>	70	64	6	67	<b>8.96%</b>	58	58	0	58	<b>0.00%</b>
10-sep-10	5060	6324	-1264	5692	<b>-22.21%</b>	1618	355	1263	987	<b>128.03%</b>	353	352	1	353	<b>0.28%</b>	79	78	1	79	<b>1.27%</b>	64	63	1	64	<b>1.57%</b>
11-sep-10	6391	7989	-1598	7190	<b>-22.23%</b>	1905	306	1599	1106	<b>144.64%</b>	244	247	-3	246	<b>-1.22%</b>	63	62	1	63	<b>1.60%</b>	50	47	3	49	<b>6.19%</b>
A PUEBLA	17216	21521	-4305	19369	<b>-22.23%</b>	5306	972	4334	3139	<b>138.07%</b>	722	712	10	717	<b>1.39%</b>	192	193	-1	193	<b>-0.52%</b>	175	176	-1	176	<b>-0.57%</b>
09-sep-10	4849	6064	-1215	5457	<b>-22.27%</b>	1536	312	1224	924	<b>132.47%</b>	246	250	-4	248	<b>-1.61%</b>	72	73	-1	73	<b>-1.38%</b>	49	45	4	47	<b>8.51%</b>
10-sep-10	5708	7139	-1431	6424	<b>-22.28%</b>	1777	342	1435	1060	<b>135.44%</b>	264	260	4	262	<b>1.53%</b>	61	62	-1	62	<b>-1.63%</b>	58	59	-1	59	<b>-1.71%</b>
11-sep-10	6659	8318	-1659	7489	<b>-22.15%</b>	1993	318	1675	1156	<b>144.96%</b>	212	202	10	207	<b>4.83%</b>	59	58	1	59	<b>1.71%</b>	68	72	-4	70	<b>-5.71%</b>
<b>TOTAL EST.13A</b>	<b>32981</b>	<b>41225</b>	<b>-8244</b>	<b>37103</b>	<b>-22.22%</b>	<b>10223</b>	<b>1945</b>	<b>8278</b>	<b>6084</b>	<b>136.06%</b>	<b>1648</b>	<b>1627</b>	<b>21</b>	<b>1638</b>	<b>1.28%</b>	<b>404</b>	<b>397</b>	<b>7</b>	<b>401</b>	<b>1.75%</b>	<b>347</b>	<b>344</b>	<b>3</b>	<b>346</b>	<b>0.87%</b>

**Tabla 4. Cálculo de variación del volumen por distribución vehicular de la estación 13A.**

Este segundo análisis permite precisar si efectivamente, la variación es aceptable, se puede concluir que la variación para el volumen total de vehículos es mínima, sin embargo, la variación para la distribución vehicular indica que existe una gran diferencia al clasificar los vehículos entre los aforos manual y automático.

### 6.1. Descripción de las diferencias.

En un estudio de origen – destino se cuenta con información recolectada en campo de los aforos automáticos y manuales.

Generalmente se levanta información del aforo automático durante siete días, las 24 horas, iniciando a las cero horas del primer día y finalizando a las 24 horas del séptimo día, con cortes de datos por día y por sentido de circulación.

En cambio, la información del aforo manual se levanta durante tres días, en las tres horas de máxima demanda, con cortes de datos a cada 15 minutos, por día y por sentido de circulación, con clasificación vehicular.

Como hemos visto, los aforos manuales y automáticos son una parte fundamental para un estudio Origen – Destino, sin embargo, estos pueden presentar diferencias debidas a diferentes causas. La razón del presente trabajo se debe a la existencia de diferencias para un mismo estudio, entre los aforos manual y automático. A continuación se listan algunas causas de estas diferencias:



#### Aforo Automático.

- ✓ Errores de detección de los vehículos.
- ✓ Registro de diferente número de vehículos por error de calibración del aparato, pasar a una velocidad no bien calibrada de la que detecta la manguera.
- ✓ Las horas de los aforos manual y automático no corresponden.
- ✓ Fallas de la alimentación eléctrica del aparato.
- ✓ Errores de instalación.
- ✓ Vandalismo.
- ✓ Ruptura de la manguera.
- ✓ Períodos de congestión, en los que un vehículo activa la manguera en el primer eje y tarda demasiado tiempo en hacerlo con el segundo eje.

#### Aforo Manual.

- ✓ Conteo erróneo debido a la falta de visibilidad del aforador de campo.
- ✓ Conteo erróneo debido a que el aforador de campo no cuente correctamente el número de ejes.
- ✓ Error de diseño en entronques complicados.
- ✓ Las horas de los aforos manual y automático no corresponden.

Otro factor que influye en los errores de distribución vehicular entre los aforos manual y automático es la diferencia entre las metodologías que los clasifican ya que los aforos automáticos están basados en un estándar americano, el cual no coincide con la clasificación utilizada en México.

## **7. Alternativas de solución.**

La metodología a seguir tiene como primer paso compaginar la clasificación que registra el aforo automático con la nomenclatura utilizada en México, obteniendo una clasificación para cada tipo de vehículo de acuerdo a su configuración.

A partir de la Tabla 5. Equivalencia de la clasificación americana vs clasificación mexicana., se agrupan los vehículos de acuerdo a las necesidades del proyecto. En el caso particular de México, la clasificación equivalente de vehículos se basa en el cobro de las tarifas para cada tipo de vehículo.



AM AA	Autos	B2	B3	B4	TU	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Autos	X												
Cars	X												
2 Axle Long	X												
Cars&Trailers	X												
2a4T	X												
Buses		X	X	X	X								
C2						X							
C3							X						
C4								X					
2 Axle 6 Tire						X							
3 Axle Single							X						
4 Axle Single								X					
2ASU						X							
3ASU							X						
4ASU								X					
C5									X				
C6										X			
<5AxleDouble									X				
5AxleDouble									X				
4AST									X				
5AST									X				
6AST										X			
C7											X		
C8												X	
C9													X
>6AxleDouble												X	
<6AxleMulti											X		
<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>A</b>	<b>B</b>			<b>CU</b>			<b>CA1</b>			<b>CA2</b>		

**Tabla 5. Equivalencia de la clasificación americana vs clasificación mexicana.**

La clasificación equivalente de vehículos se divide principalmente en Autos (A), Autobuses o Buses (B), Camiones Unitarios (CU), Camiones Articulados 1 (CA1) y Camiones Articulados 2 (CA2), como se muestra en la siguiente tabla.

Un nivel más detallado, se realiza para efectos análisis.

CLASIFICACIÓN		TIPO DE VEHÍCULO	
Nombre completo	Sigla	Nomenclatura	Configuración
<b>Automóviles</b>	<b>A</b>	Autos 2Axle4Tires (2a-4T)	
		2AxleLong	
		Cars&Trailers	
<b>Autobuses</b>	<b>B</b>	B2 B3 B4 Buses Transporte Urbano (TU)	
<b>Camiones Unitarios</b>	<b>CU</b>	C2 2Axle6Tire 2A-SU	
		C3 3AxleSingle 3A-SU	
		C4 4AxleSingle 4A-SU	
<b>Camiones Articulados 1</b>	<b>CA1</b>	<5AxleDouble 4A-ST	
		C5 5AxleDouble 5A-ST	
		C6 6A-ST	
<b>Camiones Articulados 2</b>	<b>CA2</b>	C7 <6AxleMulti	
		C8 >6AxleDouble	
		C9	

**Tabla 6. Clasificación equivalente de vehículos.<sup>9</sup>**

<sup>9</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008.





Para homogeneizar los datos obtenidos se propone lo siguiente:

Estableciendo una notación para identificar los datos obtenidos en campo, definiremos un Volumen de un aforo  $m$ , de un grupo  $g$ , para un período  $p$

$$V_{m g p}$$

Dónde:

$m = \text{Aforo Automático, Aforo Manual}$

$g = \text{Tipo de vehículo (A, B, CU, CA1, CA2)}$

$p = \text{período (0, ..., 23 horas)}$

El volumen total es la sumatoria de los aforos automático o manual de todos los grupos en un determinado período.

Así, para cada período tendríamos:

$$V_{AA} = Autos_A + Cars_A + (2 \text{ Axle Long})_A + (Cars\&Trailers)_A + (2a4T)_A$$

Volumen de autos obtenidos mediante aforo automático en un período determinado

$$V_{AB} = Buses_A$$

Volumen de buses obtenidos mediante aforo automático en un período determinado, realizando la sumatoria de los vehículos que integran este grupo vehicular.

$$V_{ACU} = C2_A + C3_A + C4_A + (2 \text{ Axle 6 Tire})_A + (3 \text{ Axle Single})_A + (4 \text{ Axle Single})_A \\ + (2ASU)_A + (3ASU)_A + (4ASU)_A$$

Volumen de camiones unitarios obtenidos mediante aforo automático en un período determinado, realizando la sumatoria de los vehículos que integran este grupo vehicular.

$$V_{ACA1} = C5_A + C6_A + (< 5 \text{ Axle Double})_A + (5 \text{ Axle Double})_A + (4AST)_A + (5AST)_A \\ + (6AST)_A$$

Volumen de camiones articulados 1 (CA1) obtenidos mediante aforo automático en un período determinado, realizando la sumatoria de los vehículos que integran este grupo vehicular.

$$V_{ACA2} = C7_A + C8_A + C9_A + (> 6 \text{ Axle Double})_A + (< 6 \text{ Axle Multi})_A + (6 \text{ Axle Multi})_A \\ + (> 6 \text{ Axle Multi})_A + (5AMT)_A + (6AMT)_A + (9AMT)_A$$

Volumen de camiones articulados 2 (CA2) obtenidos mediante aforo automático en un período determinado, realizando la sumatoria de los vehículos que integran este grupo vehicular.

Donde la primera letra del subíndice señala el tipo de aforo realizado, y las letras consecutivas señalan los grupos de clasificación vehicular.



Análogamente, para el aforo manual tenemos:

$$V_{MA} = Autos_M$$

Volumen de autos obtenidos mediante aforo manual en un período determinado

$$V_{MB} = B2_M + B3_M + B4_M + T.Urbano_M$$

Volumen de buses obtenidos mediante aforo manual en un período determinado, realizando la sumatoria de los vehículos que integran este grupo vehicular.

$$V_{MCU} = C2_M + C3_M + C4_M$$

Volumen de camiones unitarios obtenidos mediante aforo manual en un período determinado, realizando la sumatoria de los vehículos que integran este grupo vehicular.

$$V_{MCA1} = C5_M + C6_M$$

Volumen de camiones articulados 1 (CA1) obtenidos mediante aforo manual en un período determinado, realizando la sumatoria de los vehículos que integran este grupo vehicular.

$$V_{MCA2} = C7_M + C8_M + C9_M$$

Volumen de camiones articulados 2 (CA2) obtenidos mediante aforo manual en un período determinado, realizando la sumatoria de los vehículos que integran este grupo vehicular.

La sumatoria de cada período del aforo automático de todos los grupos se realiza por hora. Para realizar la sumatoria de todos los grupos del aforo manual, esta se realiza sumando los cuatro períodos de 15 minutos cada uno de la misma hora que el aforo automático.

El segundo paso consiste en realizar las gráficas comparativas entre el aforo manual y el aforo automático, para cada estación utilizando los perfiles que se adapten a las necesidades del proyecto; por ejemplo, perfil horario, perfil diario, perfil semanal, etc.

Una vez analizadas las gráficas anteriores, se decidirá si es necesario obtener o no una variación numérica respecto a las diferencias observadas.

El tercer paso de la metodología, es calcular las variaciones entre los aforos manual y automático para determinar los errores aceptables en el volumen total y su distribución vehicular.



Complementando la información, se procederá a analizar a un nivel de más detalle realizando regresiones lineales entre el aforo automático y aforo manual para el mismo tipo de vehículo, por hora, con el fin de corroborar si los errores son significativos.

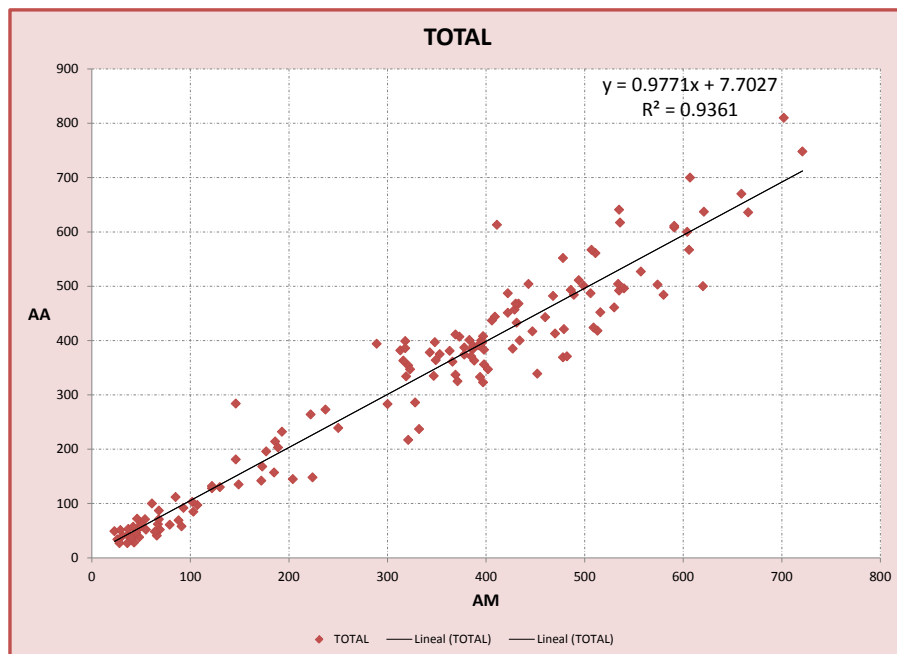
A modo de ilustrar lo anterior, se utilizaron los datos de la estación 13A Carretera cuota México – Puebla, en ambos sentidos, de los tres días coincidentes de registro de ambos tipos de aforos, por sentido, por día y por hora.

El eje  $x$  representa el volumen de los aforos manuales registrados en la estación 13A de ambos sentidos, de cada una de las horas de los tres días de levantamiento de datos.

El eje  $y$  representa el volumen de los aforos automáticos registrados en la estación 13A de ambos sentidos, de cada una de las horas de los tres días coincidentes en los que también se registraron aforos manuales.

Se presentan datos razonablemente dispersos cuando la pendiente se aproxima a la unidad y el valor de la ordenada se aproxima al origen.

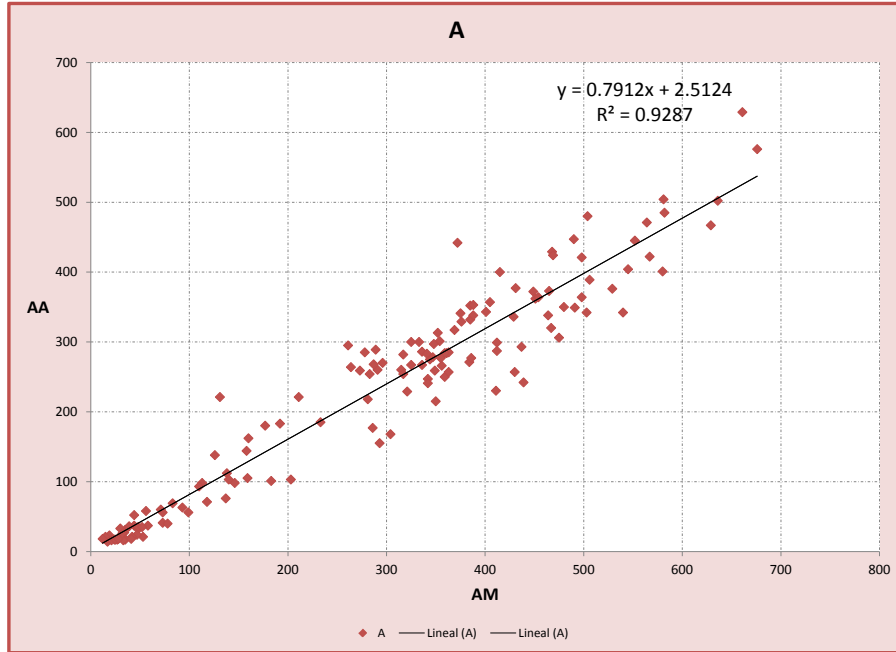
**Gráfica 14. Regresión lineal entre el AA y AM del volumen total de la estación 13A.**



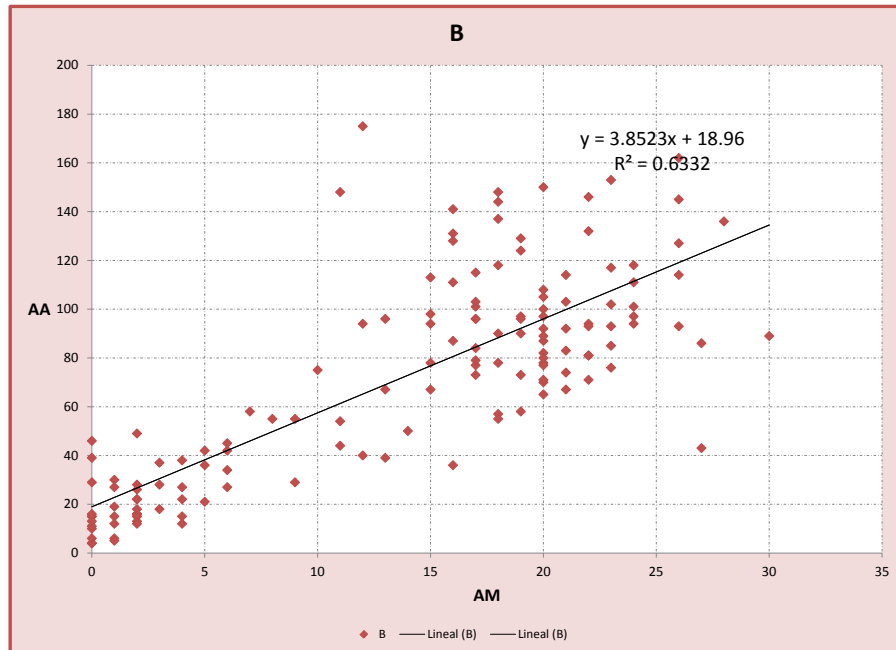
En la gráfica 14 y 15 se observa que para el mismo período de tiempo, y en la mayoría de los casos, los datos recabados se aproximan a la línea de tendencia, lo que significa que los volúmenes para el aforo manual y automático en teoría son muy similares entre sí. En ambos casos el valor de  $R^2$  está alrededor de 0.9, lo que indica que están razonablemente bien dispersos.



Gráfica 15. Regresión lineal entre el AA y AM del volumen de Autos de la estación 13A.



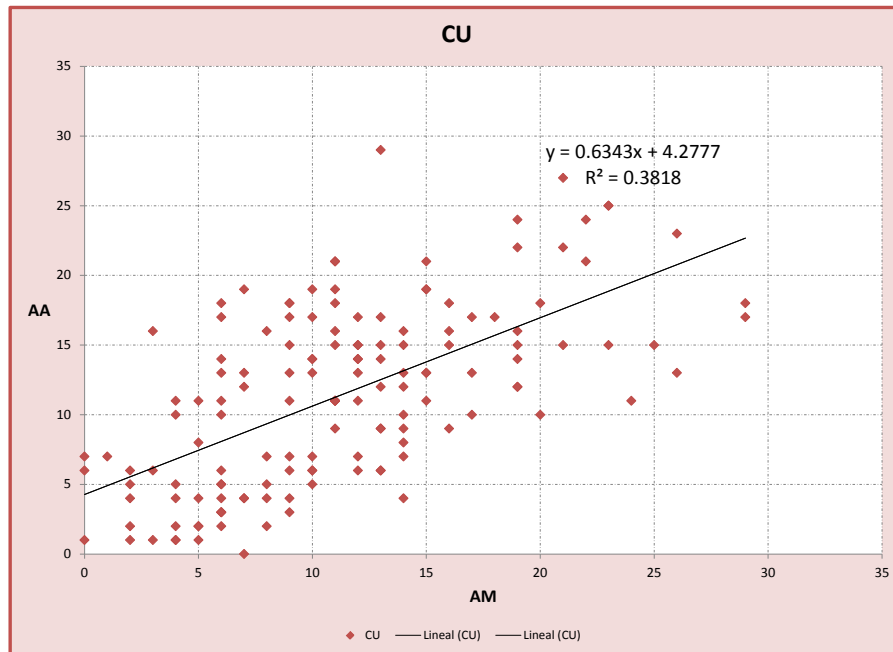
Gráfica 16. Regresión lineal entre el AA y AM del volumen de Buses de la estación 13A.



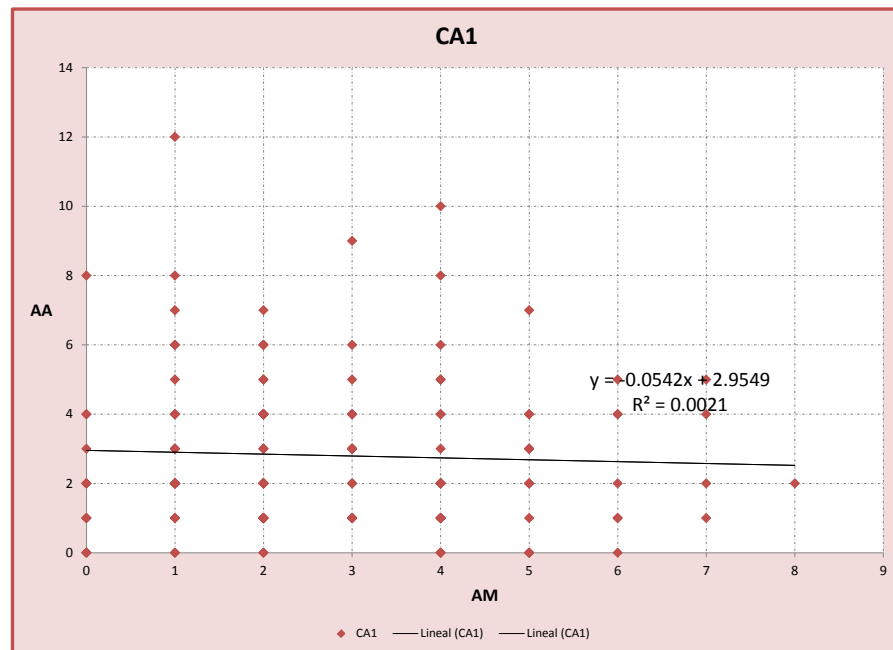
En la gráfica 16 se observan datos muy dispersos, lo cual se demuestra con el valor de  $R^2$  que presenta un valor de 0.63. Esto significa que para el mismo período de tiempo, los volúmenes presentan diferencias considerables.



Gráfica 17. Regresión lineal entre el AA y AM del volumen de Camiones Unitarios de la estación 13A.

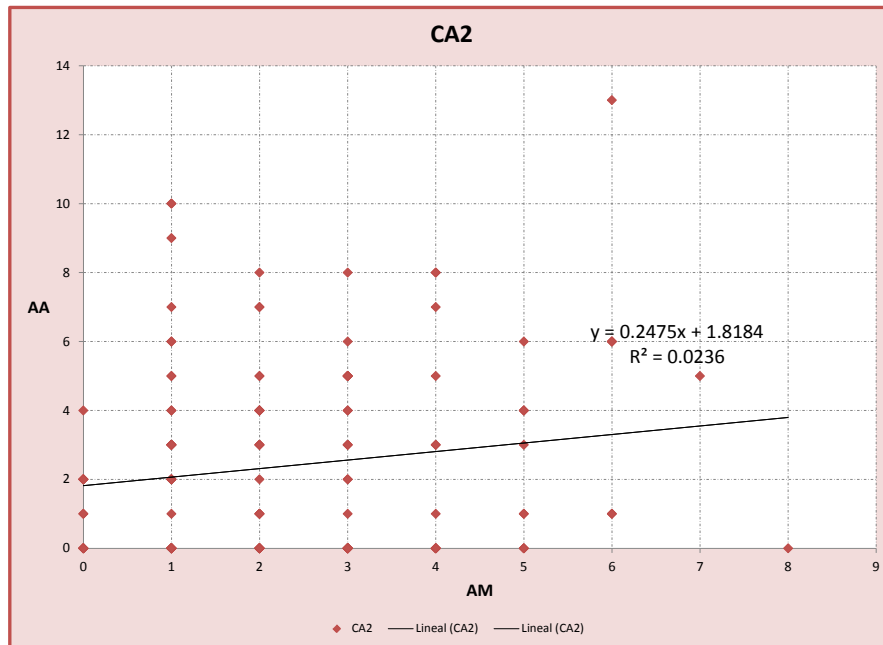


Gráfica 18. Regresión lineal entre el AA y AM del volumen de CA1 de la estación 13A.



En las gráficas 17, 18 y 19 el valor de  $R^2$  es aún menor, presentando valores de 0.38, 0.002 y 0.02 respectivamente, lo cual significa que los volúmenes registrados para el mismo período de tiempo entre el aforo manual y aforo automático son totalmente distintos.

Gráfica 19. Regresión lineal entre el AA y AM del volumen de CA2 de la estación 13A.



De acuerdo a la experiencia y al criterio del analista se determinará si las variaciones obtenidas representan un error significativo para proceder a una corrección de los aforos; esto dependerá entre otros factores, de la importancia de las carreteras en estudio, de la magnitud de los volúmenes manejados y de los límites máximos que se consideren pertinentes.

### 7.1. Procedimientos de ajuste de los aforos

Una vez decidido que los aforos serán ajustados, se considerarán las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1. Existe confusión al clasificar Autobuses (B) y Camiones Unitarios (CU) y entre Camiones articulados 1 (CA1) Camiones articulados 2 (CA2), por parte del aforo automático.

Hipótesis 2. La distribución vehicular del aforo manual es más confiable respecto a la distribución del aforo automático, por lo que será el punto de referencia para corregir la distribución del aforo automático.

Hipótesis 3. Las correcciones en magnitudes pequeñas no importan. Todo esto aún antes de corregir con el aforo manual.



Con las hipótesis planteadas, se deduce que la distribución del aforo automático será corregida respecto a la distribución del aforo manual, respetando el volumen total del aforo automático.

El ajuste de la distribución del aforo automático se realizará aplicando un factor de corrección  $F_C$  definido por el volumen del aforo manual entre el volumen del aforo automático de las horas coincidentes de un determinado estrato para cada estación del estudio.

$$F_C = \frac{V_{AM,esg}}{V_{AA,esg}}$$

Dónde:

$F_C$  = Factor de corrección

$V_{AM,esg}$  = Volumen del aforo manual de la estación "e" del estrato "s" del grupo "g"  
de las horas coincidentes de registro de aforo manual y aforo automático.

$V_{AA,esg}$  = Volumen del aforo automático de la estación "e" del estrato "s" del grupo "g"  
de las horas coincidentes de registro de aforo manual y aforo automático.

Se presentarán casos particulares en el cálculo de los factores:

$$\frac{x}{0} \rightarrow F_C = 1. \text{ El Aforo Manual se igualará con el Aforo Automático}$$

$$\frac{0}{0} \rightarrow F_C = 0$$

*Si existen diferencias entre el Aforo Manual y el Aforo Automático del tipo 1 vs 0, se considerarán los ceros*

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo del factor de corrección de la estación 13A suponiendo dos estratos, uno entre semana y otro de fin de semana. El cálculo se realizó para autos, buses y el total del volumen de la estación.



Estrato	Estación	Sentido	AA <sub>COINCIDENTE CON AM</sub>			AM <sub>COINCIDENTE CON AA</sub>			F <sub>C</sub> = AM <sub>COIN</sub> /AA <sub>COIN</sub>		
			A	B	TOT	A	B	TOT	A	B	TOT
0	13	A ATLIXCO	9374	3012	13339	11715	667	13313	1.250	0.221	0.998
		A PUEBLA	10557	3313	14620	13203	654	14606	1.251	0.197	0.999
A ATLIXCO		6391	1905	8653	7989	306	8651	1.250	0.161	1.000	
A PUEBLA		6659	1993	8991	8318	318	8968	1.249	0.160	0.997	

**Tabla 7. Cálculo del Factor de corrección.**

El factor de corrección se aplicará al volumen total del aforo automático de la estación “e” del estrato “s” del grupo “g” considerando las horas coincidentes y no coincidentes en las que se registró aforo manual.

Estrato	Estación	Sentido	AA <sub>ORIGINAL</sub>		CORRECCIÓN. AA <sub>CORREGIDO</sub>		
			A	B	A	B	TOT
0	13	A ATLIXCO	22126	7525	27651.5991	1666.39276	31937.6265
		A PUEBLA	24385	8985	30496.8414	1773.67643	35078.377
A ATLIXCO		10815	3247	13519.1731	521.565354	14659.6109	
A PUEBLA		13013	3562	16255.0134	568.347215	17095.1565	

**Tabla 8. Corrección del aforo automático.**

Por último, se graficarán los aforos automáticos originales con los aforos automáticos corregidos, calculando nuevamente una línea de tendencia, para poder comparar y analizar los resultados obtenidos.

El análisis de la información y las alternativas de solución, incluyendo el procedimiento de ajuste de los aforos, se puede resumir de acuerdo a los siguientes diagramas:



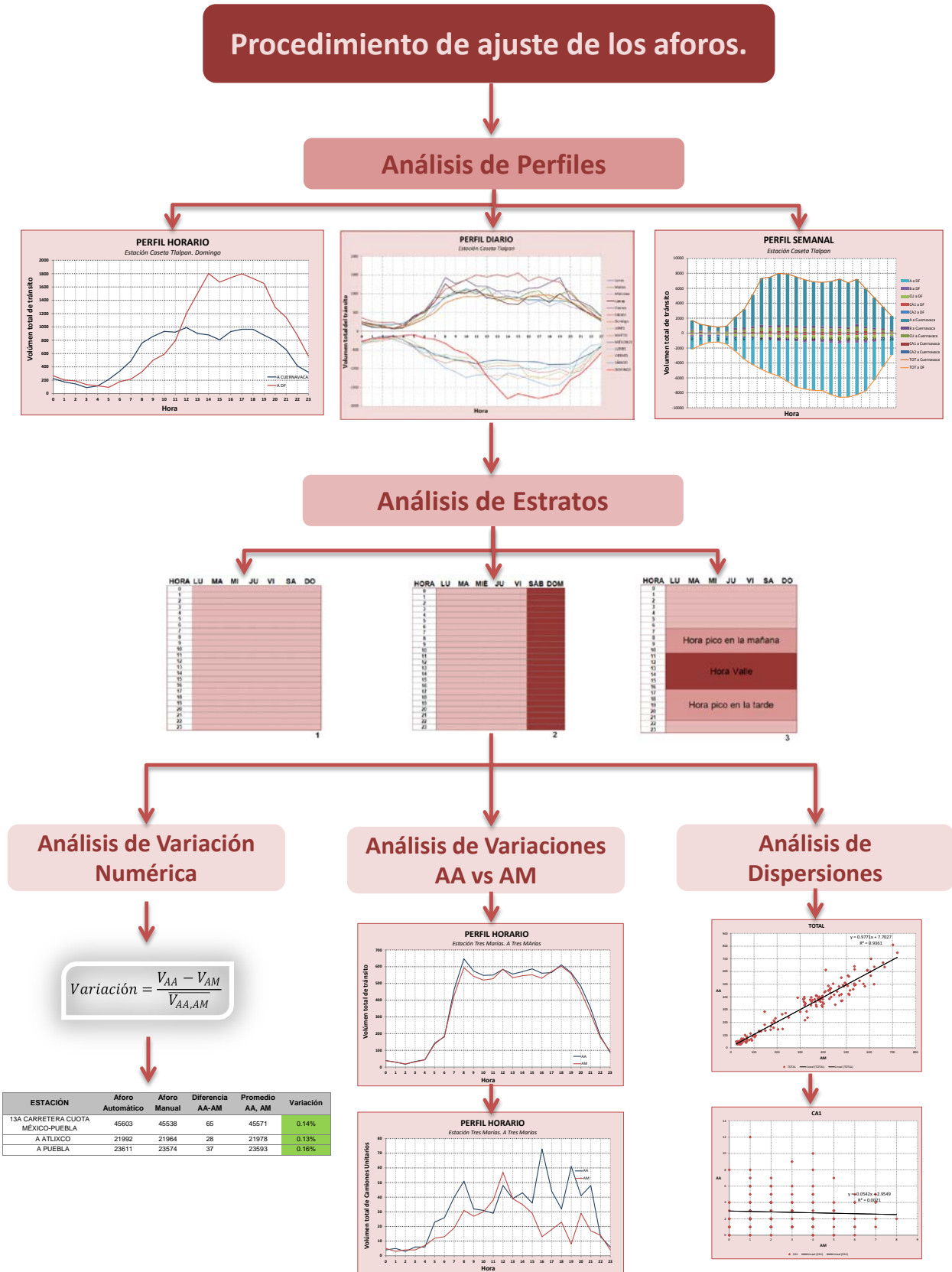


Figura 28. Procedimiento de ajuste. Análisis.

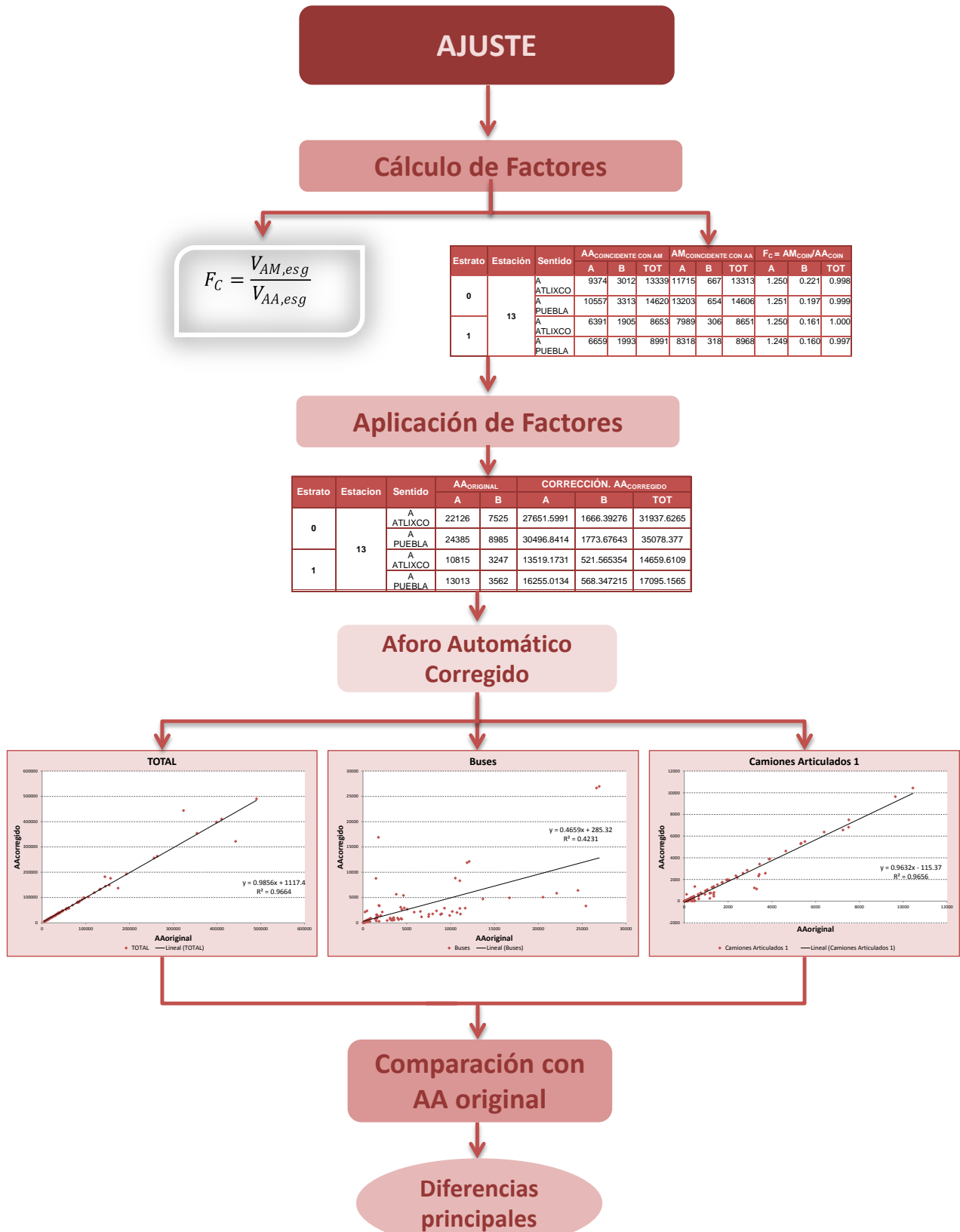


Figura 29. Procedimiento de Ajuste. Aplicación de factores y comparación.



## 8. Caso de estudio

Se tendrá como caso de análisis, los datos obtenidos de los estudios de demanda del proyecto La Venta – Topilejo – Chalco – San Martín Texmelucan y Libramiento sur de Puebla, para el que se realizaron estudios origen – destino del 26 de agosto del 2010 al 09 de noviembre de 2010; en el que se levantaron registros de aforos en 23 estaciones origen - destino ubicadas en diferentes puntos de las carreteras dentro de la zona de estudio.

### ESTACIONES

Número	Nombre	Sentido
1	AMAYUCAN	A CUAUTLA A IZUCAR
2	LA VENTA	A DF A TOLUCA
3	CASETA TLALPAN	A CUERNAVACA A DF
4	PARRES	A CUERNAVACA A DF
5	TRES MARÍAS	A SANTA MARTHA A TRES MARÍAS
6	CASETA TEPOZTLÁN (CUOTA)	A CUAUTLA A LA PERA
7	VILLA ZAPATA	A OAXTEPEC A SAN GREGORIO
9	CASETA SAN MARCOS	A DF A PUEBLA
10	TLALMANALCO	A AMECAMECA A TLALMANALCO
11	CASETA SAN MARTÍN TEXMELUCAN	A DF A PUEBLA
12	CARRETERA FEDERAL MÉXICO-PUEBLA	A HUEJOTZINGO A SAN MARTÍN
13	13A CARRETERA CUOTA MÉXICO-PUEBLA	A ATLIXCO A PUEBLA
14	CARRETERA FEDERAL A ATLIXCO	A ATLIXCO A PUEBLA
15	AUTOPISTA PUEBLA-ORIZABA	A CORDOBA A PUEBLA
16	16AUTOPISTA PUEBLA-ORIZABA	A CORDOBA A PUEBLA
17	CARRETERA PUEBLA-TEHUACÁN	A AMOZOC A TEHUACÁN
18	CIRCUITO MEXIQUENSE	A QUERÉTARO A TEXCOCO
19	CALPULALPAN	A APIZACO A CALPULALPAN
20	AUTOPISTA ARCO NORTE	A CALPULALPAN A SAN MARTÍN
21B	ESTACIÓN 2 VIADUCTO	A CIRCUITO INTERIOR A TLALPAN
22B	ESTACIÓN 1 PERIFÉRICO	A AV. PICACHO AJUSCO A SAN JERÓNIMO
23	ESTACIÓN 4 RÍO CHURUBUSCO	A AV. DIVISIÓN DEL NORTE A AV. UNIVERSIDAD
24	ESTACIÓN 3 SAN COSME	A INSURGENTES A RÍO SAN JOAQUÍN

**Tabla 9. Estaciones de Encuesta.**



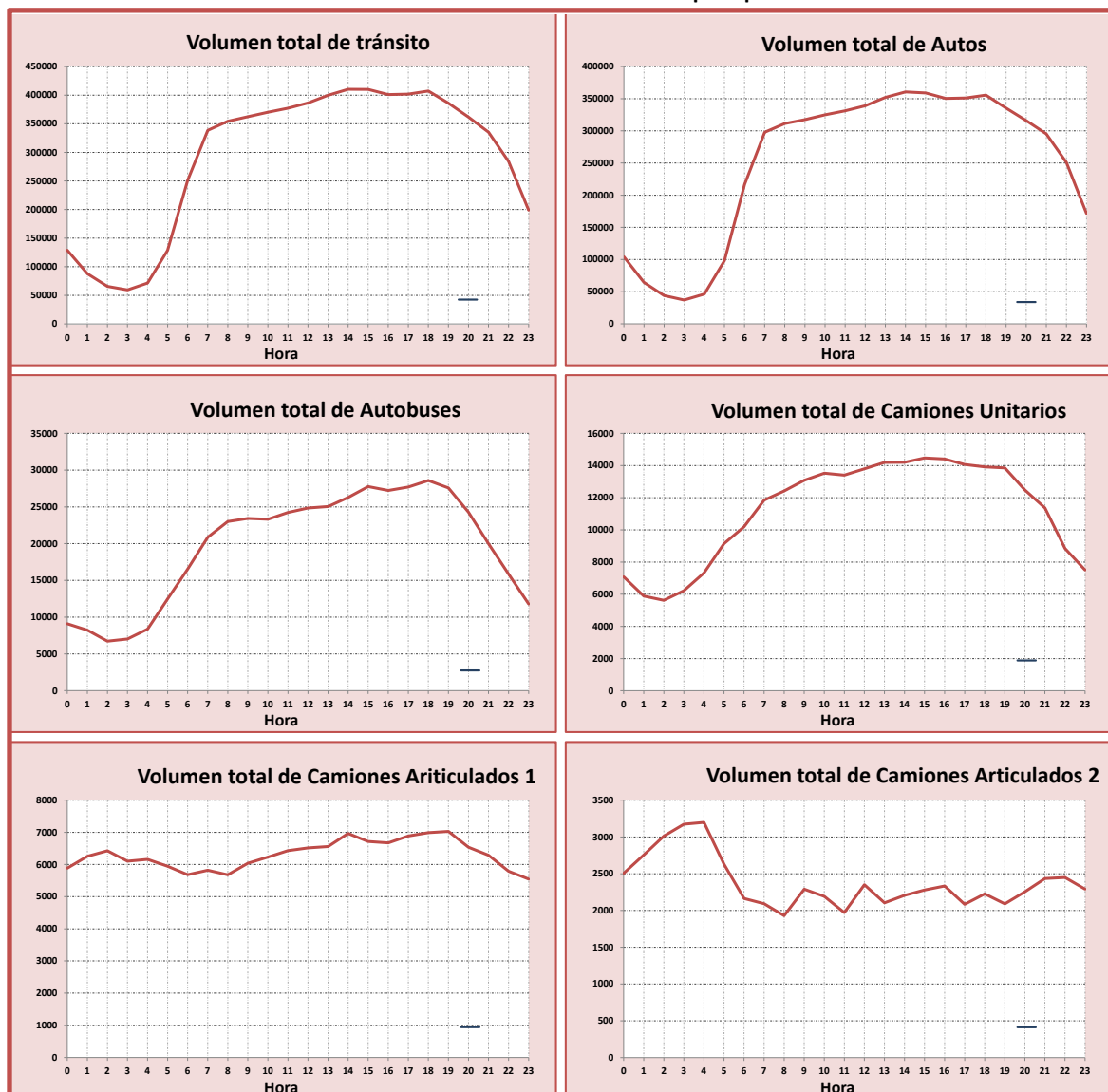
Como ya se ha mencionado, la metodología consiste principalmente en comparar los resultados obtenidos de campo de los aforos manual y automático simultáneamente con las variaciones horarias, diarias, o la que sea más conveniente.

Hay que tomar en cuenta que las variaciones del tránsito pueden estar marcadas por los días en los que se realiza el aforo, así, no serán iguales los flujos obtenidos entre semana, y de fin de semana.

Dependiendo de los días en los que fueron levantados los datos de los aforos, se pueden utilizar los promedios entre semana, y de fin de semana según se necesite.

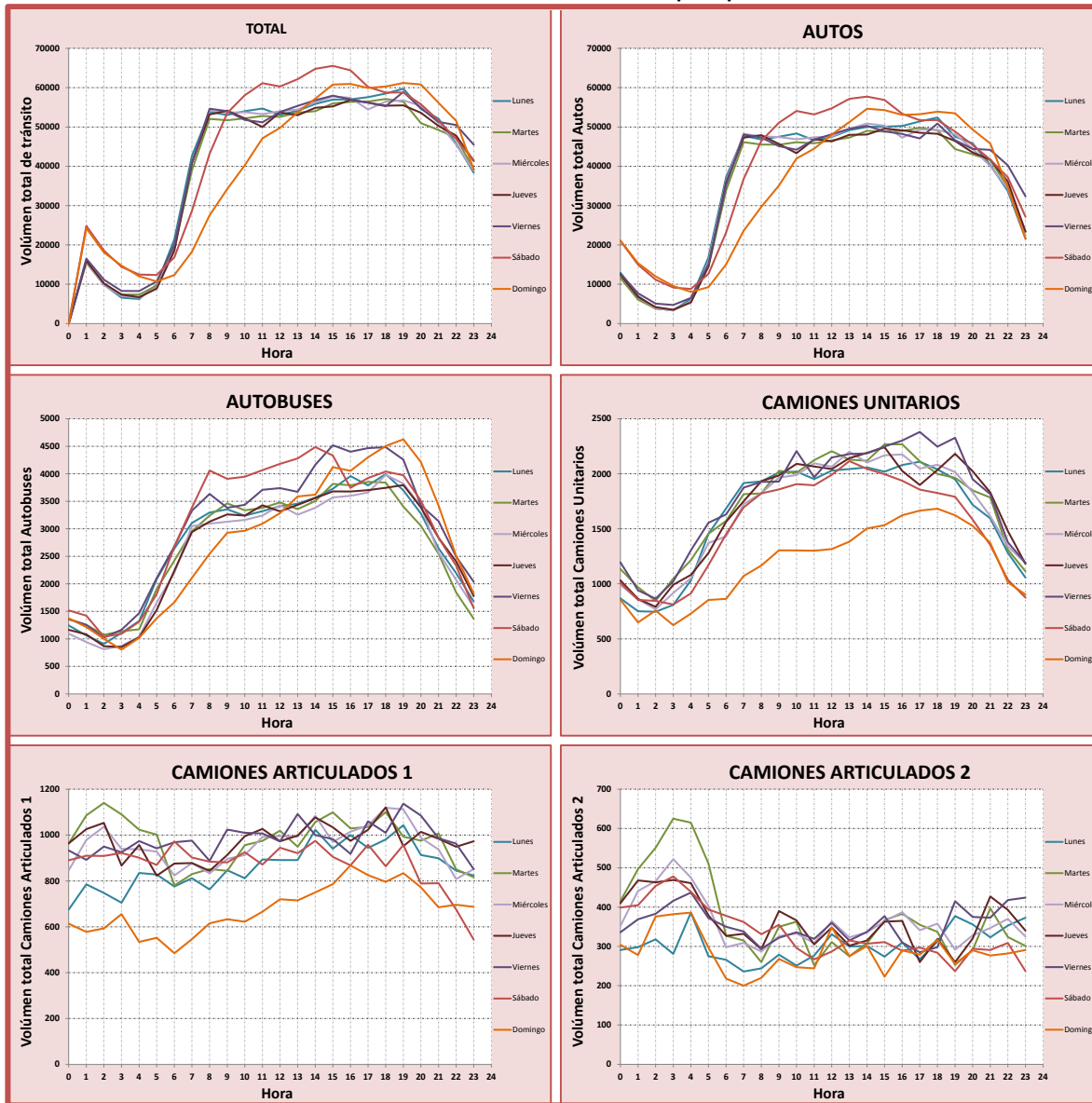
Comenzaremos analizando el comportamiento del volumen de todas las estaciones del estudio, obteniendo perfiles horarios y diarios de los aforos automáticos.

Gráfica 20. Perfiles horarios del caso de estudio por tipo de vehículo.





Gráfica 21. Perfiles diarios del caso de estudio por tipo de vehículo.



De acuerdo a los perfiles obtenidos, se concluye que en general, el comportamiento del flujo vehicular, es similar entre semana y presenta variaciones los fines de semana, en particular los días domingo, y es más notorio en los camiones unitarios y los camiones articulados 1.

Con base en lo anterior, propondremos tres tipos de estratos diferentes en caso de necesitar un ajuste de los aforos.



La configuración de los estratos seleccionados son los casos A y B mencionados en el punto 6 del presente trabajo por ser los más sencillos y el caso F arreglado en cuatro estratos, uno para fin de semana y tres entre semana, de las cero a las 10 horas, de las 11 a las 19 horas y de las 20 a las 23 horas, de acuerdo al perfil horario del volumen total del tránsito donde podemos observar que las horas de mayor volumen se encuentran entre las 11 y las 19 horas.

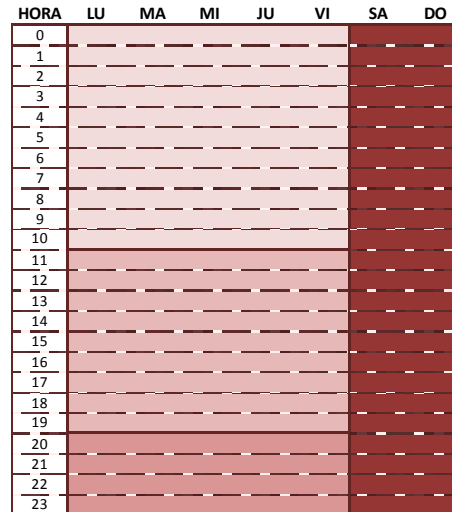
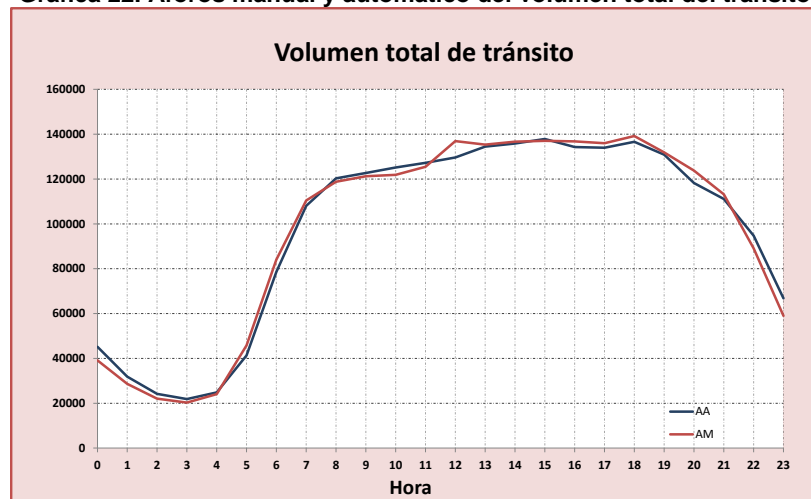


Figura 30 Configuración de estratos propuesta.

Continuando con la metodología, se precede a elaborar las gráficas comparativas entre los aforos manuales y automáticos para cada tipo de vehículo.

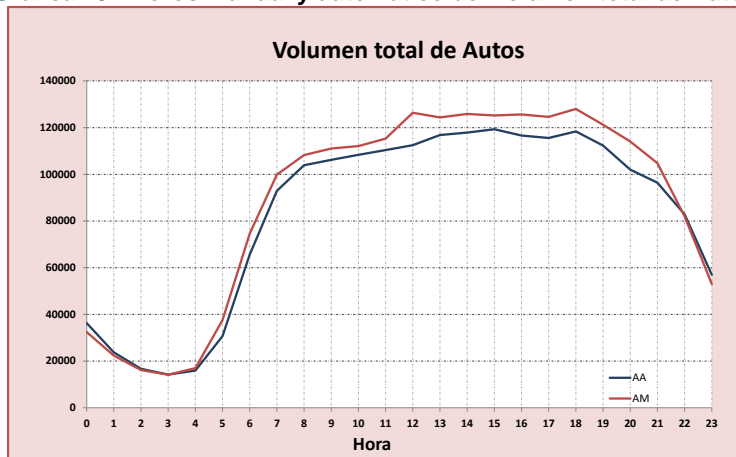
Gráfica 22. Aforos manual y automático del volumen total del tránsito.



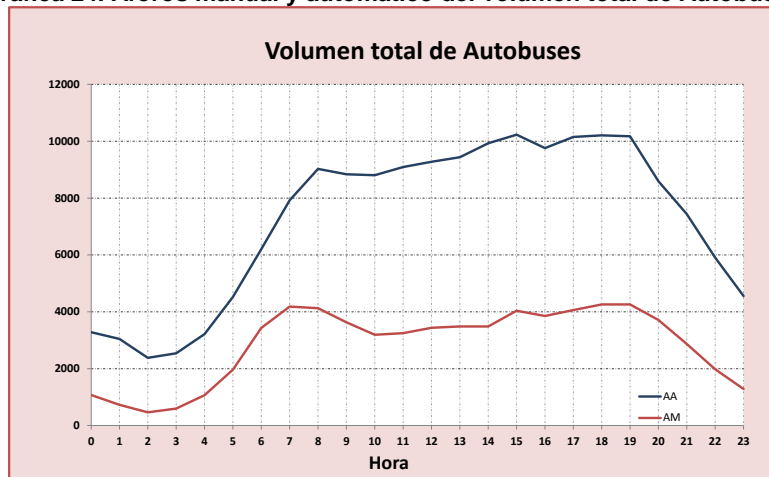
Las diferencias entre aforo manual y automático no presentan diferencias significativas en el volumen total del tránsito y en general en el total de autos.



Gráfica 23. Aforos manual y automático del volumen total de Autos.

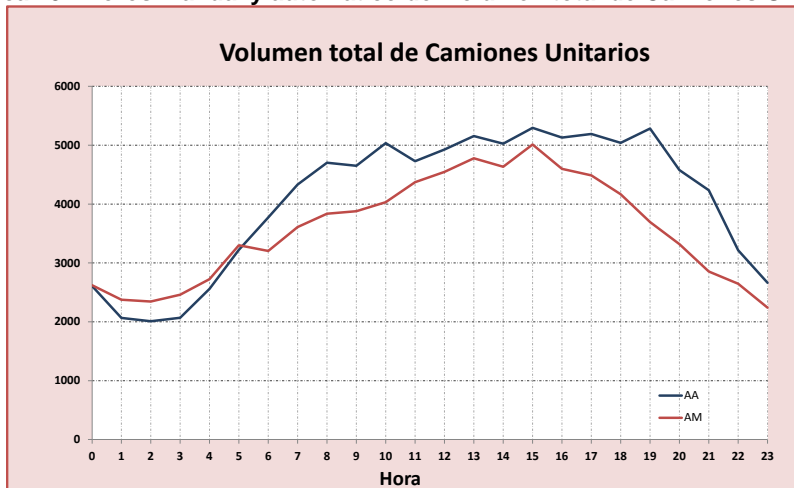


Gráfica 24. Aforos manual y automático del volumen total de Autobuses.



El comportamiento del flujo de autobuses es similar pero en magnitud hay mucha diferencia, en cuanto a los Camiones Unitarios, estos tienen diferencias pequeñas.

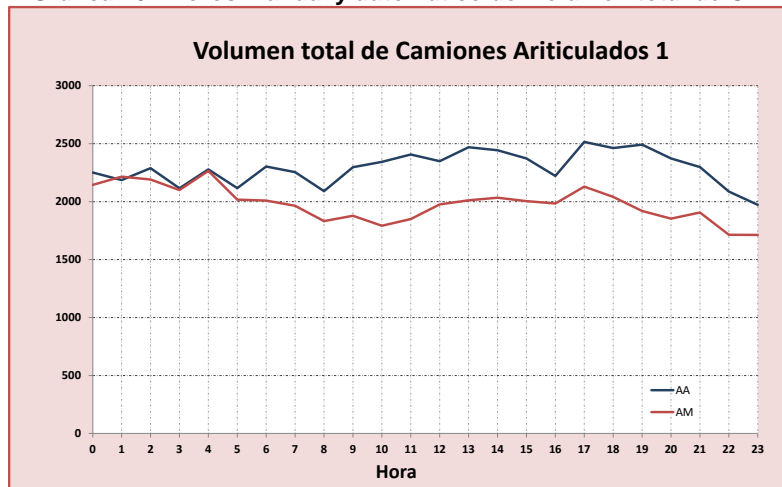
Gráfica 25. Aforos manual y automático del volumen total de Camiones Unitarios



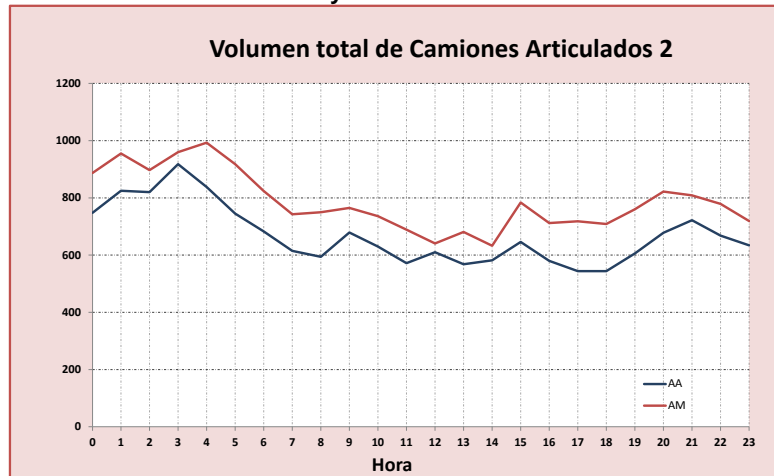




**Gráfica 26. Aforos manual y automático del volumen total de CA1**



**Gráfica 27. Aforos manual y automático del volumen total de CA2**



En cuanto a las gráficas de Camiones Articulados 1, se observa que se registró una mayor cantidad de estos con el aforo automático, y para los Camiones Articulados 2, el mayor registro fue utilizando aforo manual, sin embargo, las curvas en ambos casos son similares.

Podemos notar que las gráficas que incluyen el aforo manual y automático sólo se podrán realizar para los tres días, y para las horas en los que fue realizado el aforo manual. Los resultados en conjunto del aforo manual y aforo automático durante tres días presentarán pequeñas diferencias.

El paso siguiente consiste en calcular los porcentajes de variación entre los aforos manual y automático, de todas las estaciones para detectar posibles errores en el levantamiento de información. Esto se muestra en la siguiente tabla:



Especialidad en Vías Terrestres

MEDICIÓN DE AFOROS EN CARRETERAS EN MÉXICO. COMPARACIÓN DE LOS  
RESULTADOS ENTRE AFORO AUTOMÁTICO Y AFORO MANUAL

ESTACIÓN. Sentido	Aforo Automático	Aforo Manual	Diferencia AA-AM	Promedio AA, AM	Variación
<b>13A CARRETERA CUOTA MÉXICO-PUEBLA</b>	<b>45603</b>	<b>45538</b>	65	45571	0.14%
A ATlixco	21992	21964	28	21978	0.13%
A PUEBLA	23611	23574	37	23593	0.16%
<b>16AUTOPISTA PUEBLA-ORIZABA</b>	<b>96100</b>	<b>96146</b>	-46	96123	-0.05%
A CORDOBA	45227	45278	-51	45253	-0.11%
A PUEBLA	50873	50868	5	50871	0.01%
<b>AUTOPISTA ARCO NORTE</b>	<b>33788</b>	<b>33732</b>	56	33760	0.17%
A CALPULALPAN	14850	14833	17	14842	0.11%
A SAN MARTÍN	18938	18899	39	18919	0.21%
<b>CALPULALPAN</b>	<b>45234</b>	<b>46316</b>	-1082	45775	-2.36%
A APIZACO	23889	24385	-496	24137	-2.05%
A CALPULALPAN	21345	21931	-586	21638	-2.71%
<b>CARRETERA FEDERAL A ATlixco</b>	<b>49271</b>	<b>49260</b>	11	49266	0.02%
A ATlixco	23275	23241	34	23258	0.15%
A PUEBLA	25996	26019	-23	26008	-0.09%
<b>CARRETERA FEDERAL MÉXICO-PUEBLA</b>	<b>43084</b>	<b>43069</b>	15	43077	0.03%
A HUEJOTZINGO	21094	21057	37	21076	0.18%
A SAN MARTÍN	21990	22012	-22	22001	-0.10%
<b>CARRETERA PUEBLA-TEHUACÁN</b>	<b>62474</b>	<b>62465</b>	9	62470	0.01%
A AMOZOC	27562	27588	-26	27575	-0.09%
A TEHUACÁN	34912	34877	35	34895	0.10%
<b>CASETA SAN MARCOS</b>	<b>90002</b>	<b>87413</b>	2589	88708	2.92%
A DF	46365	44074	2291	45220	5.07%
A PUEBLA	43637	43339	298	43488	0.69%
<b>CASETA SAN MARTÍN TEXMELUCAN</b>	<b>108198</b>	<b>108165</b>	33	108182	0.03%
A DF	49891	49877	14	49884	0.03%
A PUEBLA	58307	58288	19	58298	0.03%
<b>CASETA TEPOZTLÁN (CUOTA)</b>	<b>35319</b>	<b>35129</b>	190	35224	0.54%
A CUAUTLA	17233	17372	-139	17303	-0.80%
A LA PERA	18086	17757	329	17922	1.84%
<b>CASETA TLALPAN</b>	<b>114093</b>	<b>112580</b>	1513	113337	1.33%
A CUERNAVACA	57963	58201	-238	58082	-0.41%
A DF	56130	54379	1751	55255	3.17%
<b>CIRCUITO MEXIQUENSE</b>	<b>135854</b>	<b>135780</b>	74	135817	0.05%
A QUERÉTARO	61350	61301	49	61326	0.08%
A TEXCOCO	74504	74479	25	74492	0.03%
<b>ESTACIÓN 1 PERIFÉRICO</b>	<b>319819</b>	<b>317473</b>	2346	318646	0.74%
A AV. PICACHO AJUSCO	159244	159236	8	159240	0.01%
A SAN JERÓNIMO	160575	158237	2338	159406	1.47%
<b>ESTACIÓN 2 VIADUCTO</b>	<b>320189</b>	<b>320168</b>	21	320179	0.01%
A CIRCUITO INTERIOR	182042	138114	43928	160078	27.44%
A TLALPAN	138147	182054	-43907	160101	-27.42%
<b>ESTACIÓN 3 SAN COSME</b>	<b>348968</b>	<b>358977</b>	-10009	353973	-2.83%
A INSURGENTES	195800	195814	-14	195807	-0.01%
A RÍO SAN JOAQUÍN	153168	163163	-9995	158166	-6.32%
<b>ESTACIÓN 4 RÍO CHURUBUSCO</b>	<b>196725</b>	<b>196769</b>	-44	196747	-0.02%
A AV. DIVISIÓN DEL NORTE	97871	97882	-11	97877	-0.01%
A AV. UNIVERSIDAD	98854	98887	-33	98871	-0.03%
<b>LA VENTA</b>	<b>150340</b>	<b>147786</b>	2554	149063	1.71%
A DF	81292	77583	3709	79438	4.67%
A TOLUCA	69048	70203	-1155	69626	-1.66%
<b>PARRES</b>	<b>44950</b>	<b>44276</b>	674	44613	1.51%
A CUERNAVACA	21975	21932	43	21954	0.20%
A DF	22975	22344	631	22660	2.78%
<b>TLALMANALCO</b>	<b>58210</b>	<b>59446</b>	-1236	58828	-2.10%
A AMECAMECA	30332	31102	-770	30717	-2.51%
A TLALMANALCO	27878	28344	-466	28111	-1.66%
<b>TRES MARIAS</b>	<b>18302</b>	<b>17821</b>	481	18062	2.66%
A SANTA MARTHA	9325	9203	122	9264	1.32%
A TRES MARIAS	8977	8618	359	8798	4.08%



ESTACIÓN. Sentido	Aforo Automático	Aforo Manual	Diferencia AA-AM	Promedio AA, AM	Variación
<b>VILLA ZAPATA</b>	<b>19319</b>	<b>18473</b>	846	18896	4.48%
A OAXTEPEC	9815	9452	363	9634	3.77%
A SAN GREGORIO	9504	9021	483	9263	5.21%
<b>Total general</b>	<b>2335842</b>	<b>2336782</b>	<b>-940</b>	<b>2336312</b>	<b>-0.04%</b>

Tabla 10. Variación numérica entre AA y AM del volumen total.

De esta tabla se puede determinar que la estación Caseta San Marcos, Estación 2. Viaducto, Estación 3. San Cosme y estación Villa Zapata, tienen errores de hasta 27% del volumen total entre los aforos manual y automático, por lo que, de ser necesario un análisis más detallado, se debería empezar por esas estaciones.

Cabe hacer notar que uno de los mayores porcentajes de error se encuentra en la Estación 2. Viaducto, esto puede ser debido a que es una estación urbana, la cual presenta considerables volúmenes de tránsito, donde el congestionamiento es muy probable y tanto el aforo automático pudo no haber detectado correctamente los tipos de vehículos, como el aforo manual pudo no haber sido levantado correctamente, a causa de las condiciones en las que se pudo haber instalado la estación.

Continuando con un análisis más detallado, se calcularán los porcentajes de variación para cada tipo de vehículo de la misma forma que se hizo para el volumen total de cada estación.

ESTACIÓN. Sentido	Aforo Automático	Aforo Manual	Diferencia AA-AM	Promedio AA, AM	Variación				
					% A	% B	% CU	% CA1	%CA2
<b>13A CARRETERA CUOTA MÉXICO-PUEBLA</b>	<b>45603</b>	<b>45538</b>	65	45571	-22.22%	136.06%	1.28%	1.75%	0.87%
A ATlixco	21992	21964	28	21978	-22.21%	133.92%	1.20%	3.85%	2.35%
A PUEBLA	23611	23574	37	23593	-22.23%	138.07%	1.39%	-0.52%	-0.57%
<b>16AUTOPISTA PUEBLA-ORIZABA</b>	<b>96100</b>	<b>96146</b>	-46	96123	-22.20%	101.14%	0.05%	0.24%	-1.53%
A CORDOBA	45227	45278	-51	45253	-22.22%	96.40%	-0.16%	0.31%	-1.92%
A PUEBLA	50873	50868	5	50871	-22.19%	105.57%	0.25%	0.18%	-1.17%
<b>AUTOPISTA ARCO NORTE</b>	<b>33788</b>	<b>33732</b>	56	33760	-22.22%	135.49%	1.15%	0.25%	-0.44%
A CALPULALPAN	14850	14833	17	14842	-22.23%	125.26%	1.11%	0.35%	-1.25%
A SAN MARTÍN	18938	18899	39	18919	-22.21%	143.91%	1.18%	0.16%	0.31%
<b>CALPULALPAN</b>	<b>45234</b>	<b>46316</b>	-1082	45775	-42.95%	136.91%	-32.81%	7.55%	-61.85%
A APIZACO	23889	24385	-496	24137	-34.61%	127.08%	-	6.61%	-38.05%
A CALPULALPAN	21345	21931	-586	21638	-53.17%	146.67%	-	8.50%	-96.63%
<b>CARRETERA FEDERAL A ATlixco</b>	<b>49271</b>	<b>49260</b>	11	49266	-22.20%	143.89%	-0.04%	0.69%	-1.06%
A ATlixco	23275	23241	34	23258	-22.22%	141.95%	0.25%	1.11%	4.50%
A PUEBLA	25996	26019	-23	26008	-22.19%	145.66%	-0.30%	0.30%	-6.77%
<b>CARRETERA FEDERAL MÉXICO-PUEBLA</b>	<b>43084</b>	<b>43069</b>	15	43077	-22.23%	108.83%	0.59%	0.71%	-29.01%
A HUEJOTZINGO	21094	21057	37	21076	-22.23%	106.17%	1.19%	1.94%	-10.53%
A SAN MARTÍN	21990	22012	-22	22001	-22.23%	111.43%	-0.10%	-0.51%	-43.24%
<b>CARRETERA PUEBLA-TEHUACÁN</b>	<b>62474</b>	<b>62465</b>	9	62470	-22.23%	130.75%	-0.18%	1.29%	-9.49%
A AMOZOC	27562	27588	-26	27575	-22.22%	124.37%	-0.49%	0.58%	-9.45%
A TEHUACÁN	34912	34877	35	34895	-22.24%	136.06%	0.09%	1.96%	-9.52%



Especialidad en Vías Terrestres

MEDICIÓN DE AFOROS EN CARRETERAS EN MÉXICO. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS ENTRE AFORO AUTOMÁTICO Y AFORO MANUAL

ESTACIÓN. Sentido	Aforo Automático	Aforo Manual	Diferencia AA-AM	Promedio AA, AM	Variación				
					% A	% B	% CU	% CA1	%CA2
<b>CASETA SAN MARCOS</b>	<b>90002</b>	<b>87413</b>	2589	88708	4.41%	-49.36%	40.02%	36.45%	-200.00%
A DF	46365	44074	2291	45220	7.57%	-54.91%	36.56%	42.32%	-
A PUEBLA	43637	43339	298	43488	1.11%	-43.94%	43.66%	30.05%	-
<b>CASETA SAN MARTÍN TEXMELUCAN</b>	<b>108198</b>	<b>108165</b>	33	108182	-35.29%	117.72%	0.00%	0.23%	0.19%
A DF	49891	49877	14	49884	-35.29%	117.88%	0.06%	0.17%	-0.05%
A PUEBLA	58307	58288	19	58298	-35.28%	117.59%	-0.05%	0.29%	0.40%
<b>CASETA TEPOZTLÁN (CUOTA)</b>	<b>35319</b>	<b>35129</b>	190	35224	-4.62%	15.74%	82.74%	47.57%	-200.00%
A CUAUTLA	17233	17372	-139	17303	-7.05%	17.08%	92.41%	56.52%	-
A LA PERA	18086	17757	329	17922	-2.29%	14.40%	73.68%	38.18%	-
<b>CASETA TLALPAN</b>	<b>114093</b>	<b>112580</b>	1513	113337	-6.27%	42.10%	89.66%	43.66%	-200.00%
A CUERNAVACA	57963	58201	-238	58082	-7.64%	31.06%	99.60%	49.01%	-
A DF	56130	54379	1751	55255	-4.80%	52.62%	81.34%	38.58%	-
<b>CIRCUITO MEXIQUENSE</b>	<b>135854</b>	<b>135780</b>	74	135817	-22.22%	139.60%	0.38%	0.67%	0.65%
A QUERÉTARO	61350	61301	49	61326	-22.23%	126.53%	0.88%	0.85%	-0.66%
A TEXCOCO	74504	74479	25	74492	-22.22%	152.16%	-0.08%	0.54%	1.92%
<b>ESTACIÓN 1 PERIFÉRICO</b>	<b>319819</b>	<b>317473</b>	2346	318646	0.74%	-0.24%	-3.55%	26.09%	0.00%
A AV. PICACHO AJUSCO	159244	159236	8	159240	0.01%	-3.03%	1.69%	40.00%	0.00%
A SAN JERÓNIMO	160575	158237	2338	159406	1.48%	2.21%	-9.35%	0.00%	0.00%
<b>ESTACIÓN 2 VIADUCTO</b>	<b>320189</b>	<b>320168</b>	21	320179	0.01%	-9.03%	3.13%	0.00%	0.00%
A CIRCUITO INTERIOR	182042	138114	43928	160078	27.43%	30.14%	38.75%	0.00%	200.00%
A TLALPAN	138147	182054	-43907	160101	-27.40%	-51.49%	-	0.00%	-
<b>ESTACIÓN 3 SAN COSME</b>	<b>348968</b>	<b>358977</b>	-10009	353973	-2.86%	0.65%	5.73%	6.45%	0.00%
A INSURGENTES	195800	195814	-14	195807	-0.04%	3.19%	7.61%	4.35%	0.00%
A RÍO SAN JOAQUÍN	153168	163163	-9995	158166	-6.36%	-3.03%	3.91%	8.51%	0.00%
<b>ESTACIÓN 4 RÍO CHURUBUSCO</b>	<b>196725</b>	<b>196769</b>	-44	196747	-0.02%	-7.07%	1.78%	7.41%	13.33%
A AV. DIVISIÓN DEL	97871	97882	-11	97877	-0.05%	-1.77%	5.08%	8.45%	13.33%
A AV. UNIVERSIDAD	98854	98887	-33	98871	0.01%	-15.49%	-6.77%	5.41%	0.00%
<b>LA VENTA</b>	<b>150340</b>	<b>147786</b>	2554	149063	4.32%	-	57.91%	-29.62%	12.65%
A DF	81292	77583	3709	79438	9.46%	-	40.37%	-	-
A TOLUCA	69048	70203	-1155	69626	-1.73%	-	74.55%	25.78%	78.03%
<b>PARRES</b>	<b>44950</b>	<b>44276</b>	674	44613	-6.54%	76.23%	37.87%	113.16%	0.00%
A CUERNAVACA	21975	21932	43	21954	-9.70%	81.71%	66.15%	92.56%	0.00%
A DF	22975	22344	631	22660	-3.44%	69.41%	16.96%	127.70%	0.00%
<b>TLALMANALCO</b>	<b>58210</b>	<b>59446</b>	-1236	58828	-16.99%	31.54%	-23.31%	100.75%	81.33%
A AMECAMECA	30332	31102	-770	30717	-14.90%	28.85%	-	102.34%	57.31%
A TLALMANALCO	27878	28344	-466	28111	-19.43%	34.13%	-	99.23%	100.00%
<b>TRES MARÍAS</b>	<b>18302</b>	<b>17821</b>	481	18062	-6.75%	57.00%	51.25%	186.44%	-200.00%
A SANTA MARTHA	9325	9203	122	9264	-8.82%	62.62%	58.86%	186.47%	-
A TRES MARÍAS	8977	8618	359	8798	-4.58%	51.02%	42.82%	186.42%	0.00%
<b>VILLA ZAPATA</b>	<b>19319</b>	<b>18473</b>	846	18896	0.14%	55.09%	9.16%	178.40%	0.00%
A OAXTEPEC	9815	9452	363	9634	-3.23%	92.41%	20.27%	177.70%	0.00%
A SAN GREGORIO	9504	9021	483	9263	3.58%	11.85%	-5.13%	179.38%	0.00%
<b>Total general</b>	<b>2335842</b>	<b>2336782</b>	<b>-940</b>	<b>2336312</b>	<b>-6.01%</b>	<b>87.34%</b>	<b>12.83%</b>	<b>14.52%</b>	<b>-16.23%</b>

Tabla 11. Variación numérica entre AA y AM por tipo de vehículo.

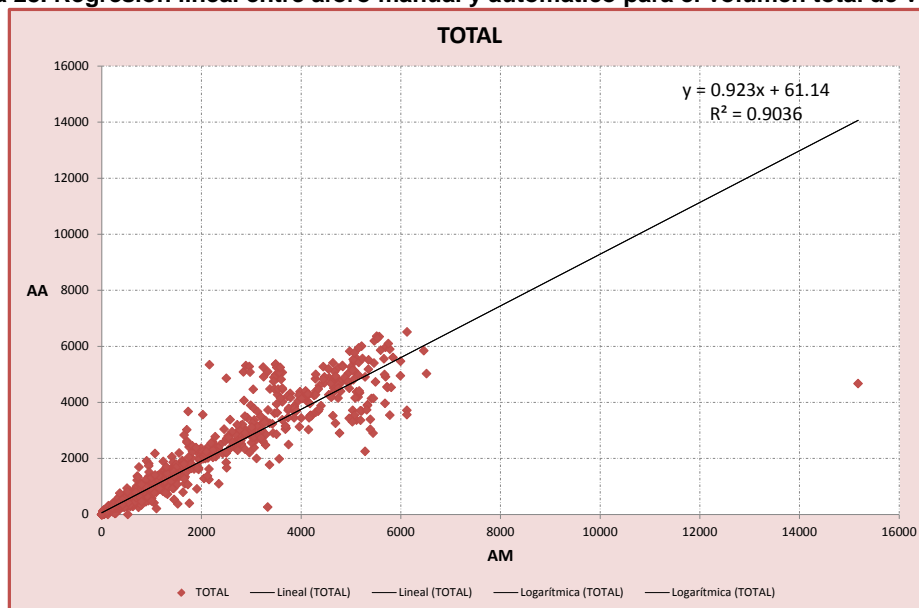


Un segundo análisis nos permite observar que aunque la variación es pequeña para el volumen total de cada estación, la variación calculada para cada tipo de vehículo puede ser significativa. Esto quiere decir, que en general, los volúmenes coinciden para ambos tipos de aforos, sin embargo, la distribución vehicular presenta fuertes errores.

Otra manera de comparar los resultados, es obtener regresiones lineales entre el aforo automático y aforo manual para el mismo tipo de vehículo.

Como ya se había mencionado, se tendrán datos razonablemente dispersos cuando la pendiente se aproxime a la unidad y el valor de la ordenada se aproxime al origen.

**Gráfica 28. Regresión lineal entre aforo manual y automático para el volumen total de vehículos**

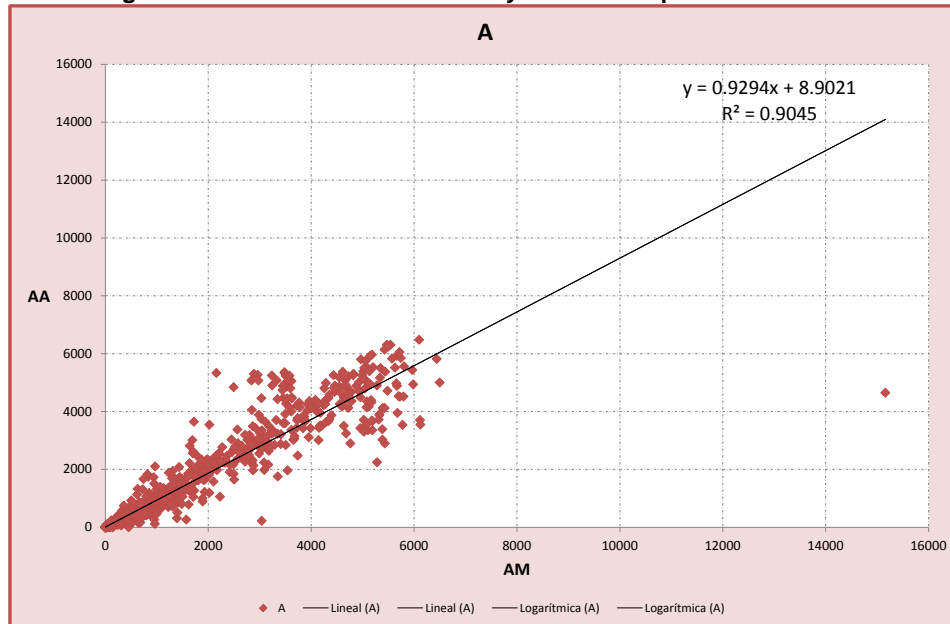


La ecuación de la línea de tendencia indica que no hay mucha diferencia entre el aforo manual y automático para el volumen total de vehículos. Los datos están próximos a la línea de tendencia a excepción de un punto alejado de ella, el cual se puede tomar como no representativo de la muestra.

La pendiente se aproxima a la unidad y el valor de la ordenada se aproxima al origen en comparación con la magnitud de los datos.



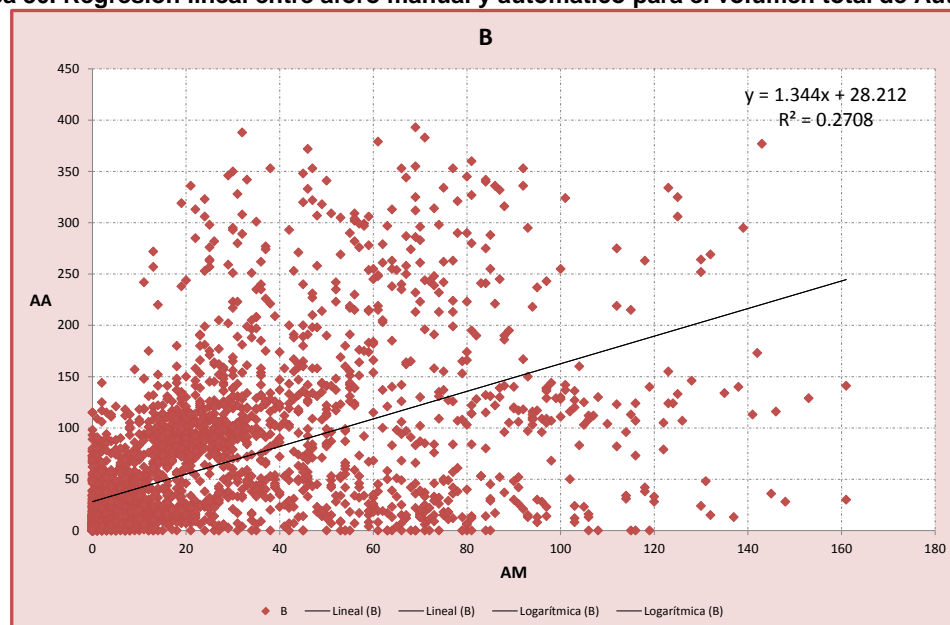
**Gráfica 29. Regresión lineal entre aforo manual y automático para el volumen total de Autos**



Igual que para el volumen total de vehículos, los Autos no presentan diferencias significativas entre el aforo manual y automático. Los datos están próximos a la línea de tendencia a excepción de un punto alejado de ella, el cual se puede tomar como no representativo de la muestra.

La pendiente se aproxima a la unidad y el valor de la ordenada es muy cercano al origen.

**Gráfica 30. Regresión lineal entre aforo manual y automático para el volumen total de Autobuses**

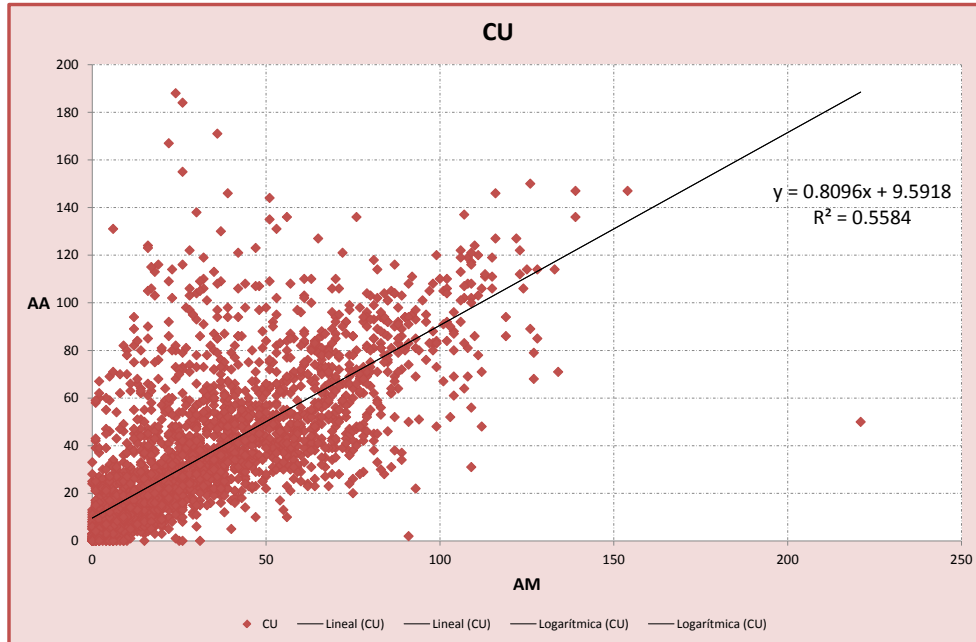




En esta gráfica se observan los datos para Autobuses muy dispersos y alejados de la línea de tendencia, esto puede indicar que existen errores o diferencias entre el aforo manual y automático.

La pendiente de la recta pasa la unidad y el parámetro que señala el error principalmente es  $R^2$  con un valor de 0.27.

**Gráfica 31. Regresión lineal entre aforo manual y automático para el volumen total de Camiones Unitarios**



Para Camiones Unitarios, los datos se encuentran razonablemente dispersos y no están muy alejados de la línea de tendencia, indicando que existen errores o diferencias entre el aforo manual y automático.

La pendiente de la recta es menor a la unidad y el parámetro que señala el error principalmente es  $R^2$  con un valor de 0.55.

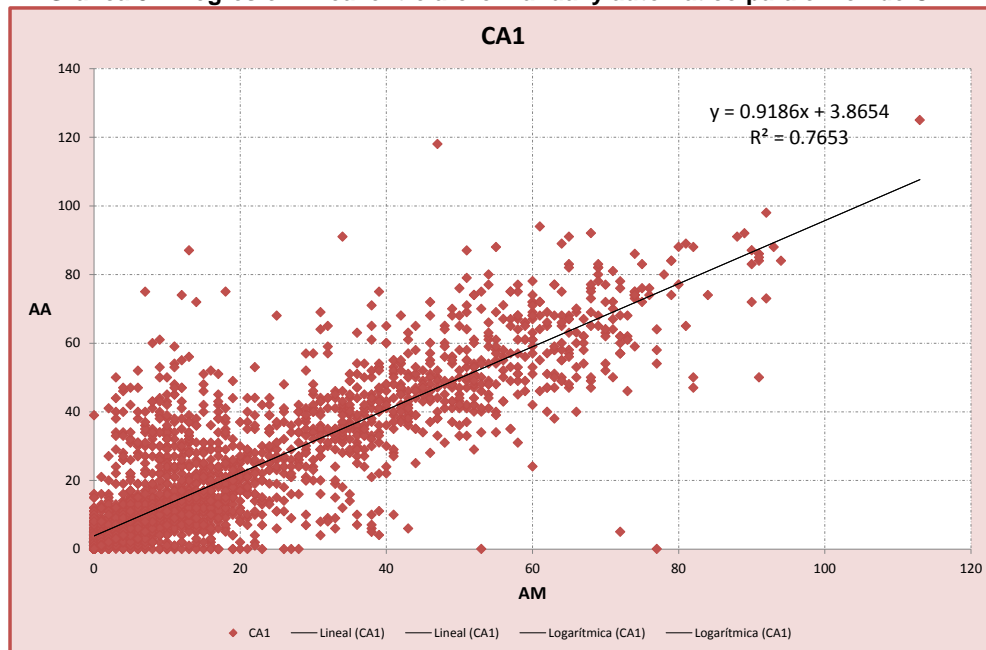
En cuanto a los Camiones Articulados 1 y 2 (CA1 y CA2) los datos se encuentran razonablemente dispersos y se alejan un poco de la línea de tendencia, también existen errores o diferencias entre el aforo manual y automático.

La pendiente de la recta es menor a la unidad en ambos casos y el parámetro que  $R^2$  se aproxima a la unidad ( $R^2=0.76$ ,  $R^2=0.75$  respectivamente).

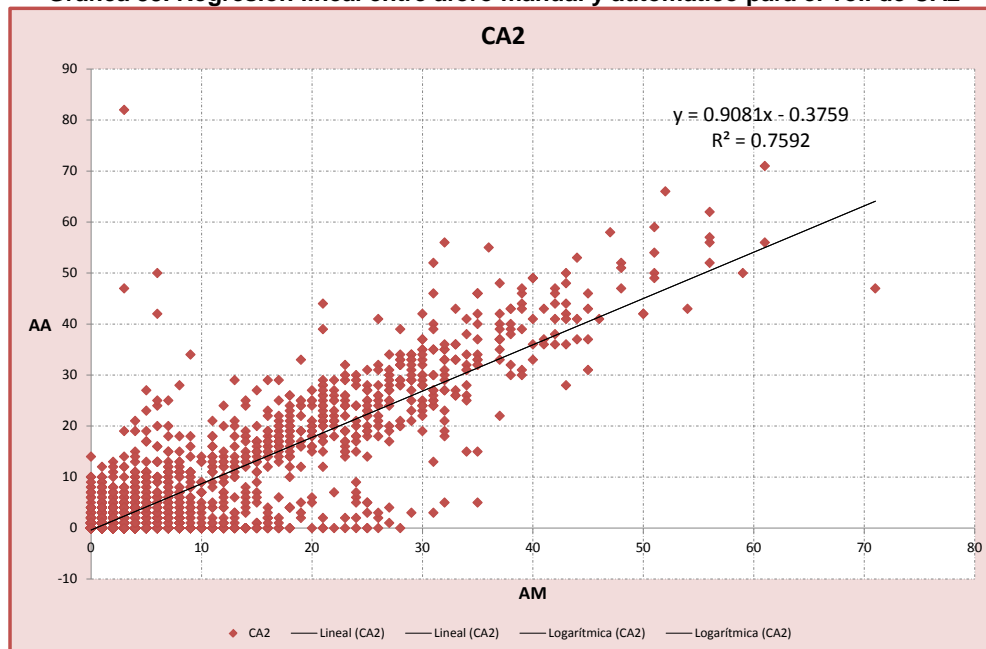




Gráfica 32. Regresión lineal entre aforo manual y automático para el vol. de CA1



Gráfica 33. Regresión lineal entre aforo manual y automático para el vol. de CA2



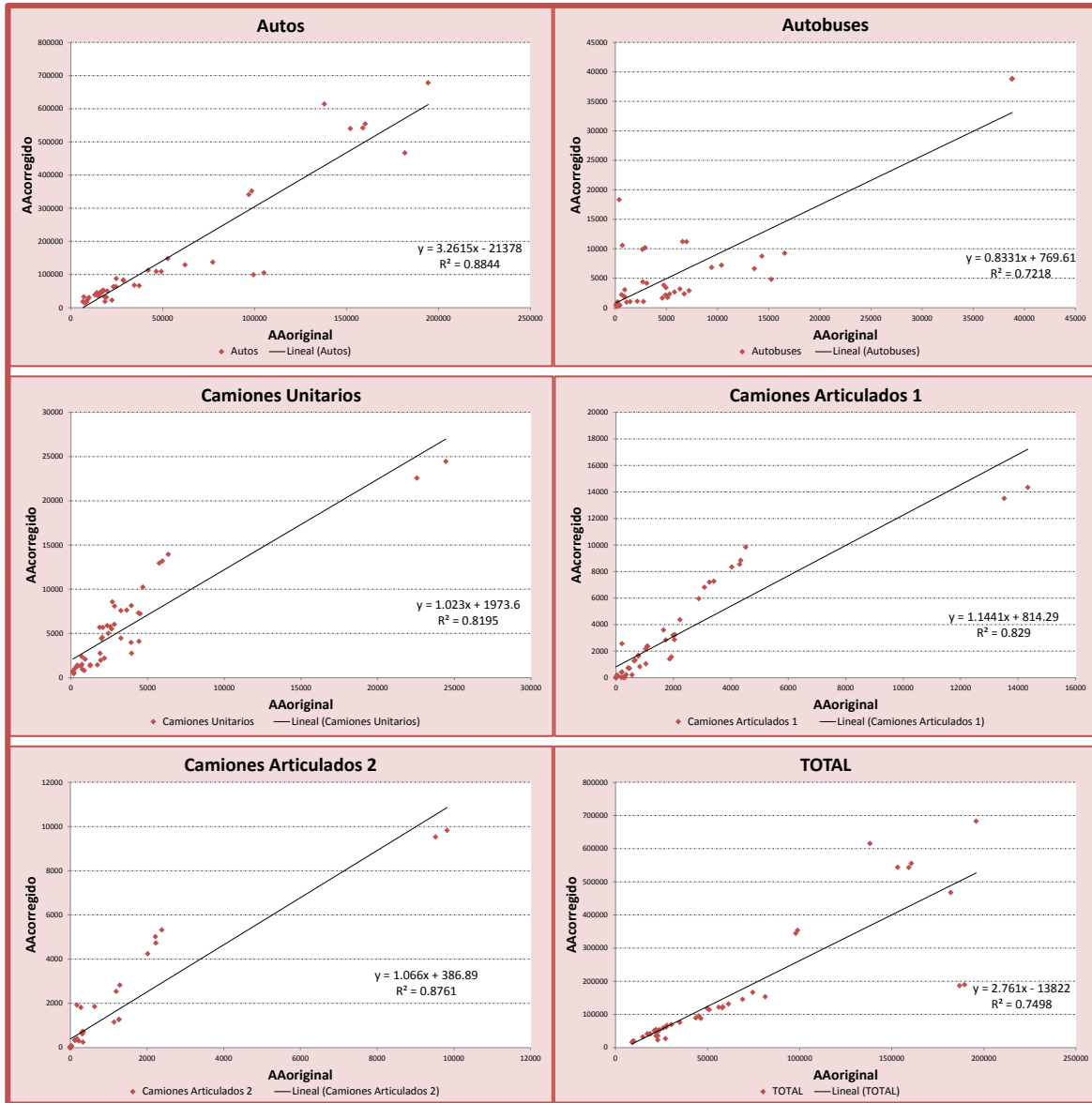
Como resultado de las observaciones realizadas se procederá a realizar los ajustes para los casos de estratos propuestos, para cada tipo de vehículo en todas las estaciones. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada caso:





Las gráficas de dispersión para la corrección del estrato caso A, muestran nuevos datos razonablemente dispersos de manera semejante para el volumen total y la clasificación vehicular, sin embargo, los valores de  $R^2$  de la línea de tendencia, oscilan entre 0.72 y 0.88, los cuales aún están alejados de la unidad.

Gráfica 34. Regresión lineal entre el AAoriginal y AACorregido por clasificación vehicular. Caso A.





Especialidad en Vías Terrestres

**MEDICIÓN DE AFOROS EN CARRETERAS EN MÉXICO. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS ENTRE AFORO AUTOMÁTICO Y AFORO MANUAL**

Estrato	Estación	X												F <sub>c</sub>						Y											
		AA <sub>OBS</sub>						AM <sub>OBS</sub>						AA <sub>CORR</sub>																	
		A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT						
0	1	16346	141	1534	743	919	19683	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1	16346	141	1534	743	919	19683	14616	154	1506	632	932	17840
	2	98252	1771	4853	478	391	105745	22703	1431	858	296	252	25540	0.917	9.540	0.611	2.819	3.938	0.96432	90082	16895	2966	1348	1540	101972	83492	1481	6303	2421	1804	95501
	3	69491	4301	5631	3395	6	82824	31400	1295	966	902	360	34923	1.042	0.715	0.386	0.682	1.000	0.97588	72377	3076	2171	2316	6	80827	69424	5050	6765	3424	6	84669
	4	19874	1595	1925	428	8	23830	9224	343	553	93	0	10213	1.030	0.533	0.682	0.544	0.000	0.96568	20480	851	1313	233	0	23012	19442	1378	2405	658	6	23889
	5	9918	566	1002	438	6	11930	4149	103	299	6	1	4558	1.099	0.579	0.717	0.039	0.000	1.00796	10903	328	718	17	0	12025	9449	487	1079	444	8	11467
	6	24076	1634	2826	944	12	29492	5147	275	211	110	77	5820	1.029	0.914	0.460	0.655	1.000	0.98162	24779	1493	1299	618	12	28950	24606	1559	2262	792	8	29227
	7	11556	728	1148	486	6	13924	2460	44	208	5	0	2717	1.018	0.328	0.924	0.063	0.000	0.95166	11762	239	1061	31	0	13251	11896	577	959	360	6	13798
	9	46175	3804	7544	3703	8	61234	10715	1245	1321	541	186	14008	0.905	1.480	0.817	0.695	1.000	0.92941	41802	5631	6163	2575	8	56911	44199	4626	8853	2680	6	60364
	10	30083	10537	3205	3200	375	47400	14247	3489	1761	457	83	20037	1.119	0.837	1.408	0.381	0.561	1.02775	33668	8820	4512	1220	210	48715	27559	11050	3488	3305	551	45953
	11	40615	22100	7821	6386	3191	80113	22120	2385	3336	2808	1445	32094	1.429	0.264	0.999	0.998	0.999	0.99966	58029	5840	7816	6372	3189	80086	39553	24525	10914	7515	3512	86019
	12	22084	9307	4555	1308	39	37293	10837	976	1629	558	23	14023	1.250	0.311	0.988	0.979	1.211	0.99822	27610	2890	4502	1280	47	37227	25787	8393	3485	1267	35	38967
	13	22126	7525	1677	341	331	32000	11715	667	668	142	121	13313	1.250	0.221	0.979	0.953	0.992	0.99805	27652	1666	1643	325	328	31938	24385	8985	1162	310	270	35112
	14	24940	6689	3988	1033	589	37239	12318	521	1720	457	245	15261	1.250	0.174	0.994	0.998	0.946	0.9981	31170	1167	3963	1031	557	37168	27854	7486	4085	1057	506	40988
	15	68773	26649	18547	10441	7143	131553	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1	68773	26649	18547	10441	7143	131553	73323	26955	16279	9642	6958	133157
	16	36564	13679	10286	5509	3699	69737	19908	2084	4125	2242	1542	29901	1.250	0.344	1.001	0.998	1.009	1.0008	45706	4707	10298	5499	3730	69793	45438	16716	10115	5344	3827	81440
	17	30335	7961	4791	1740	216	45043	15811	887	2099	739	80	19616	1.250	0.219	1.006	0.999	1.127	1.00148	37927	1747	4819	1738	243	45110	35913	10727	6174	1977	244	55035
	18	61390	20541	6057	2870	551	91409	32783	2153	2599	1169	223	38927	1.250	0.247	0.990	0.992	1.005	0.9989	76745	5071	5999	2846	553	91308	83615	25434	6350	3436	493	119328
	19	13750	10191	4594	7504	962	37001	8384	901	2835	2874	648	15642	1.492	0.219	1.458	0.908	1.503	1.02362	20516	2228	6696	6816	1446	37875	11961	11129	4720	7249	495	35554
	20	9791	3125	3541	4636	1837	22930	5266	302	1473	2041	835	9917	1.253	0.223	0.989	0.997	1.023	1.00061	12264	696	3503	4622	1880	22944	13419	4433	4791	5314	2124	30081
	23	260325	811	1890	114	18	263158	52877	167	355	21	3	53423	1.001	1.031	0.913	0.875	0.750	1.00019	260537	836	1725	100	14	263207	254979	393	708	27	0	256107
	24	486662	2206	1042	145	29	490084	95026	423	190	26	6	95671	1.000	0.966	0.913	0.929	1.000	1.00003	486857	2130	952	135	29	490099	351294	1554	1053	148	21	354070
	21B	441593	293	479	0	4	442369	65540	65	79	0	0	65684	0.728	1.083	0.790	0.000	0.000	0.72812	321403	317	378	0	0	322099	322683	249	413	0	0	323345
22B	397552	525	440	45	0	398562	79961	105	79	6	0	80151	1.000	1.010	0.888	0.667	0.000	1	397612	530	391	30	0	398562	409258	684	359	18	0	410319	

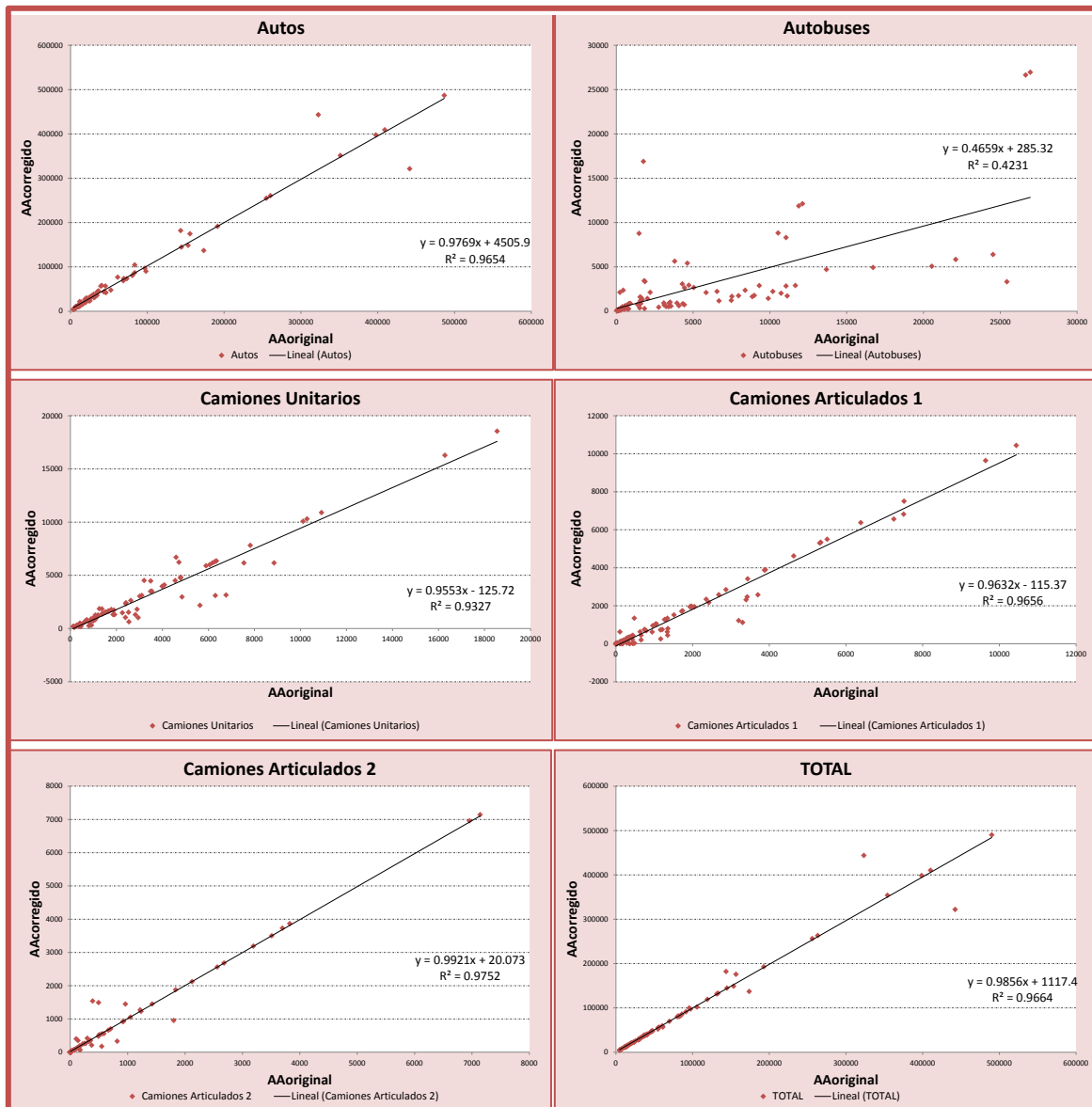
Tabla 13. Cálculo de Factores y Correcciones. Estratos caso B. Estrato 0.





Las gráficas de dispersión para la corrección del estrato caso B, presentan datos más cercanos a la línea de tendencia para casi todos los casos, excepto para los Autobuses. Los valores de  $R^2$  oscilan entre 0.93 y 0.96 para el volumen total, los autos, camiones unitarios y camiones articulados 1 y 2, lo cual indica que existe una menor dispersión entre los aforos automáticos originales y los corregidos; sin embargo, el valor de  $R^2$  para los autobuses es de 0.42, señalando que aún existen grandes variaciones entre el aforo automático original y el corregido.

Gráfica 35. Regresión lineal entre el AAoriginal y AAcorregido por clasificación vehicular. Caso B.











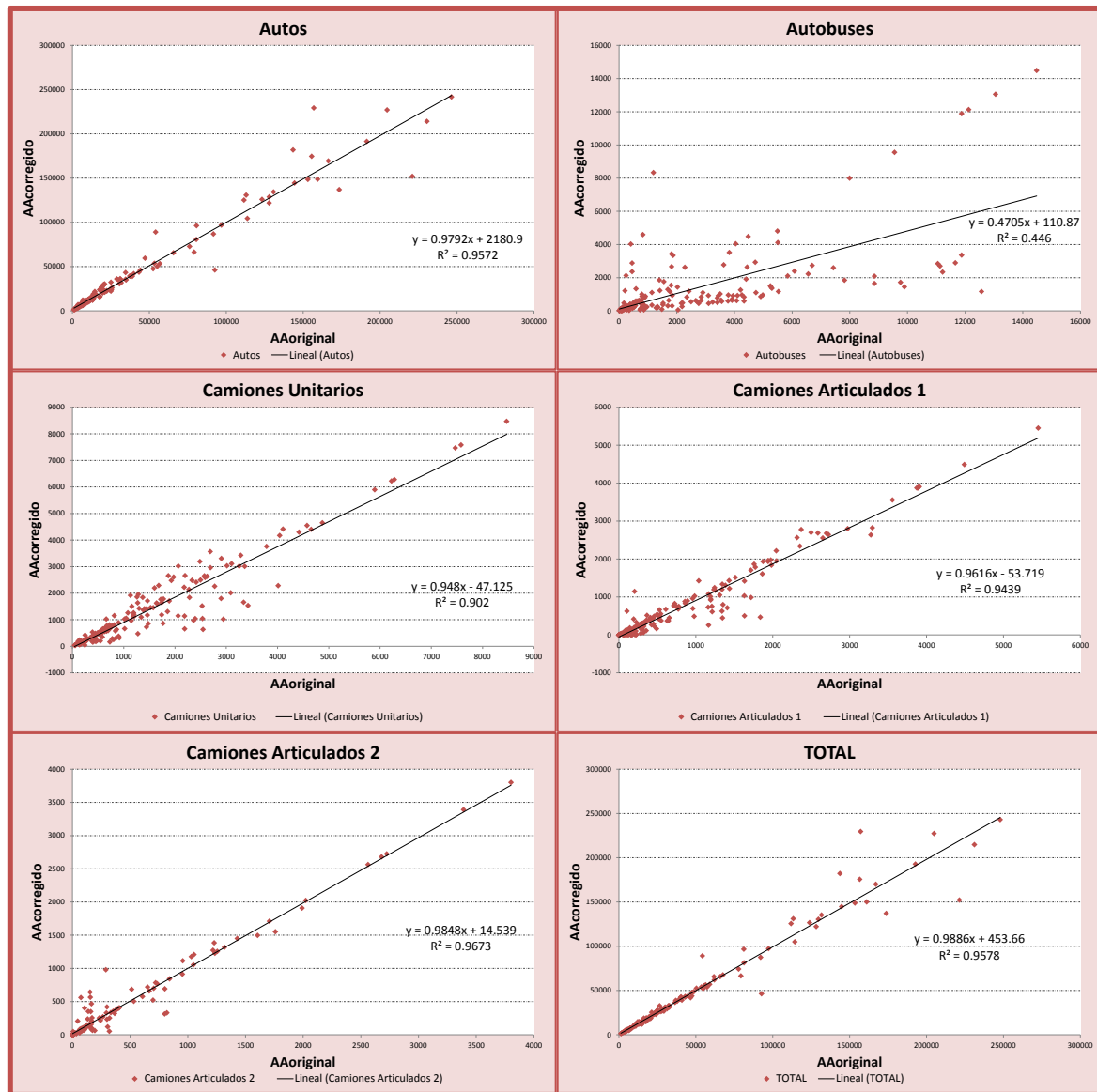




Las gráficas de dispersión para la corrección del estrato caso F, al igual que el caso B, presentan datos más cercanos a la línea de tendencia para casi todos los casos, excepto para los Autobuses. Los valores de  $R^2$  oscilan entre 0.90 y 0.96 para el volumen total, los autos, camiones unitarios y camiones articulados 1 y 2, lo cual indica que existe una menor dispersión entre los aforos automáticos originales y los corregidos, pero en mayor magnitud que el caso B.

El valor de  $R^2$  para los autobuses es de 0.44, señalando que aún existen grandes variaciones entre el aforo automático original y el corregido.

Gráfica 36. Regresión lineal entre el AAoriginal y AACorregido por clasificación vehicular. Caso F.





### 8.1.1. Comparación

Una vez obtenidos los aforos automáticos corregidos para diferentes casos de configuración de estratos, se procede a comparar estos mismos con los aforos originales observados, para poder determinar los datos finales que servirán como referencia para el estudio de demanda.

Tabla comparativa de las dispersiones de los aforos automáticos originales y los aforos automáticos corregidos.

Tabla Comparativa de $R^2$				
Grupo Vehicular	AA original	Corrección caso A	Corrección caso B	Corrección caso F
<b>A</b>	0.9045	0.8844	0.9654	0.9572
<b>B</b>	0.2708	0.7218	0.4231	0.4460
<b>CU</b>	0.5584	0.8195	0.9327	0.9020
<b>CA1</b>	0.7653	0.8290	0.9656	0.9439
<b>CA2</b>	0.7592	0.8761	0.9752	0.9673
<b>TOTAL</b>	0.9036	0.7498	0.9664	0.9578

Tabla 19. Tabla comparativa AAoriginal vs AACorregido.

Como se observa en la Tabla 19, las variaciones entre los volúmenes del aforo automático original contra los volúmenes del aforo manual, son considerables para todos los tipos de vehículos, a excepción de los autos, asimismo, estas variaciones presentan grandes diferencias entre ellas, lo que puede significar que existen errores en la medición de ambos aforos para el mismo período de tiempo.

En la corrección del caso A del aforo automático, las variaciones entre la clasificación vehicular es homogénea, esto se debe a que al efectuar la corrección, se obliga al aforo automático a aproximarse a la distribución vehicular del aforo manual. Sin embargo, los valores de  $R^2$  de esta corrección no satisfacen los valores óptimos de datos razonablemente bien dispersos.

En la corrección del caso B, las variaciones entre los volúmenes del aforo automático original y el aforo automático corregido se aproximan a los valores que indican datos bien dispersos, es decir, a la unidad ( $R^2=1$ ). En el caso de los autobuses, el valor de  $R^2$  es mayor al obtenido de la comparación del aforo manual con el aforo automático, lo que indica que existe una corrección que mejora la distribución más no es suficiente para llegar a un valor de  $R^2$  igual a uno.



La corrección del caso F, se realizó con base en las horas de máxima demanda que presentaba el perfil horario del volumen total de los vehículos y dividiendo además los estratos por datos entre semana y de fin de semana; esto se desprendió de los perfiles diarios que indicaban que los volúmenes de tránsito variaban en sábado y principalmente en domingo.

Después de realizar los análisis de los casos A y B, y observar que para el caso A, las variaciones eran homogéneas entre sí y que para el caso B, la mayoría de las variaciones se aproximaban a valores óptimos, se dedujo que al efectuar una configuración con base en la división de horas y de fin de semana (caso F), se obtendrían variaciones menores.

Sin embargo, al realizar el análisis para el caso F, los valores de las variaciones se asemejaron en proporción a los valores del caso B, pero fueron aún mayores que este último. Esto significa que a pesar de que se efectuó un análisis de mayor detalle, la corrección no mejoró, por lo que se deduce que el error radica en realizar el ajuste para todas las estaciones al mismo tiempo, ya que estaban ubicadas en diferentes carreteras y como es sabido, cada carretera se comporta de forma independiente.

#### **8.1.2. Alternativas**

A continuación se proponen varias alternativas que pueden solucionar la alimentación de datos de volúmenes de tránsito de un estudio de demanda, una vez analizados los datos originales que presenten variaciones.

- i) La primera alternativa es mantener los resultados originales del aforo automático.
- ii) La segunda alternativa es confiar plenamente en los resultados del aforo manual.
- iii) La tercera alternativa es mantener los volúmenes del aforo automático con la distribución vehicular del aforo manual.
- iv) Como última alternativa se sugiere ajustar los aforos automáticos con un factor de corrección.



## 9. Conclusiones

La información confiable y oportuna de los movimientos de personas y mercancías en el territorio nacional permite una buena planeación, que lleva a mejorar el sistema de transporte globalmente, reduciendo el congestionamiento vial; aumentando la seguridad; acortando los tiempos de traslado en las distintas redes; y aumentando la movilidad y accesibilidad de pasajeros y de mercancías, con lo cual se generan beneficios directos en la economía nacional.

La información recopilada y utilizada en un estudio de demanda es de suma importancia para que el proyecto que se realiza satisfaga las necesidades y los objetivos propuestos. La información que se seleccione debe ser de la mejor calidad posible, y los estudios de campo son fundamentales para obtener datos significativos con los que se pueda llegar a conclusiones que nos garanticen resultados óptimos.

El manejar información de distintas fuentes o estudios relacionados con el proyecto en marcha, puede causar confusiones o productos erróneos en lugar de asegurarnos que manejamos datos confiables.

Los datos obtenidos de los aforos en un estudio de demanda son fundamentales para calcular el factor de expansión del volumen de tránsito que será utilizado para proyectar la demanda.

Respecto al caso de análisis de los estudios de demanda del proyecto La Venta – Topilejo – Chalco – San Martín Texmelucan y Libramiento sur de Puebla, se concluye que de las correcciones realizadas, se deberá elegir la que presente menores variaciones.

En este caso, se plantea utilizar las correcciones del caso B, por ser las que presentan menores variaciones globales, a pesar de las variaciones de los autobuses que aún con la corrección no ofrecen valores óptimos, sin embargo, estas variaciones indican que la distribución del volumen fue mejorada.

Las variaciones de los volúmenes se considerarán trascendentales dependiendo de la importancia, magnitud y función de la carretera en estudio. Por ejemplo, la magnitud del error no es igual en carreteras del orden de decenas de millar en comparación con carreteras del orden de centenas de millar. También el error es diferente cuando se compara una vía urbana o alimentadora con una vía rural o secundaria. Por último, el error de variación para cada tipo de vehículo es importante dependiendo de la función de las carreteras, es decir, si una carretera que presenta un volumen considerable de camiones unitarios y camiones articulados en su distribución vehicular, y se estima un error por encima del 5%, entonces vale la pena efectuar un análisis más detallado; si por





el contrario, se presenta una carretera que en su composición vehicular predominan los autos y presenta errores mayores al 5% de camiones unitarios y camiones articulados, es posible y hasta recomendable excluir un análisis a detalle para esa clasificación.

El uso de los aforos manuales y automáticos es muy común y son la forma más simple de estimar volúmenes de tránsito, no son sofisticados en comparación con los radares o las cámaras de video, sin embargo son los más utilizados en México debido a su bajo costo y fácil empleo.

En un estudio de demanda los aforos manuales y automáticos se utilizan conjuntamente, ya que uno ayuda a complementar la información del otro, y son la forma más eficiente de calcular muestras de volúmenes de la zona de estudio.

## **10. Recomendaciones**

Para un estudio origen – destino, es fundamental contar con previa capacitación del personal que laborará en campo para que la información recolectada sea lo más confiable posible. Además de la capacitación, es recomendable contar con una supervisión externa que asesore los estudios de campo y gabinete.

Parte elemental de la obtención de datos confiables radica en una apropiada calibración en el caso de los aforos automáticos y en una correcta captura de datos del campo al gabinete.

En un estudio de este tipo, se suele manejar una gran cantidad de información, por lo que se recomienda tener especial cuidado al momento de manipularla y analizarla.

El ajuste del caso de estudio de este trabajo se realizó de manera ilustrativa, es por eso que las correcciones no fueron del todo satisfactorias. En estudios de origen – destino, lo recomendable es realizar el análisis para todas las estaciones, y ajustar el aforo de cada una respecto al comportamiento del tránsito de las mismas, es decir, dependiendo de las estaciones, se decidirá si los volúmenes que circulan por las carreteras o vías donde están ubicadas son factibles a una corrección y de qué tipo.





## 11. Bibliografía y Referencias

1. Estrategias para la realización de Estudios Origen – Destino. Instituto Mexicano del Transporte. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Publicación Técnica No. 48, Sanfandila, Qro.
2. Estimación de Demanda de Transito en Carreteras Combinando Estudios Origen-Destino con Aforos. Roberto de la LLata Gómez. Publicación Técnica No. 25, Sanfandila, Qro, 1991. Instituto Mexicano del Transporte. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
3. Diagnóstico de la Información disponible y necesaria para fines de Planeación del Sistema de Transporte. Eric Moreno Quintero. Publicación Técnica No. 308, Sanfandila, Qro, 2007.
4. Transporte de carga en el área metropolitana de Lima y Callao. Consejo de Transporte Lima y Callao. Secretaría Técnica. Febrero 2007
5. <http://www.tyssatransito.com>
6. [www.sct.gob.mx](http://www.sct.gob.mx)